

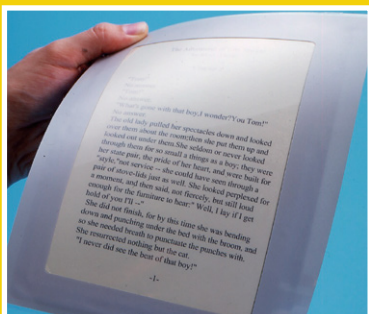


# elektor

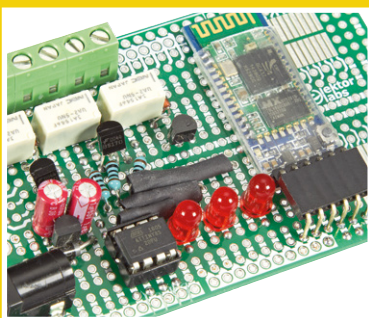
DÉCOUVRIR

CRÉER

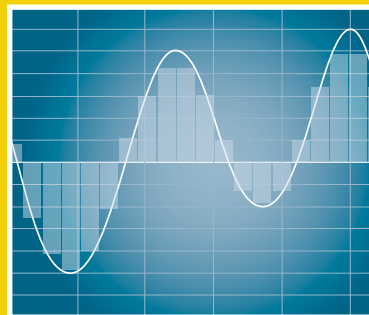
PARTAGER



**papier électronique**  
l'avenir des écrans ?

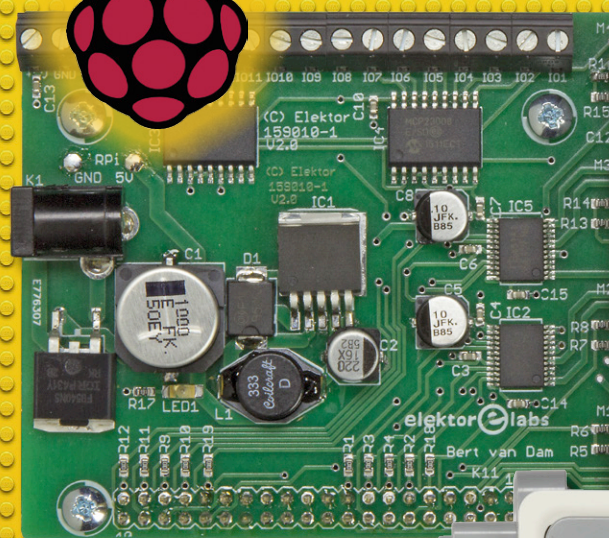
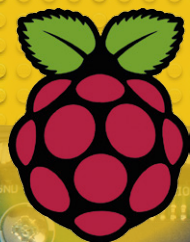


**relais Bluetooth**  
avec appli Android



**l'ABC des CA/N**  
sigma-delta, quésaco ?

## carte de commande LEGO® pour Raspberry Pi



avec 4 voies  
pour moteur et  
16 entrées/sorties  
numériques !

**Dans cette édition :**  
4 projets du labo  
3 projets de lecteur  
MQTT, e-papier, Arduino,  
RPI, I2C, SPI,  
CA/N ...

**filtrer avec Red Pitaya (filtres IIR)**

• applis Android d'électronique pour  
ordiphone ou tablette • **insoleuse UV avec minuteur**

**PIC et matrice de 54 LED UV** • cours d'assembleur 2.1 (3) :

I2C & SPI • **judas connecté avec Raspberry Pi** • Rétronique : ensemble de  
tests audio sur mesure, cuvée 1969 de la NOS • **papier électronique EPA20-A**  
**piloté par Arduino** • Q & R sur MQTT • **interface pour encodeur rotatif sans µC**





Messe München

Connecting Global Competence

# Planet **e**: Where the future begins.

L'électronique Automotive de demain. Aujourd'hui.

exposition secteur Automotive:  
**8-11 Novembre 2016**

electronica Automotive Forum:  
**8-11 Novembre 2016**

electronica Automotive Conference:  
**7 Novembre 2016**

Tout sur electronica Automotive:  
**[electronica.de/en/automotive](http://electronica.de/en/automotive)**



Billets et Enregistrement: **[electronica.de/en/tickets](http://electronica.de/en/tickets)**

Salon leader mondial des composants électroniques,  
systèmes et applications

Messe München | 8-11 Novembre 2016 | [electronica.de](http://electronica.de)



**electronica** 2016  
inside tomorrow



Elektor est édité par :  
PUBLITRONIC SARL  
c/o Regus Roissy CDG  
1, rue de la Haye  
BP 12910  
FR - 95731 Roissy CDG Cedex

@ : [service@elektor.fr](mailto:service@elektor.fr)

Tél. : (+33) 01.49.19.26.19  
[du lundi au vendredi de 10h à 13h](#)

Fax : (+33) 01.49.19.22.37

[www.elektor.fr](http://www.elektor.fr) | [www.elektormagazine.fr](http://www.elektormagazine.fr)

Banque ABN AMRO : Paris  
IBAN : FR76 1873 9000 0100 2007 9702 603  
BIC : ABNAFRPP

#### Publicité :

Fabio Romagnoli +32 485 65 40 90  
[fabio.romagnoli@eimworld.com](mailto:fabio.romagnoli@eimworld.com)

#### DROITS D'AUTEUR :

© 2016 Elektor International Media B.V.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957 -art. 40 et 41 et Code Pénal art. 425).

Certains circuits, dispositifs, composants, etc. décrits dans cette revue peuvent bénéficier de droits propres aux brevets; la Société éditrice n'accepte aucune responsabilité du fait de l'absence de mention à ce sujet. Conformément à l'art. 30 de la Loi sur les Brevets, les circuits et schémas publiés dans Elektor ne peuvent être réalisés que dans des buts privés ou scientifiques et non commerciaux. L'utilisation des schémas n'implique aucune responsabilité de la part de la Société éditrice. La Société éditrice n'est pas tenue de renvoyer des articles qui lui parviennent sans demande de sa part et qu'elle n'accepte pas pour publication. Si la Société éditrice accepte pour publication un article qui lui est envoyé, elle est en droit de l'amender et/ou de le faire amender à ses frais; la Société éditrice est de même en droit de traduire et/ou de faire traduire un article et de l'utiliser pour ses autres éditions et activités, contre la rémunération en usage chez elle.

Imprimé aux Pays-Bas  
par Senefelder Misset - Doetinchem  
Distribué en France par M.L.P.  
et en Belgique par A.M.P.



## Alerte ! Ils sont partout.

« Riverains, nous vous rappelons que ceci est un chantier de travaux publics et non pas une application virtuelle. Toute intrusion sur un chantier peut provoquer des accidents, restez vigilants et attentifs à ce qui vous entoure ! Ne mettez pas votre vie en danger pour attraper un Pokemon ! Les chantiers sont interdits d'accès aux riverains sous peine de dangers pouvant être mortels. Toute intrusion sur ce chantier fera l'objet d'un dépôt de plainte. »

Ce texte est extrait d'une affiche envoyée par la Fédération Nationale des Travaux Publics à ses adhérents, peu de temps après la sortie du jeu *Pokemon Go* en France. (Pour ceux qui ne le sauraient pas encore, le principe de ce jeu est de **chasser** des créatures virtuelles cachées dans **le monde** réel.)

D'un côté, ce jeu perturbe la vie de nombreux professionnels (chantiers, hôpitaux, banques, gares...) puisque les chasseurs de Pokemon s'introduisent partout, même dans des endroits interdits ou dangereux. D'un autre côté, c'est le seul jeu qui a réussi à faire sortir de chez eux des milliers de joueurs, petits et grands, pour arpenter leur ville. Il paraît que la marche c'est bon pour la santé !

Ce jeu est surtout la première application de la réalité augmentée – certes rudimentaire – qui touche autant de personnes, quel que soit leur âge ou bien l'endroit où ils vivent. On est bien loin des systèmes militaires, des voitures prototypes ou encore des paires de lunettes connectées, réservés à quelques initiés. Le jeu est gratuit et ne nécessite aucun matériel particulier ou onéreux.

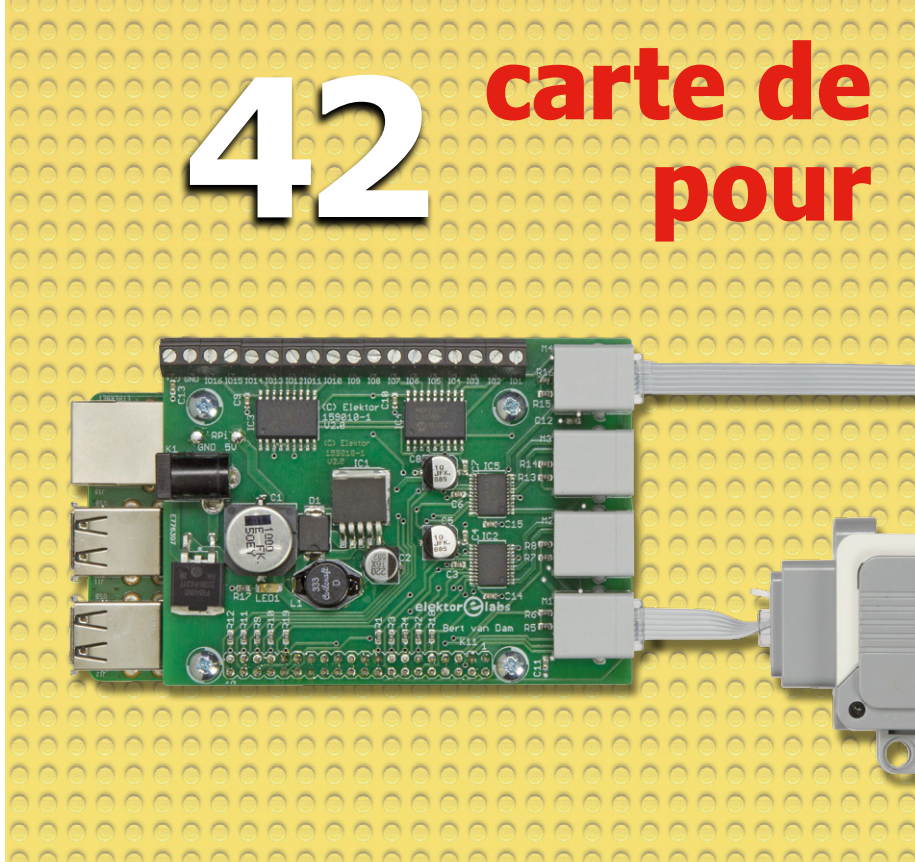
Nous ne saurons que dans quelques années si ce jeu marque un tournant dans l'introduction et l'acceptation de la réalité virtuelle dans notre vie quotidienne.

Mariline Thiebaut-Brodier

### Notre équipe

Rédactrice en chef :	Mariline Thiebaut-Brodier ( <a href="mailto:redaction@elektor.fr">redaction@elektor.fr</a> )
Rédaction internationale :	Thijs Beckers, Jan Buiting, Jens Nickel
Laboratoire :	Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens (responsable), Jan Visser
Coordination :	Hedwig Hennekens
Ont coopéré à ce numéro :	Patrick Bechler, Thierry Destinobles, Robert Grignard, Jean-Louis Mehren, Denis Meyer, Hervé Moreau, Helmut Müller, Kévin Petit, Guy Raedersdorf
Service de la clientèle :	Cindy Tijssen
Graphistes :	Giel Dols, Mart Schroijen, Patrick Wielders
Elektor en ligne :	Daniëlle Mertens

- 5 Bientôt dans Elektor
- 6 Elektor : guide de connexion(s)
- 30 ElektorBusiness
- 32 *The Big Red 2017*  
donner raison à la passion
- 34 labo d'Elektor
- 64 l'e-choppe d'Elektor
- 68 agenda  
octobre 2016
- 78 des nouvelles du monde d'elektor
- 82 hexadoku  
casse-tête pour elektorniciens



# 42 carte de pour

## DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

- 8 bienvenue dans la section DÉCOUVRIR
- 9 ligne à retard analogique  
drôle de composant n°26
- 10 cours intensif d'assembleur 2.1 (3)  
communication I<sup>2</sup>C et SPI
- 20 papier électronique  
l'avenir des écrans ?
- 24 hors-circuits avec R. Lacoste  
l'ABC des CA/N - sigma-delta, quésaco ?
- 29 Q & R (presque) tout ce que vous avez  
toujours voulu savoir sur... MQTT

## DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

- 36 bienvenue dans la section CRÉER
- 37 filtrer avec Red Pitaya  
2<sup>e</sup> partie : filtres IIR
- 42 carte de commande LEGO®  
pour Raspberry Pi  
avec quatre voies pour moteur  
et seize entrées/sorties numériques
- 48 insoleuse UV avec minuteur PIC  
et matrice de 54 LED UV

## papier électronique

L'AVENIR DES ÉCRANS ?

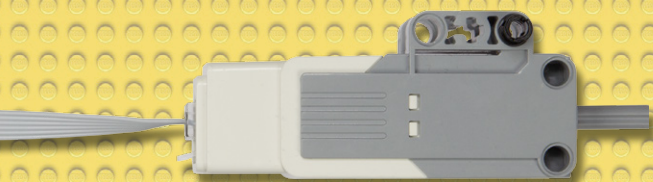


# 20

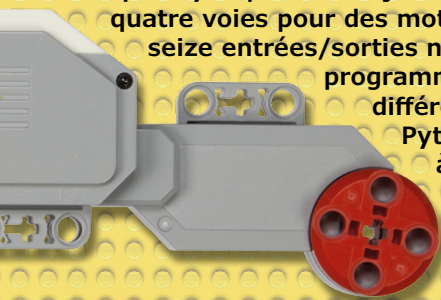
Le fonctionnement des écrans classiques rétroéclairés repose sur le principe de l'émission de lumière. Le papier électronique ou e-paper (également appelé EPD pour *Electronic Paper Display*) est un écran qui réfléchit la lumière exactement comme de l'encre sur du papier. En outre, les caractères sur e-paper sont lisibles même au soleil. Les papiers électroniques sont des écrans idéaux : même éteints, ils affichent toujours l'image, donc consomment très peu d'énergie. Intéressons-nous à l'histoire du papier électronique, son principe de fonctionnement, ses points forts, mais aussi faibles, ainsi que son avenir.



# commande Lego® Raspberry Pi



Cette carte HAT (*Hardware Attached on Top*) pour Raspberry Pi permet d'ajouter au puissant nano-ordinateur quatre voies pour des moteurs LEGO de type EV3 et seize entrées/sorties numériques tamponnées. La programmation peut se faire dans différents langages, tels que C ou Python. Pour vous mettre le pied à l'étrier, nous avons construit une « boîte inutile » avec cette carte et quelques pièces LEGO.



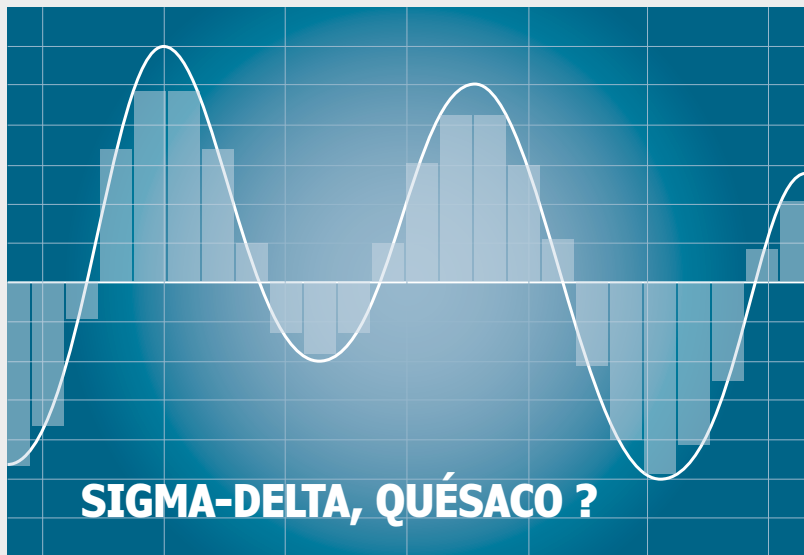
- 50 judas connecté avec Raspberry Pi  
communiquer avec un visiteur  
via son ordiphone
- 55 papier électronique et Arduino  
EPA20-A piloté par un croquis Arduino
- 58 relais Bluetooth  
avec appli Android
- 62 interface pour encodeur rotatif sans  $\mu C$   
simple et compacte

DÉCOUVRIR

CRÉER

PARTAGER

## 24 HORS CIRCUITS L'ABC des CA/N



### SIGMA-DELTA, QUÉSACO ?

Le précédent article traitait des convertisseurs analogiques/numériques (CA/N) : comment lire leurs spécifications, choisir le bon modèle pour votre application, et ne pas trop se tromper en les mettant en œuvre [1]. Une classe particulière de convertisseurs mérite cependant un article dédié : les convertisseurs sigma-delta. Il s'agit d'une technologie un peu spécifique pour convertir une tension analogique en une grandeur numérique (CA/N) ou vice-versa (CN/A), mais avec des qualités qui la rendent incontournable dans une foultitude d'applications allant des personnes aux systèmes audiophiles. Voyons ensemble pourquoi...

- 69 bienvenue dans la section PARTAGER  
un autre terrain d'expression
- 70 Rétronique  
ensemble de tests audio sur mesure  
cuvée 1969 de la nos
- 76 Sur la toile  
Android & électronique  
applis pratiques pour ordiphone ou tablette
- 80 bruits de labo...  
Propulsez votre projet sur la voie du succès !



bientôt sur ces pages

Le prochain numéro combinera comme toujours théorie et pratique pour **apprendre**, **concevoir** et **partager** une électronique qui étonne.

#### Extrait du sommaire du prochain numéro :

- Amplificateur en classe A avec le LM317
- Avis de tempête avec Arduino
- Capteurs pour Arduino & Cie
- Carte de commande Wi-Fi avec appli Android
- Carte Linux Made in Elektor
- Contrôleur pour imprimante 3D
- Sonomètre tricolore
- Pilote MLI polyvalent pour alimentation à découpage
- Webradio avec afficheur fluorescent (VFD)
- etc.

Sous réserve de modification.

Le numéro de novembre 2016 paraîtra le 19 octobre 2016.

# la communauté d'Elektor

DÉCOUVRIR

CRÉER

PARTAGER

Elektor, c'est bien plus qu'un simple magazine. C'est une communauté d'électroniciens, du débutant au professionnel, désireux d'apprendre, de concevoir et de partager une électronique qui étonne.



**Boutique en ligne d'Elektor :** la caverne d'Ali  
Baba des électroniciens ! 10 % de remise permanente pour les membres GREEN et GOLD. [www.elektor.fr](http://www.elektor.fr)



**Elektor Magazine :** dix numéros par an d'électronique inédite (projets, banc d'essais, cours, trucs et astuces, actualité...). [www.elektormagazine.fr](http://www.elektormagazine.fr)



**Elektor PCB Service :** gravure à la demande de vos circuits imprimés, en un ou plusieurs exemplaires. [www.elektorpcbservice.com](http://www.elektorpcbservice.com)



**Elektor GRATUIT & SANS PAPIERS :** lettre d'information à l'affût des nouveautés. C'est gratuit : [www.elektor.fr/inscription](http://www.elektor.fr/inscription)



**Elektor Academy :** l'apprentissage par la pratique au travers de webinaires, séminaires, ateliers, DVD... [www.elektor.fr](http://www.elektor.fr)



**Elektor livres & DVD :** Arduino, Raspberry Pi, microcontrôleurs, Linux et bien d'autres. 10 % de remise pour les membres ! [www.elektor.fr](http://www.elektor.fr)



**Elektor TV :** présentations, comptes-rendus, déballage et évaluation de produits. Pour y voir plus clair. [www.youtube.com/user/ElektorIM](http://www.youtube.com/user/ElektorIM)



**Elektor Labs :** l'incubateur où partager ses projets et participer à ceux des autres. Nous faisons grandir vos idées ! [www.elektormagazine.fr/labs](http://www.elektormagazine.fr/labs)

## connectez-vous à notre communauté

### formule GREEN

92,50 € par an

- ✓ l'accès à l'archive d'Elektor
- ✓ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✓ 10 x magazine numérique
- ✗ 10 x magazine imprimé
- ✓ des offres exclusives
- ✓ l'accès à **Elektorlabs**
- ✗ un DVD annuel

connectez-vous

[www.elektor.fr/formule-greencard](http://www.elektor.fr/formule-greencard)

### formule GOLD

127,50 € par an

- ✓ l'accès à l'archive d'Elektor
- ✓ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✓ 10 x magazine numérique
- ✓ 10 x magazine imprimé
- ✓ des offres exclusives
- ✓ l'accès à **Elektorlabs**
- ✓ un DVD annuel

connectez-vous

[www.elektor.fr/formule-goldcard](http://www.elektor.fr/formule-goldcard)

### formule GRATUITE

- ✗ l'accès à l'archive d'Elektor
- ✗ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✗ 10 x magazine numérique
- ✗ 10 x magazine imprimé
- ✓ des offres exclusives
- ✓ l'accès à **Elektorlabs**
- ✗ un DVD annuel

connectez-vous

[www.elektor.fr/inscription](http://www.elektor.fr/inscription)





82

pays

248153

membres actifs

1040

experts &amp; auteurs

489

publications

235332

visiteurs (par mois)

# www.elektormagazine.fr

## Explorez le monde de l'électronique

Entièrement rénové, notre site offre aux mordus d'électronique tout un monde de projets, d'articles et vidéos. Un bouton en haut du menu donne accès aux versions française, néerlandaise, allemande et anglaise du site. Le moteur de recherche intelligent permet de trouver rapidement informations et articles. Avec l'abonnement GREEN ou GOLD, vous pouvez naviguer dans toutes les archives d'Elektor et profiter de services complémentaires : offres et remises exclusives... Vous avez également accès aux préférences de votre compte, y compris l'abonnement au magazine papier et à la lettre d'information Elektor.



# elektor : gratuit & sans papiers

## Restez informé, restez passionné !

Comme plus de 120 000 autres électroniciens, grâce à notre lettre d'information gratuite Elektor, vous êtes au courant des dernières tendances et des récents développements de l'électronique. En outre, les abonnés à Elektor reçoivent régulièrement des offres et remises spéciales pour la boutique en ligne.

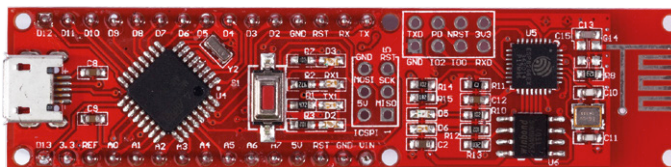
**Pour vous abonner :**  
**www.elektor.fr/inscription**



bienvenue dans la section **DÉCOUVRIR**

**Jens Nickel** (Elektor)

## Du nouveau sur la carte Pretzel



Le week-end dernier, je me suis libéré quelques heures afin de continuer mes expérimentations sur la carte Pretzel. L'ATmega328 de la carte est resté programmé de telle sorte qu'il transfère directement le caractère reçu sur le port USB vers le composant WLAN ESP8266 et inversement. Mais au lieu de pianoter les commandes AT sur le clavier d'un émulateur de terminal sur PC, j'ai écrit un petit programme qui, en appuyant sur un bouton, envoie les caractères requis à travers le port série (virtuel) du PC. Bien sûr, j'aurais tout aussi bien pu écrire un croquis Arduino qui aurait délivré directement les commandes à l'ATmega328. Mais je possédais déjà une petite bibliothèque MQTT sur PC, dont je pouvais utiliser les fonctions pour mes premières expérimentations MQTT. Et de plus, mon petit programme de terminal, écrit en C#, me sera certainement bien utile pendant mon voyage au pays de l'Internet des Objets. Pour lire la suite :

[www.elektormagazine.fr/tags/mon-voyage-dans-le-nuage](http://www.elektormagazine.fr/tags/mon-voyage-dans-le-nuage).



## De l'électronique dans l'espace

Il y a quelques semaines, j'ai reçu un courriel de notre lecteur Jaime Estela. Cet ingénieur est un employé de la Société Sectrum ARC GmbH, prestataire de services dans l'industrie aérospatiale. Jaime est un expert dans la conception des matériels qui doivent résister aux conditions extrêmes de l'espace (et au décollage des fusées). Bien au-delà d'une poignée de spécialistes, cette expertise est d'intérêt croissant pour l'ensemble de la communauté des électroniciens. Car, avec les nano-satellites,

il devient possible à des équipes d'étudiants, des associations de radioamateurs, de faiseurs (*makers*) d'envoyer leurs propres matériels dans l'espace. Dans les prochains numéros, nous en dirons davantage sur ce thème passionnant.

## Nous avons essayé le papier électronique

Elektor est bien connu pour propager le savoir sous la forme d'un mélange de théorie et de pratique. Illustration : les afficheurs de type papier électronique (*e-paper*) sont une technologie fort intéressante à laquelle nous consacrons deux articles dans ce numéro. Dans la section DÉCOUVRIR, Ibrahim Dogan fait le point sur la technologie de ces afficheurs à faible consommation et dans la section CRÉER, nous présentons une carte d'évaluation réalisée sous la forme d'un *shield* Arduino. Mon jeune collègue Niek Laskarzewski a testé le matériel et la bibliothèque associée, et a écrit une petite application de démo pour vous inviter à poursuivre les essais. ◀



(160132 - version française : Helmut Müller)



# ligne à retard analogique

## drôle de composant n°26

Neil Gruending (Canada)

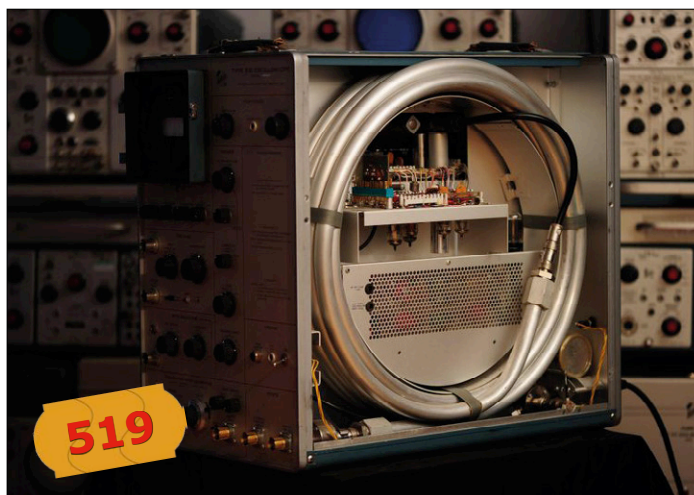
Il n'y a pas lieu d'insérer d'office une ligne à retard dans le chemin d'un signal, mais il existe des situations où l'on n'a pas le choix. L'exemple classique est le circuit de déclenchement d'un oscilloscope. Il lui faut souvent 60 ns pour détecter l'événement déclencheur, donc tout signal à bien visualiser doit être retardé d'autant avant l'envoi aux plaques de déviation. Décaler un signal numérique, c'est tout bête, mais en analogique, c'est un autre défi. On pourrait aujourd'hui le numériser par C A/N, le décaler dans un registre et le reconvertir par C N/A. Ou bien utiliser une de ces puces hybrides qui échantillonnent le signal analogique et le transfèrent dans une sorte de chaîne à seaux (*bucket brigade*). Mais dans le domaine des drôles de composants, je trouve plus piquant d'évoquer les lignes à retard **analogiques** sans puces.

En ce temps-là, la seule façon d'accorder un certain délai à un signal avant de se manifester, c'était de lui faire parcourir un plus long chemin. À la vitesse  $v$ , il lui faut un temps  $l/v$  pour se propager sur la distance  $l$ . À la vitesse de la lumière, on compte 3 ns par mètre parcouru. On atteint de plus grands retards en bobinant un conducteur blindé sur un noyau isolant, jusqu'à 280 ns par mètre, selon la construction. Pour des délais vraiment longs, on utilise des chaînes de selfs et de condensateurs.

Les vieux oscilloscopes analogiques Tektronix nous donnent de beaux exemples de réalisation de lignes à retard. Ces photos-ci vous en montrent quelques-uns. Le premier Tek à ligne à retard a été le 513D avec son long réseau L-C. Le Tek 517 utilisait 15 m de câble RG-63U et le 519, une bobine de coaxial semi-rigide à faible perte et diélectrique gazeux.

Les lignes à retard analogiques sont aussi capables d'optimiser la réponse en fréquence et en impulsions. Par exemple, pour le Tek 513D il était important de prévoir des condensateurs d'ajustage de la réponse en fréquence de chaque partie de la ligne à retard L-C pour améliorer la représentation des impulsions. À mesure que la vitesse des oscilloscopes a augmenté, il a fallu améliorer les performances des lignes à retard, passer au coaxial, sauf qu'il est difficile de le régler en conséquence. On s'est aperçu qu'il valait mieux conditionner à part le signal avant de l'appliquer à la ligne à retard. Les oscilloscopes Tektronix ont été dotés d'un circuit spécial appelé compensateur à bobines en T, avec des inductances à couplage lâche, ce qui constituait un secret de fabrication [1].

Alors, quand vous verrez un enroulement de coaxial comme ligne à retard dans un appareil, j'espère que vous en admirerez toute la simplicité. ◀



Photos : Kurt Harlem, w140.com (150812 – version française : Robert Grignard)

### Référence

[1] The Art and Science of Analog Circuit Design, Jim Williams



Please contribute your Peculiar Parts article,  
email [neil@gruending.net](mailto:neil@gruending.net)



# cours intensif d'assembleur 2.1

## (3)

### communication I<sup>2</sup>C et SPI

Dans les deux premiers articles de ce second cours intensif d'assembleur, nous avons abordé la commande multiplexée d'un afficheur à LED et parlé de l'adressage indirect. Ce troisième et dernier article s'intéresse à la communication série via les interfaces I<sup>2</sup>C et SPI.

**Miroslav Cina** (Allemagne) [miroslav.cina@t-online.de](mailto:miroslav.cina@t-online.de)

Les microcontrôleurs (µC) modernes peuvent non seulement, comme leurs « ancêtres », échanger « de façon normale » des données en série avec d'autres périphériques — à cet effet ils disposent généralement d'un UART (**U**niversal **A**synchronous **R**eceiver **T**ransmitter), mais ils prennent aussi en charge des systèmes de bus rapides tels qu'I<sup>2</sup>C (**I**nter-**I**ntegrated **C**ircuit) ou SPI (**S**erial **P**eripheral **I**nterface). Les deux systèmes sont très utilisés, car ils ne requièrent que peu de matériel et de logiciel et savent se « débrouiller » avec les niveaux de tension tels que les connaissent les µC. Il existe nombre de puces périphériques, des capteurs par ex., équipées de l'un au moins de ces deux modes de communication. Nous allons voir ici, comment les traiter en assembleur.

#### MSSP

Chaque membre de la famille PIC utilisé, même le plus petit, possède au moins une unité MSSP, certains en ont même deux. Son acronyme (**M**aster **S**ynchronous **S**erial **P**ort) dévoile la raison d'être d'un MSSP. Cas majeurs de mise en œuvre d'un MSSP :

- Besoin d'un grand nombre de ports d'E/S (plus que le µC n'en a lui-même),
- Besoin de commander des puces périphériques spéciales (CA/N, CN/A, horloge en temps réel, capteurs, etc.),
- Besoin d'échanger facilement des données entre plusieurs puces et/ou
- Échange de données à (« grande ») distance (plusieurs mètres souvent).

Un MSSP connaît plusieurs modes. Sa configuration en tant qu'interface I<sup>2</sup>C ou SPI revêt une importance particulière. Avec des PIC, la configuration en tant qu'esclave ou maître est possible dans les deux modes.

De nombreux µC offrent un module SSP ; mais la lettre « M »

(Maître) est particulièrement intéressante, car cette fonction permet, lorsqu'il faut utiliser le port série en « maître », d'économiser énormément de temps et beaucoup de mémoire de programme.

#### I<sup>2</sup>C

Le protocole I<sup>2</sup>C et son bus virent le jour en 1982 (Philips Semiconductors, NXP depuis pour ce segment) pour les TV « smart » de l'époque. Ce bus permet de réaliser une communication simple au cœur d'un appareil. Dans la pratique, un µC communique sériellement avec d'autres circuits intégrés ou d'autres µC, généralement un maître et plusieurs esclaves dans ce cas-là. Atmel a repris ce système de bus, vu sa simplicité, l'a rebaptisé TWI (**T**wo **W**ire **I**nterface) ; il ne comporte que deux lignes de données (plus la masse). Aujourd'hui, plus de 50 fabricants le prennent en charge.

I<sup>2</sup>C offre une communication synchrone et bidirectionnelle, mais en *semi-duplex*. Pour communiquer avec des puces individuelles, les esclaves sont à l'écoute sur le bus par leur adresse et répondent aux appels du maître. SDA est la ligne de données et SCK la ligne d'horloge. Il ne peut, à un moment donné, circuler qu'un seul paquet de données sur le bus. Les taux de transmission vont de 100 kbits/s jusqu'aux modes haute vitesse de 5 Mbits/s, les vitesses de 100, 400 et 1000 kbits/s étant les plus fréquemment adoptées.

#### SPI

C'est à Motorola, en 1979, que l'on doit le bus SPI, protocole développé pour l'introduction d'une CPU légendaire, la célèbre 68K. SPI est une interface série synchrone, mais *full duplex* cette fois. Le bus en devient un peu plus complexe, car il lui faut, pour la communication bidirectionnelle, outre la ligne d'horloge SCLK et deux lignes de données MOSI (**M**aster **O**utput, **S**lave **I**nput) ou SDO (**S**erial **D**ata **O**ut) et MISO (**M**aster **I**nput, **S**lave **O**utput) ou SDI (**S**erial **D**ata **I**n), au moins une ligne SS (**S**lave **S**elect) plus la masse. En fait chaque esclave a besoin de sa propre ligne SS (parfois appelée CS pour **C**hip **S**elect) avec un numéro unique.



Cependant, la complexité plus grande et l'utilisation d'étages d'attaque *push-pull* (par rapport à la conception à collecteur ouvert d'I<sup>2</sup>C) permettent des débits bien plus élevés ; le courant de service est aussi plus faible. Seul inconvénient, la longueur de câble est limitée, proche des restrictions en RS-232. Comme la vitesse peut aller jusqu'à 80 Mbits/s, SPI convient plus particulièrement à la connexion de puces connaissant des volumes de données élevés tels que les CA/N rapides ou les puces Flash externes.

Certains µC prennent même les deux protocoles en charge simultanément (par ex. MSSP1 comme maître I<sup>2</sup>C et MSSP2 comme maître SPI), d'où une très grande flexibilité.

### Erreur de conception

Lorsqu'on utilise un µC en mode MSSP maître, certaines broches spécifiées assurent la communication. On retrouvera, dans les **tableaux 1** et **2**, ces broches dans le cas du PIC16F1829 pour les communications I<sup>2</sup>C et SPI. Avec SPI, la sélection des broches CS est libre, elles ne sont pas pilotées par le matériel MSSP, mais par le micrologiciel. Le tableau 2 montre qu'avec SPI et MSSP2, la ligne SDO peut être reliée à la broche RA5 ou RC1.

**Remarque :** vous allez me dire que depuis le premier article de cette série, les broches RA5, RC1 et RC7 sont monopolisées par la commande de l'afficheur. Pas de problème pour I<sup>2</sup>C vu que seules les broches de port RB4 et RB7 sont requises. Toutefois pour disposer d'au moins un port SPI à des fins d'expérience, il faut libérer l'une des trois broches de port RA5, RC1 ou RC7. Cet accident de parcours permettra de montrer combien une telle réaffectation, y compris la réactualisation du logiciel, est relativement simple à réaliser. Si l'on veut utiliser MSSP2 pour expérimenter, il vaut mieux confier la commande de la cathode de LD3 à RA2 plutôt qu'à RA5. Pour cela, il suffit de couper la connexion d'origine et de relier maintenant la cathode à RA2. Il reste ensuite à effectuer une petite modification du micrologiciel :

Dans la routine `init_main`, on configure maintenant RA2 en sortie. À cet effet, le bit 2 du registre TRISA est mis à 0 au lieu de 1.

```
movlw B'11001100'
movwf TRISA
devient de ce fait :
movlw B'11001000'
movwf TRISA
```

Là où l'on accédait auparavant à `PORTA,D'005'`, il doit maintenant y avoir `PORTA,D'002'`. Il s'agit des endroits suivants :

- À la fin de la routine `init_main` (désactivation de toutes les cathodes).
- Dans le sous-programme `ishow_digit3` (activation de la

**Tableau 1.**

MSSP n°	Signal	Port	Broche n°
1	SDA1	RB4	13
	SCL1	RB6	11
2	SDA2	RB5	12
	SCL2	RB7	10

**Tableau 2.**

MSSP n°	Signal	Port	Broche n°
1	SDO1	RC7	9
	SDI1	RB4	13
	SCK1	RB6	11
2	SDO2	RA5/RC1	2/15
	SDI2	RB5	12
	SCK2	RB7	10

dernière cathode).

- Dans le sous-programme `disp_off` (désactivation de toutes les cathodes).
- À ces trois endroits il faudra modifier de la façon suivante :
  - `bsf PORTA,D'005'` devient : `bsf PORTA,D'002'`  
ou
  - `bcf PORTA,D'005'` devient : `bcf PORTA,D'002'`

### Communication I<sup>2</sup>C

Ayant à peu près vu à quoi peut servir un MSSP, entrons maintenant dans les détails de la communication I<sup>2</sup>C.

#### PIC16F1829 en maître I<sup>2</sup>C

Comme nous l'avons dit, un µC utilisé en maître peut commander très simplement nombre de puces intéressantes. Pour utiliser les fonctions MSSP, il suffit de savoir utiliser trois registres et d'écrire les quelques lignes de code requises.

Le premier s'appelle **SSPxCON1**. Un « 1 » ou un « 2 » au lieu du « x » indique que cela concerne MSSP1 ou MSSP2. Les gros µC disposent des deux registres SSP1CON1 et SSP2CON1, les plus petits n'ont qu'un seul MSSP, donc SSP1CON1. Le **tableau 3** montre l'organisation du registre. Pour l'instant, seuls les quatre bits de poids faible SSPM<3:0> et le bit SSPEN présentent un intérêt.

SSPM<3:0> permet de configurer le module MSSP. Sans entrer dans le détail, indiquons que la valeur 1000b correspond au fonctionnement en maître I<sup>2</sup>C. Le taux de transmission, dérivé de l'horloge du système, répond à la formule :  

$$I2C \text{ Clock Speed} = F_{osc} / (4 * (SSPxADD+1))$$
 Le bit SSPEN permet d'activer (=1) le MSSP ou de le désactiver (=0).

**Tableau 3.**

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
R/C/HS	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
WCOL	SSPOV	SSPEN	CK	SSPM<3:0>			

**Listage 1.**

```

;-----
; Paramétrer MSSP2 pour la communication par bus I2C
; (le PIC est le maître)
;-----
;
; step 1
i2c_init nop
    banksel    TRISB
    bsf        TRISB,D'007'    ; SCL
    bsf        TRISB,D'005'    ; SDA
    movlw      H'04'
    movwf      BSR    ; sélection de BANK 4
;

```

```

; step 2
    movlw      B'00101000' ; voir fiche de carac. pg 277
    ; bit 3-0 SSPM<3:0> = 1000
    ; 1000 = maître I2C,
    ; horloge = FOSC/(4*(SSPADD+1))
    movwf      SSP2CON1
;
; step 3, paramétrer vitesse I2C
    movlw      B'00111111'
    movwf      SSP2ADD
    clrf        SSP2STAT
    clrf        BSR    ; sélection de BANK 0
    return

```

**SSPxADD** est le second registre important. Pour le mode maître I<sup>2</sup>C, on se contente d'y placer une valeur de division. Soyons exhaustifs : en mode esclave I<sup>2</sup>C, on y trouve l'adresse I<sup>2</sup>C. Dernier registre, **SSPxSTAT**. Pour des expériences avec I<sup>2</sup>C, il suffit de veiller à ce que tous les bits soient mis à 1.

Une routine d'initialisation I<sup>2</sup>C en assembleur ressemble au code du **listage 1**. Premier pas, on paramètre les deux ports d'entrée (**step 1**) – condition *sine qua non* de leur utilisation potentielle en mode I<sup>2</sup>C.

On procède ensuite au paramétrage de SSP2CON1 (**step 2**) : la valeur 1000b règle le mode MSSP en maître. Simultanément, le MSSP est activé par la mise à 1 du bit 5 (SSPEN).

Pour terminer, on fixe la vitesse de transmission et on initialise le registre d'état (**step 3**). Dans notre exemple de code, on obtient 62,5 kHz (Fosc = 16 MHz, SSP2ADD = 63). Le µC est maintenant prêt à fonctionner en maître I<sup>2</sup>C.

**Routines de communication I<sup>2</sup>C**

La communication via I<sup>2</sup>C requiert certaines connaissances rudimentaires. Nous supposons que vous connaissez au moins les aspects fondamentaux de la communication I<sup>2</sup>C. Si ce n'était pas le cas : Google vous proposera instantanément différentes descriptions.

La communication prend du temps. Le suivi du registre SSPSTAT permet de déterminer l'instant où se termine le processus de communication en cours. Pour les expériences initiales et la plupart des applications, il suffit, après chaque étape de communication, d'attendre tout simplement un bref instant et de supposer purement et simplement qu'après la pause, tout est paré. Le micrologiciel devient d'une simplicité déconcertante. Ce processus décrit ci-après convient parfaitement à condition que la vitesse de transmission ne soit pas un facteur important. Toute transmission I<sup>2</sup>C commence par ce que l'on appelle une *Start Condition*, initiée par le maître. Cette condition de début peut très facilement être produite en assembleur en utilisant le MSSP :

```

i2c_start    bsf        BSR,D'002'    ; sélection de BANK 4
             bsf        SSP2CON2, SEN
             bcf        BSR,D'002'    ; sélection de BANK 0
             call        d55
             return

```

En fait, il suffit de mettre à 1 le bit SEN du registre SSP2CON2. Le sous-programme d55, tout simple, produit la pause à la fin de l'étape de communication :

```

d55    movlw      D'255'
        movwf      TIMER2
d55_loop decfsz    TIMER2,F
        goto        d55_loop
        return

```

Dans d55, on a 256 fois l'exécution d'une boucle vide. À une fréquence d'horloge de 16 MHz, cette temporisation est suffisante, avec le taux de transmission sélectionné, pour toutes les étapes de communication I<sup>2</sup>C.

Chaque communication I<sup>2</sup>C est clôturée par une *Stop Condition*. Comme dans le cas de la condition de début, son implémentation en assembleur est un jeu d'enfant :

```

i2c_stop    bsf        BSR,D'002'
             bsf        SSP2CON2, PEN
             bcf        BSR,D'002'
             call        d55
             return

```

On voit que le vrai travail est l'affaire du matériel MSSP, vu qu'il suffit de mettre à 1 le bit PEN du registre SSP2CON2. Il ne reste plus, pour effectuer un transfert de données concret, qu'à savoir comment écrire et lire des données. La routine ci-après permet à un maître d'envoyer un octet à l'esclave :

```

; transfert du contenu (octet) depuis le registre W
i2c_send    bsf        BSR,D'002'
             movwf      SSP2BUF
             bcf        BSR,D'002'
             call        d55    ;pause
             return

```

L'envoi d'un octet est lui aussi très simple. Il suffit d'écrire dans le registre SSP2BUF les données à transmettre. Ensuite, le matériel MSSP se recharge du vrai travail et l'octet du registre W se retrouve, sous forme série, sur le bus I<sup>2</sup>C.

La routine de réception, qui lit un octet venant de l'esclave,



est un peu plus complexe :

```
; mémorisation octet reçu dans registre W
; step 1
i2c_receive bsf    BSR,D'002'
              bsf    SSP2CON2, RCEN
              bcf    BSR,D'002'
              call   d55
; step 2
              bsf    BSR,D'002'
              movf   SSP2BUF,0
              bcf    BSR,D'002'
              return
```

Tout d'abord, le bit RCEN du registre SSP2CON2 est mis à 1 (step 1). Le matériel MSSP sait ainsi qu'il s'agit de recevoir un octet. On a ensuite une pause brève, ensuite l'octet reçu doit se trouver dans le registre SSP2BUF. Cet octet est lu et transféré dans le registre W (step 2).

Les trois blocs de code qui suivent ne sont pas nécessaires dans les exemples cités, mais comme il s'agit d'éléments importants de la communication I<sup>2</sup>C, prenons le temps d'en parler. Après que le maître a reçu un octet venant d'un esclave, il enverra généralement un ACK (**ACK**nowledge) ou un NACK (**Not ACK**nowledge) à l'esclave, pour l'informer de la réussite (on non) du transfert. Un sous-programme ACK peut ressembler à ce qui suit :

```
i2c_ack bsf    BSR,D'002'
        bcf    SSP2CON2, ACKDT    ;ACK
        bsf    SSP2CON2, ACKEN
        bcf    BSR,D'002'
        call   d55
        return
```

Si le bit ACKEN est mis à 1, le matériel MSSP lance une séquence ACK (accusé de réception) : le bit ACKDT est mis sur le bus. Si ce bit est à 0, on a envoi d'un ACK.

Un 1 signifie NACK. Par conséquent, le sous-programme **NOT\_ACK** est presque identique, puisque seul le bit ACKDT du registre SSP2CON2 est mis à 1 :

```
i2c_not_ack bsf    BSR,D'002'
            bsf    SSP2CON2, ACKDT    ;NACK
            bsf    SSP2CON2, ACKEN
            bcf    BSR,D'002'
            call   d55
            return
```

Il reste la routine **i2c\_restart** (redémarrage I<sup>2</sup>C) pour avoir tous les blocs de code. Un redémarrage I<sup>2</sup>C est nécessaire en cas de modification du sens de la communication avec un esclave. Le sous-programme **i2c\_restart** pourra ressembler à ceci :

```
i2c_restart bsf    BSR,D'002'
            bsf    SSP2CON2, RSEN
            bcf    BSR,D'002'
            call   d55
            return
```

Comme vous l'avez sans doute déjà pressenti, il suffit de mettre à 1 un seul bit (RSEN) du registre SSP2CON2.

Encore une remarque : tous les sous-programmes imposent qu'avant leur appel, le registre BSR pointe vers **BANK 0** (BSR = 00h). Si cela ne devait pas être le cas, il faudra, avant chaque instruction **bsf BSR,D'002'**, insérer un **clrf BSR**.

### Extension de port par PCF8574N

Après avoir décrit les blocs de code pour la communication I<sup>2</sup>C, nous pouvons maintenant passer à la pratique. Pour les expériences initiales, le plus utile serait une puce où l'on voit immédiatement ce qui se passe grâce à une simple commande de LED. Le PCF8574N de Texas Instruments (ou de NXP) est exactement ce dont nous avons besoin. Il s'agit d'un extenseur de port d'E/S pour 8 bits avec interface I<sup>2</sup>C, disponible aussi en boîtier DIP-16.

Ses huit broches d'E/S sont commutables en entrées ou en sorties. Si les charges à connecter sont considérables, il faudra les relier entre V<sub>DD</sub> et les sorties, sans oublier de tenir compte du courant maximal par sortie (25 mA) et de la puissance totale maximale de la puce (100 mW).

On commence par attaquer les huit LED avant de lire ensuite le niveau d'entrée sur les huit broches. La **figure 1** montre le schéma pour nos premières expériences avec I<sup>2</sup>C. Sur la

Publicité

Un assemblage industriel sans frais d'outillage



**EMS PROTO**  
Rapid Prototyping & Electronics Manufacturing Services

ASSEMBLAGE EN LIGNE  
DE **CARTE ELECTRONIQUE**

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



CHIFFRAGE  
EN LIGNE



FABRICATION  
EN 48H

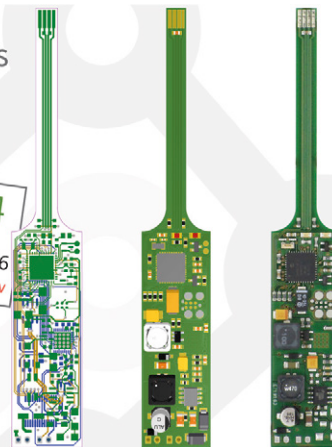


PAS DE FRAIS  
D'OUTILLAGE



RAPPORT DE  
FABRICATION INCLUS

Assemblez vos idées  
avec **EMSPROTO**



**figure 2**, on voit à quoi ressemble l'afficheur du premier article de ce cours doté cette fois de ports I<sup>2</sup>C et SPI après son montage sur un morceau de platine à trous. On trouve en bas à droite de la figure 1, l'extension de port avec huit LED autour d'IC2. Si on la réalise sur un morceau de platine à trous distinct pour en faire un module autonome, on devrait avoir quelque chose ressemblant à la **figure 3**.

Les étages de sortie du PCF8574N sont connectés dans une configuration à drain ouvert. Cela permet, « sans risque de destruction », de connecter aux sorties, en plus des LED, des boutons vers la masse. En cas d'action sur un bouton, la LED correspondante s'allume indépendamment de l'état du CI. Pour nous simplifier la vie, nous avons, dans la figure 3, remplacé les boutons par un octuple interrupteur DIP.

Le schéma de la figure 1 s'est vu en outre doté des deux résistances de polarisation haute, R9 et R10, sachant qu'un bus I<sup>2</sup>C est un système à collecteur ouvert ou à drain ouvert sans sorties *push-pull* – et par conséquent une communication sans résistances de polarisation haute est impossible.

### Expérience 1 : écriture I<sup>2</sup>C

La première expérience consiste à envoyer des données à l'extension de port par PCF8574N. À cette fin, seule la dernière application de démonstration du second article a été légèrement étoffée. Cette fois, les données lues à partir de la mémoire flash s'affichent non seulement en hexadécimal sur

l'afficheur à LED, mais sont aussi visibles sous forme binaire via le PCF8574N et ses huit LED. À cause de leur mode de connexion, les huit LED s'allument avec un « zéro » et sont éteintes avec un « un ». Il est facile, si on le souhaite, d'inverser cela dans le code.

La seule modification dans la boucle principale de l'application de démo est l'appel du sous-programme additionnel [PCF8574\\_send](#), avant l'envoi des données vers l'afficheur à LED. Comme son nom le laisse supposer, il envoie un octet via I<sup>2</sup>C au PCF8574N :

```
;step 1
PCF8574_send  call i2c_start
               movlw B'01000000'
               call i2c_send
;step 2
               movf v_value,0
               call i2c_send
;step 3
               call i2c_stop
               return
```

Le sous-programme est presque trivial grâce aux blocs de code I<sup>2</sup>C déjà décrits. On commence par produire la condition de début (**step 1**) pour ensuite adresser l'esclave (PCF8574N). Dans l'exemple, l'adresse I<sup>2</sup>C de la puce est 0100000b. En fait, l'adresse n'a que 7 bits – le dernier « zéro » indique une

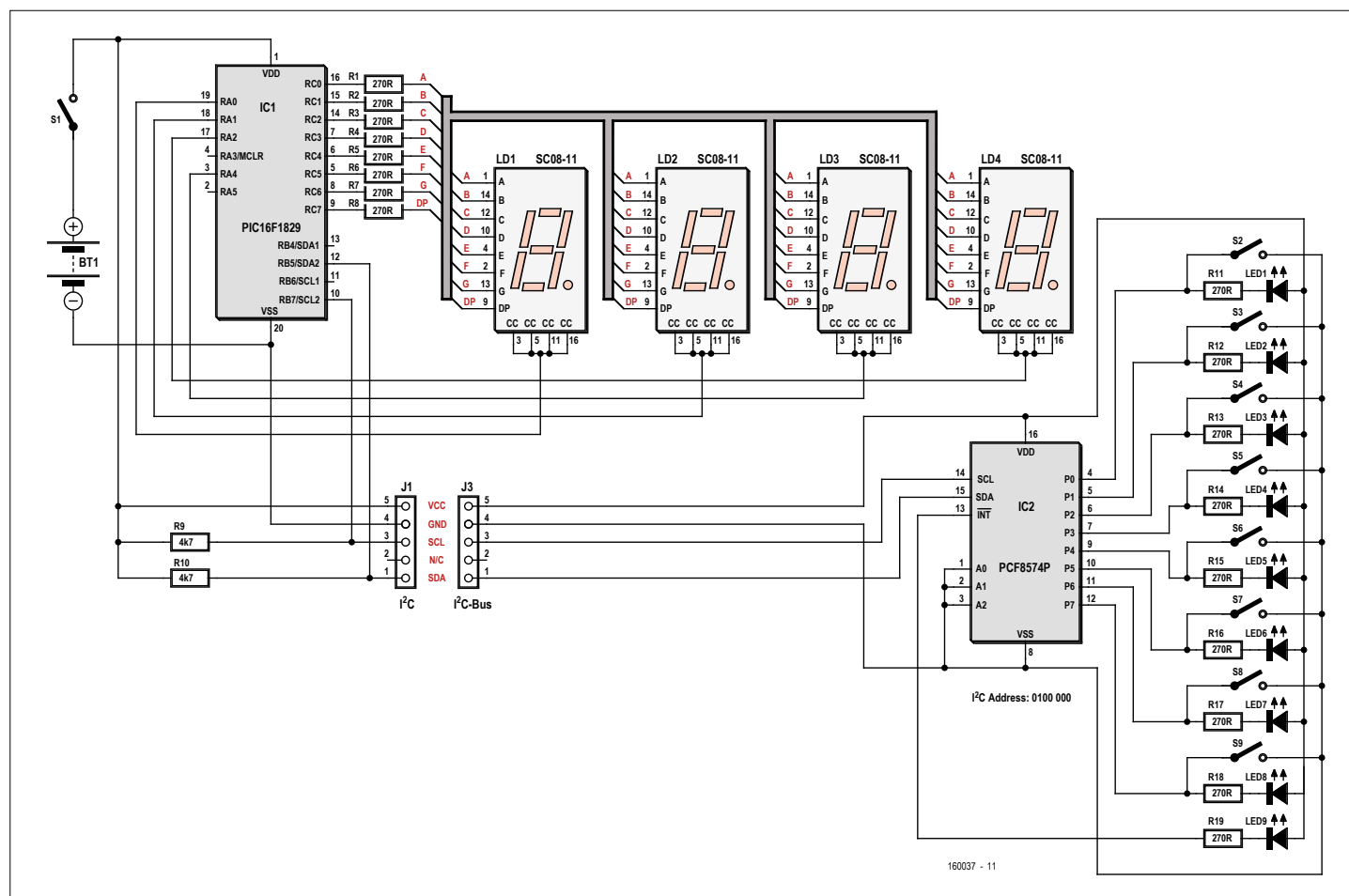


Figure 1. L'afficheur à LED doté d'un extenseur de port avec huit LED.



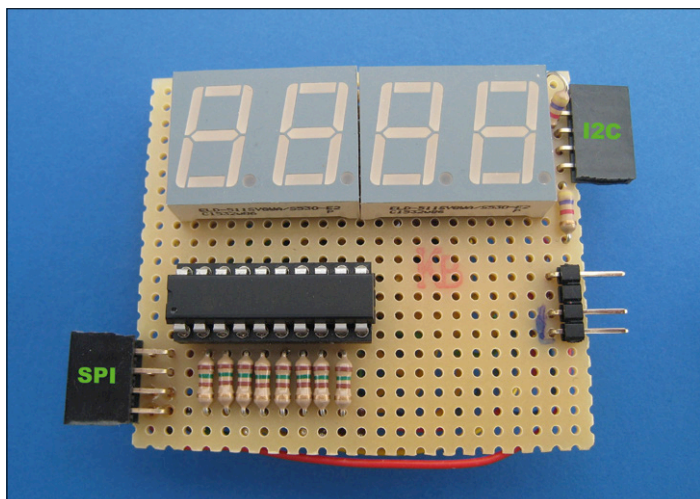


Figure 2. Si l'on dote l'afficheur à LED d'une interface I2C ou SPI, le schéma qui résulte pourrait ressembler à ceci.

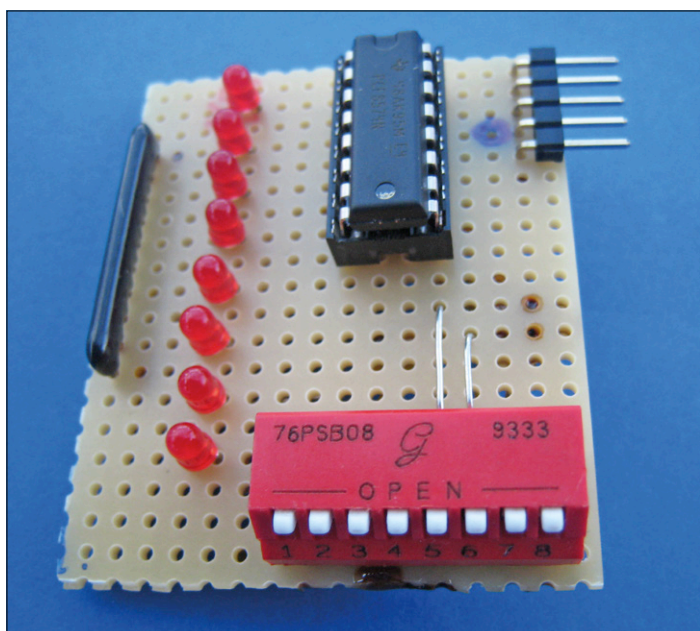


Figure 3. Prototype de l'expasseur de port avec huit LED en tant que module distinct sur un morceau de platine à trous.

écriture. Ensuite, l'octet à envoyer est transmis au PCF8574N (step 2). Immédiatement après sa réception, les LED devraient s'allumer en fonction de son contenu. Finalement, on a clos la communication avec la condition d'arrêt (step 3).

### Expérience 2 : lecture I<sup>2</sup>C

Cet exemple montre comment demander des données à un esclave (PCF8574N) et les recevoir. Pour cela, la boucle principale est modifiée de façon à ce que ce ne soient pas les données en provenance de la mémoire flash qui s'affichent sur l'afficheur, mais l'octet venant du PCF8574N :

```
;step 1
PCF8574_read  call i2c_start
              movlw B'01000001'
              call i2c_send
```

Les dernières nouveautés pour vos conceptions les plus récentes™

**M** **MOUSER ELECTRONICS**

Plus de  
nouveaux produits  
**en stock** que  
n'importe quel  
autre distributeur.

Commandez dès maintenant sur  
**mouser.fr**

```
;step 2
    call  i2c_receive
    movwf v_value
;step 3
    call  i2c_not_ack
    call  i2c_stop
    return
```

Au début de la routine, on envoie à nouveau la condition de début ([step 1](#)) avant d'adresser immédiatement le PCF8574N – mais en mode de lecture cette fois. D'où le « un » du dernier bit de l'adresse. L'esclave sait maintenant qu'il doit envoyer un octet, le CI esclave place le contenu du port sur le bus I<sup>2</sup>C. Ensuite, on a appel du sous-programme `i2c_receive` ([step 2](#)) pour la lecture de cet octet et son transfert dans le registre W. L'octet reçu est en outre stocké dans la variable `v_value` pour une utilisation ultérieure.

Il reste à clôturer la communication ([step 3](#)). Il y a d'abord envoi d'un NACK vers l'esclave qui signale la fin de la lecture. Pour finir, il reste la condition d'arrêt.

## Communication SPI

En principe, la communication via SPI est beaucoup plus simple que par I<sup>2</sup>C. La configuration du PIC en tant que maître SPI est, cependant, très similaire à ce que connaît I<sup>2</sup>C. Comme le montre le **listage 2**, on utilise les mêmes registres MSSP. Avec deux lignes de données plus l'horloge, plus au moins une ligne de sélection de puce, il faut en SPI bien plus de lignes qu'en I<sup>2</sup>C. De ce fait, il est normal que l'initialisation ([step 1](#)) soit un peu plus complexe. Comme RB5 doit ici être utilisée en SDI (*Serial Data Input*), cette broche doit donc être définie comme entrée. Les lignes restantes (SDO, CLK et CS) sont toutes des sorties.

On en arrive maintenant aux réglages nécessaires du registre SSP2CON1 ([step 2](#)). Les bits 0 à 3 servent à configurer MSSP2 en maître SPI. Comme SDO de MSSP2 peut être sur la broche RA5 ou RC1, il faut commencer par la définir. Comme cela devrait être RA5, le bit SDO2SEL du registre APFCON1 est mis à 1.

En outre, il faut configurer le mode dit SPI de telle sorte que l'esclave connecté puisse s'y retrouver. Les différents modes

### Listage 2.

```
;-----
; Paramétrer MSSP2 pour communication par bus SPI
; (le PIC est le maître)
;-----

; initialisation SPI du MSSP2
; RB7 = SCK2
; RB5 = SDI2
; RA5 = SDO2
;
; step 1
spi_init nop
    banksel TRISB
    bsf    TRISB,D'005' ; SDI2 (RB5 -- entrée)
    bcf    TRISA,D'005' ; SDO2 (RA5 -- sortie)
    bcf    TRISB,D'007' ; SCK2 (RB7 -- sortie)
    bcf    TRISB,D'006' ; CS   (RB6 -- sortie)
;
; step 2
    banksel APFCON1
    bsf    APFCON1,SDO2SEL ; SDO2 est sur RA5 (pas
```

```
sur RC1)
    banksel SSP2CON1
    movlw B'00000010' ; voir fiche de carac. pg 260
    ; bit 7 = 0 -> N/A
    ; bit 6 = 0 -> N/A
    ; bit 5 = 0 -> désactiver MSSP2
    ; bit 4 = 0 -> état idle pour l'horloge =
niveau bas
    ; bit 3-0 = 0010 -> mode maître SPI, horloge =
FOSC/64
    movwf SSP2CON1
    clrf  SSP2STAT
;
; step 3
; bit 7 = 0 -> données d'entrée échantillonnées
; au centre de la fenêtre de sortie de données
; bit 6 = 0 -> transmettre à la transition de idle
; -> état actif de l'horloge
    bsf    SSP2CON1,D'005' ; activer SPI sur MSSP2
    clrf  BSR
    bcf    PORTB,D'006' ; CS = 0 --> inactif
    return
```

### Listage 3.

```
;-----
; émission et réception de données SPI
;-----
;
; step 1
spi_send nop
    banksel SSP2CON1
    bcf    SSP2CON1,SSPOV ; pour la sécurité...
    bcf    SSP2STAT,BF ; pour la sécurité...
;
```

```
; step 2
    movwf SSP2BUF
    spil2 btfss SSP2STAT,BF
    goto  spil2
;
; step 3
    movf  SSP2BUF,0
    clrf  BSR
    movwf v_spi_buffi
    return
```





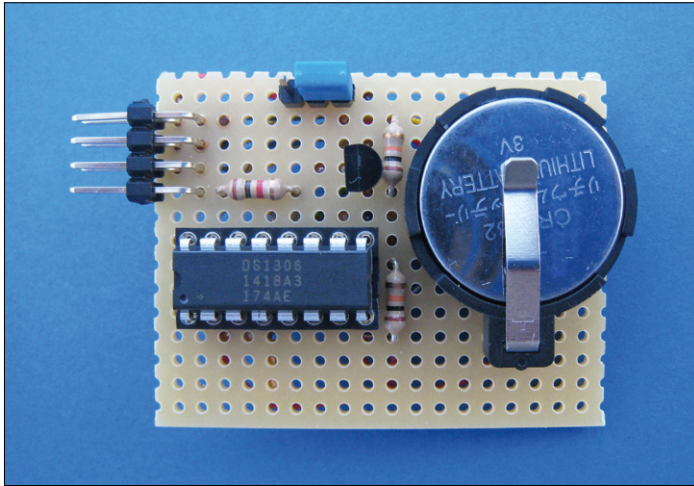


Figure 5. Prototype de l'horloge en temps réel en tant que module distinct sur un morceau de platine à trous.

le résultat devrait ressembler à ce que montre la **figure 5**.

Attention ! Pour que le module RTC connecté à l'interface SPI de la carte de base (celle avec l'afficheur) fonctionne correctement, il faut que les lignes SDI et SDO soient croisées, car ce qui est la sortie pour le maître est l'entrée pour l'esclave et vice versa. SDI et SDO se réfèrent donc toujours au circuit intégré concerné. La ligne RB6 fait office de CS. Une RTC requiert un quartz horloger, bien souvent de 32,768 kHz. Pour le circuit intégré sélectionné, il faudra utiliser un quartz conçu pour une capacité de charge de 6 pF.

### Expérience 3 : horloge avec afficheur à LED

Pour transformer l'afficheur à LED en horloge, il faut encore un zeste de code approprié, plus simple qu'on ne pourrait le penser. Ce dont on a besoin est, principalement, un sous-programme qui puisse extraire les informations de temps du DS1306. Il faut donc connaître les spécificités du DS1306.

Le circuit de la RTC possède 128 emplacements de mémoire adressables. Les sept premiers sont réservés à l'horloge proprement dite ; on trouve à l'adresse 00h les secondes, à 01h les minutes et à 02h les heures. Pas besoin de plus pour une horloge. Les valeurs individuelles sont stockées au format BCD. Pour 14:32:56, on lirait donc les valeurs suivantes :

- Adresse 00h (secondes) = 56h
- Adresse 01h (minutes) = 32h
- Adresse 02h (heures) = 14h

À chaque communication, un DS1306 s'attend d'abord à recevoir une adresse, il met ensuite à disposition les données demandées. Si le signal CS n'est pas désactivé, on a l'incréméntation du compteur d'adresses après chaque accès en lecture. Il est donc très facile de lire plusieurs octets successifs.

Dans le cas d'une adresse modulo 80h, le module d'horloge suppose qu'il ne s'agit pas de lire, mais d'écrire. Si donc

on envoie maintenant comme adresse non pas 01h mais 81h, le DS1306 attend une valeur à écrire à l'« adresse des minutes ».

**Le listage 4** donne une routine de lecture, qui lit les heures, les minutes et les secondes du DS1306. On commence par activer le signal CS (**step 1**), par sa mise à 1. L'esclave est alors à l'écoute du bus. Immédiatement après la RTC attend l'adresse du registre à lire. Ainsi, on met, par le biais du sous-programme `spi_send` la valeur 00h sur le bus (**step 2**). Le DS1306 sait maintenant que l'on attend le contenu du registre des secondes.

Pour récupérer la valeur des secondes, on fait à nouveau appel à la routine `spi_send` (**step 3**), sans spécifier explicitement un octet à envoyer sachant que, pour la lecture, son contenu est sans importance. L'esclave ne traite pas même cet octet, mais envoie sur l'autre ligne de données la valeur de l'adresse 00h. On retrouve alors la valeur des secondes dans le registre W. Celle-ci est stockée à l'emplacement de mémoire `v_sec`. On a ensuite, un nouvel appel à la routine `spi_send`. Grâce à la fonction d'auto-incrémentation du DS1306, on obtient maintenant le contenu du registre des minutes. Avec le dernier appel, on obtient la valeur de l'heure.

Pour cette expérience, les autres registres du DS1306 sont sans intérêt. La communication est donc clôturée par la désactivation du signal CS (**step 4**).

Nous disposons maintenant de l'heure actuelle dans les variables `v_hrs`, `v_min` et `v_sec` pour une utilisation ultérieure. L'affichage de l'heure fournie par le DS1306 n'a requis qu'un quadruple appel de la routine `spi_send`, avec la transmission d'un octet à l'esclave et une triple lecture d'octets en provenance de l'esclave. Il ne reste plus qu'à afficher ces données sous forme d'heure.

Ce n'est pas très difficile, sachant que l'on dispose des valeurs au format BCD et qu'il existe déjà une routine pour l'affichage de données HEX. **Le listage 5** est le code de l'application principale. La routine `Main_Appl` affiche un court instant « --.-- » (**step 1**), avant d'appeler l'initialisation SPI (**step 2**).

La boucle principale `clock_loop` (**step 3**) attend brièvement et, par le biais du sous-programme `spi_read_time`, extrait l'information de temps du DS1306. Ensuite, comme décrit dans l'article précédent, les données BCD sont subdivisées en deux quartets et le résultat est transmis aux « variables de la mémoire vidéo » `v_pos0` à `v_pos3` (**step 4**). Et voilà, fin du travail.

Les secondes ne sont pas utilisées puisque l'afficheur ne comporte que quatre chiffres. Si on le voulait, on pourrait utiliser dans **step 4a** la variable `v_min` et dans **step 4b** la variable `v_sec` pour afficher les minutes et les secondes.

Il y a une petite extension de la routine d'affichage, qui sert uniquement à faire clignoter le point au milieu. Pour des raisons de place, nous en avons omis la description, mais elle n'a rien de sorcier et est facilement compréhensible dans le code source téléchargeable en [1].

Absent également, le code qui permettrait de régler l'horloge sur une certaine heure. Avec tout ce que vous avez appris



tout au long de ce cours, cela ne devrait pas poser de gros problèmes. Nous avons vu plus haut comment écrire de nouvelles données dans le DS1306. Mais même sans ce code, il est possible d'avoir l'heure exacte. Il suffit de rester debout un peu plus longtemps et d'appliquer la tension d'alimentation lorsqu'il sera exactement 00:00. Il n'y a pas besoin d'autres configurations. En standard, l'horloge travaille au format 24h.

### Autres expériences

Comme nous le disions, il est possible, grâce aux interfaces I<sup>2</sup>C ou SPI, de connecter de façon simple nombre de puces d'interface. *Googlez* « I2C IC » ou « SPI IC » et vous tomberez des nues : il n'y a presque rien qui ne soit pas là.

On pourrait, par ex., grâce au circuit intégré INA219, faire de l'afficheur à LED un multimètre (V/A). Outre ladite puce, il ne nous faut qu'un rien de code et, dans le cas d'une mesure de courant, un *shunt* bien sûr. Le  $\mu$ C peut aisément commander le CI de mesure INA219, basculer d'un mode à l'autre, enregistrer et afficher les valeurs mesurées.

Il est tout aussi facile d'utiliser l'afficheur à LED en tant que thermomètre. On pourra fort bien utiliser alors, par ex., les capteurs de température intégrés TCN75 de Microchip, TMP100 de TI ou ADP7410 d'Analog Devices. Ces thermomètres numériques sont faciles à utiliser, car ils ne requièrent pratiquement pas de composant externe. Les puces fournissent, à peu de frais et facilement via l'interface I<sup>2</sup>C, la température du moment.

### Perspectives

Nous en sommes arrivés la fin de ce deuxième cours intensif d'assembleur. Nous espérons que vous l'aurez apprécié et que vous y aurez découvert d'intéressantes suggestions.

Je me ferai un plaisir de répondre par courriel (miroslav.cina@t-online.de) à vos questions sur ce sujet. ◀

(160037 – version française : Guy Raedersdorf)

### Lien

[1] Page de l'article : [www.elektormagazine.fr/160037](http://www.elektormagazine.fr/160037)

#### Listage 4.

```
;-----
; lecture de l'heure du DS1306 via SPI
;-----
;
; step 1
spi_read_time bsf    PORTB,D'006'    ; activer CS
;
; step 2
    movlw H'00'
    call spi_send ; envoi de l'adresse
;
; step 3
    call spi_send ; lecture des secondes
```

```
movf v_spi_buffi,0
movwf v_sec
call spi_send ; lecture des minutes
movf v_spi_buffi,0
movwf v_min
call spi_send ; lecture des heures
movf v_spi_buffi,0
movwf v_hrs
;
; step 4
    bcf    PORTB,D'006'    ; désactiver CS
return
```

#### Listage 5.

```
;-----
; application principale -
; horloge DS1306
;-----
;
; step 1
Main_Appl    movlw H'10'
    movwf v_pos0
    movwf v_pos1
    movwf v_pos2
    movwf v_pos3
```

```
;
; step 2
    call spi_init
;
; step 3
clock_loop call dr2
    call spi_read_time
;
; step 4a
    movf v_hrs,0
    movwf v_value
    call calc_hex_disp
    movf v_msb,0
```

```
movwf v_pos0
movf v_lsb,0
movwf v_pos1
;
; step 4b
    movf v_min,0
    movwf v_value
    call calc_hex_disp
    movf v_msb,0
    movwf v_pos2
    movf v_lsb,0
    movwf v_pos3
    goto clock_loop
```

# papier électronique

## l'avenir des écrans ?

Dogan Ibrahim (Chypre)



Le fonctionnement des écrans classiques rétroéclairés repose sur le principe de l'émission de lumière. Le papier électronique ou e-paper (également appelé EPD pour *Electronic Paper Display*) est un écran qui réfléchit la lumière exactement comme de l'encre sur du papier. En outre, les caractères sur e-paper sont lisibles même au soleil. Les papiers électroniques sont des écrans idéaux : même éteints, ils affichent toujours l'image, donc consomment très peu d'énergie. Intéressons-nous à l'histoire du papier électronique, son principe de fonctionnement, ses points forts, mais aussi faibles, ainsi que son avenir.

### L'histoire

L'écran Gyrycon à billes en rotation est le premier e-paper développé dans les années 1970 par l'équipe de Nicholas

K. Sheridan au Centre de recherche de Xerox de Palo Alto. L'idée était de créer un concept de bureau zéro-papier en développant un écran qui reproduise l'appa-

rence de l'encre sur le papier. Le principe du Gyrycon est simple : une feuille en plastique recto verso très fine, remplie de poches d'huile, et des millions de minuscules billes bicolores placées dans la feuille en matière plastique. Ces billes, qui se retournent lorsqu'elles sont exposées à un champ électrique, sont noires (ou blanches) lorsque la rotation est complète ou affichent différents tons de gris pour une rotation partielle. L'intérêt de cette idée : le texte ou l'image affichés restent en place jusqu'à la modification du champ électrique, d'où une consommation électrique très faible pendant le fonctionnement. L'image ne bouge pas non plus une fois que l'alimentation est coupée. L'écran fonctionnera donc plusieurs années avant qu'il soit nécessaire de changer les piles. À l'origine, les écrans Gyrycon, chers, n'offraient qu'une faible résolution et étaient surtout utilisés pour afficher des messages. Xerox choisit d'abandonner ce projet en 2005 pour des raisons de rentabi-

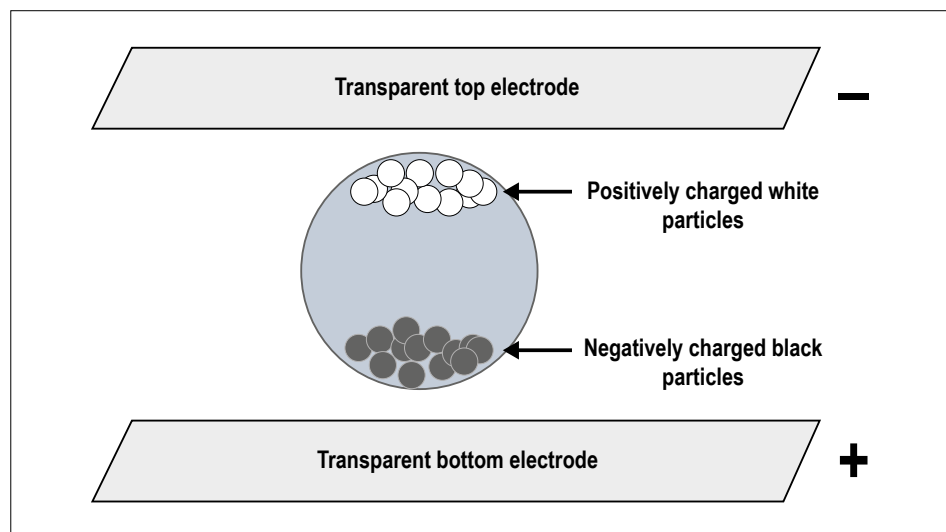


Figure 1. Principe de fonctionnement du papier électronique.





## La technologie du papier électronique devrait conduire à l'apparition de véritables bureaux zéro-papier.

lité. Depuis, de nombreuses entreprises (Sony, Hewlett-Packard, IBM, Fujitsu, Hitachi ou Siemens) ont planché sur le papier électronique, le développant sous différentes formes. Actuellement, le papier électronique couleur est l'une des inventions les plus remarquables dans ce domaine.

### Fonctionnement du papier électronique

Aujourd'hui, l'e-paper repose sur la technologie de l'encre électronique. De quoi s'agit-il ? Cette encre est constituée de millions de minuscules capsules d'encre remplies de petites particules de différentes couleurs et charges électriques. Dans un e-paper, ces capsules sont insérées dans un film ultra fin entouré d'électrodes placées sur les faces supérieures et inférieures de celui-ci. Les particules de couleur chargées se déplacent vers la face supérieure ou inférieure sous l'effet d'un champ électrique (fig. 1). Le déplacement dans l'une ou l'autre direction, selon la polarité du champ, provoque un changement de couleur de la surface de l'e-paper (par ex. différentes nuances de gris dans le cas des écrans N&B), d'où l'apparition de texte ou d'images.

Deux grandes propriétés rendent le papier électronique intéressant : l'image affichée reste visible jusqu'à ce qu'elle soit effacée, tout comme un texte sur un écran d'ordinateur. Le papier électronique ne requiert de l'énergie que lorsqu'une nouvelle image doit être affichée : tant que l'image n'est pas modifiée, aucune énergie n'est nécessaire pour l'afficher. Ainsi, lire un livre sur papier électronique ne consomme de l'énergie que pour tourner les pages. Autre caractéristique attrayante : l'image apparaît par réflexion de la lumière, donc sans rétroéclairage, tout comme le papier traditionnel. Cela facilite la lecture et offre plus de confort pour les yeux grâce à un angle de vue augmenté, sans éblouissement ni pollution lumineuse de l'environnement.

### Utilisation du papier électronique

Grâce à ses nombreux atouts, le papier électronique est idéal pour toutes les applications d'affichage, à l'intérieur et

à l'extérieur. Les domaines d'application à l'intérieur sont :

- Appareils mobiles tels que les liseuses numériques (Kindle d'Amazon, fig. 2)
- Afficheurs de messages dans les magasins et les lieux publics
- Étiquettes des rayons en magasin
- Hôtellerie et restauration
- Panneaux d'affichage dans les services publics
- Panneaux d'affichage intérieurs (musées par ex.)

Les domaines d'application à l'extérieur sont :

- Panneaux de signalisation routière
- Panneaux d'arrêts de bus et d'horaires de trains
- Panneaux de parkings
- Affichages publics
- Publicité

### Avantages et inconvénients du papier électronique

La technologie d'affichage sur papier électronique présente de nombreux avantages, dont :

- Une consommation en énergie extrêmement faible

- Une image semblable à l'apparence de l'encre sur du papier
- La possibilité de lire même au soleil
- Une structure souple

Actuellement, son seul inconvénient est peut-être son temps de réponse.

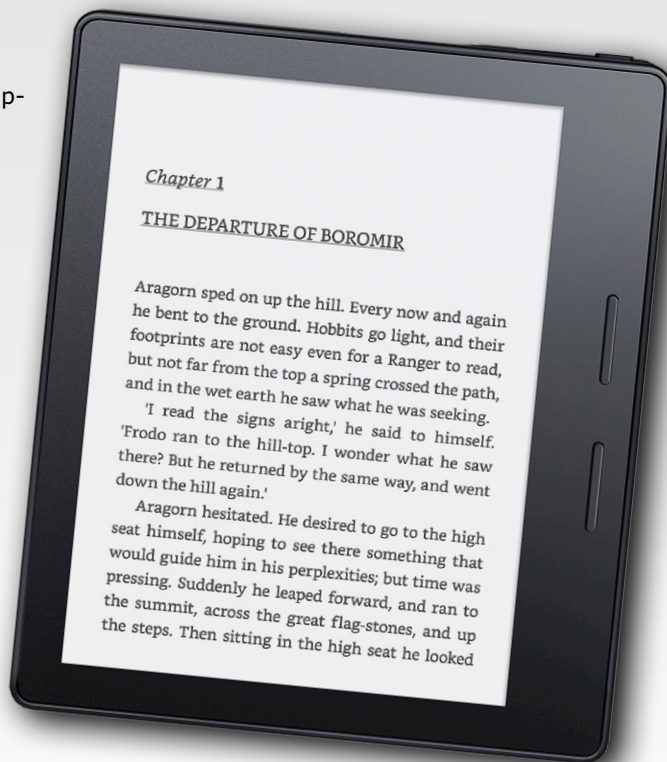


Figure 2. Liseuse Kindle sur e-paper.

**Tableau 1 Comparaison du papier électronique et des écrans LCD (qui affichent des caractères)**

Papier électronique	LCD (affichage de caractères)
Angle de vue de 180°	Angle de vue de 60°
Facilité de lecture (même au soleil)	Lecture plus ou moins facile selon les conditions
Pas d'éblouissement	A tendance à éblouir
Consommation d'énergie extrêmement faible	Consommation d'énergie modérée
Excellent rapport de contraste	Mauvais rapport de contraste
Très fin	Épaisseur moyenne
Peut être flexible	Ne peut pas être flexible
Faible coût	Coût modéré
Très grandes dimensions possibles	Dimensions limitées
Pas de rétroéclairage	Rétroéclairage requis
Idéal pour les liseuses numériques	Pas adapté aux liseuses numériques
Image stable	L'image peut vaciller
Pas de fatigue visuelle	Peut provoquer une fatigue visuelle



Figure 3. E-paper flexible.

### Papier électronique versus LCD

Les écrans à cristaux liquides ont été utilisés dans presque tous les appareils électroniques pendant plusieurs décennies pour des applications qui nécessitaient une interaction et un contrôle humains. Le **tableau 1** compare papier électronique et écrans LCD (uniquement ceux qui affichent des caractères). En principe, choisir un papier électronique plutôt qu'un écran LCD (ou inversement) dépend de l'endroit d'utilisation. Pour les applications qui nécessitent de regarder un affichage pendant une durée prolongée, comme sur les liseuses numériques, on optera pour le papier électronique, qui offre une image nette, haute résolution, un large angle de vue et un résultat similaire à celui de l'impression sur papier, qui préserve à la fois les yeux et l'environnement. Par ailleurs, pour de nombreux appareils portatifs, il est essentiel que la durée de vie des batteries soit longue. Là encore, le papier électronique qui peut fonctionner des années durant avec une seule batterie fait figure de favori. Autres domaines d'application où l'e-paper peut éventuellement l'emporter : la conception d'écrans de grandes dimensions pour afficher des messages ainsi que d'écrans souples de différentes formes et épaisseurs (**fig. 3**).

### Papier électronique couleur

Dans la technologie du papier électronique, l'avancée majeure a sans doute été le développement de l'e-paper capable d'afficher de véritables couleurs vives. La couleur a été introduite à l'origine en utilisant des réseaux de filtres sur la face supérieure des papiers noirs et blancs, mais un tel dispositif réduisait la résolution et le contraste. Le papier électronique capable d'afficher de véritables couleurs vives, désormais disponible sans ces filtres, produit des images réfléchissantes multicolores d'une grande netteté. Cette technologie couleur repose sur quatre pigments différents : cyan, jaune, magenta et blanc. L'innovation ici réside dans la taille des particules d'encre qui diffère de l'une à l'autre et dans la charge qu'elles portent. Ainsi, les particules se déplacent selon la force de la tension appliquée et la combinaison de différentes particules colorées produit la couleur requise en surface. Selon les estimations, cette technologie permet d'afficher jusqu'à 32 000 couleurs. La **figure 4** montre comment blanc, cyan et vert peuvent être affichés par ex. en

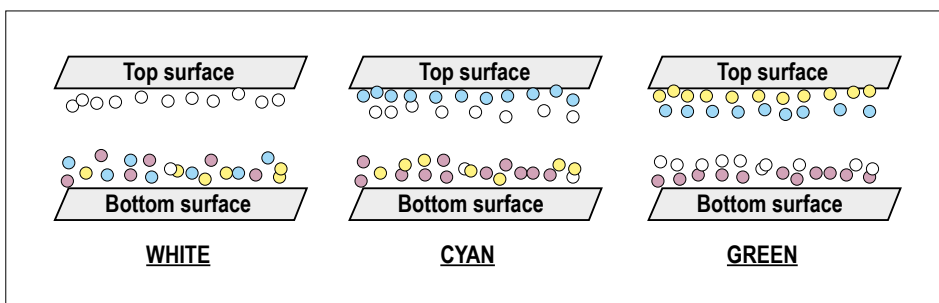


Figure 4. Affichage de couleurs sur e-paper.

### Liens

- [1] [www.waveshare.com/4.3inch-e-paper.htm](http://www.waveshare.com/4.3inch-e-paper.htm)
- [2] [www.pervasivedisplays.com/kits/epd\\_xpro](http://www.pervasivedisplays.com/kits/epd_xpro)
- [3] [www.embeddedartists.com/products/displays/lcd\\_27\\_epaper.php](http://www.embeddedartists.com/products/displays/lcd_27_epaper.php)
- [4] [www.adafruit.com/products/1316](http://www.adafruit.com/products/1316)
- [5] [www.seeedstudio.com/depot/eink-display-shield-p-1374.html?cPath=132\\_134](http://www.seeedstudio.com/depot/eink-display-shield-p-1374.html?cPath=132_134)
- [6] [www.eink.com/esl\\_tags.html](http://www.eink.com/esl_tags.html)
- [7] [www.conrad.fr](http://www.conrad.fr) : carte de développement Renesas YLPDSKRL78EINK



Figure 5. E-paper E1271CS021 (www.densitron.com).

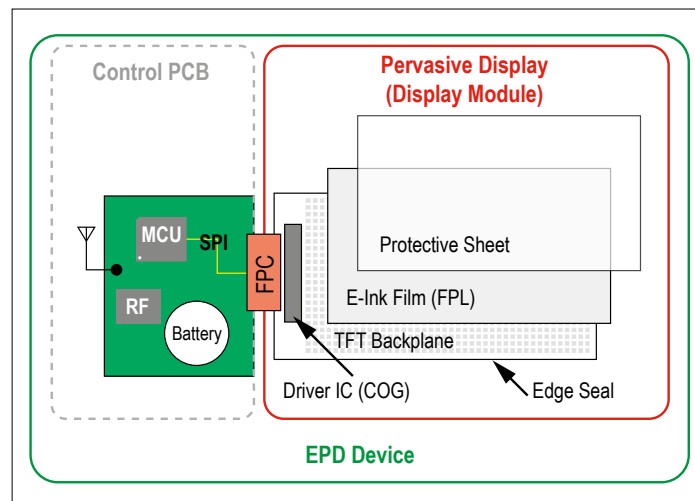


Figure 6. Structure de l'e-paper E1271CS021 (www.densitron.com).

combinant les pigments disponibles à la surface de l'écran.

### Exemple de papier électronique

Un exemple d'affichage sur papier électronique est donné ici pour familiariser le lecteur avec les manières d'utiliser ces écrans dans des applications avec microcontrôleur. L'écran choisi ici est le produit E1271CS021 de Densitron (www.densitron.com). Le papier électronique (fig. 5) affiche les dimensions suivantes :  $70,42 \times 45,8 \times 1$  mm pour une résolution de  $264 \times 176$  et une valeur en points par pouce de 17 dpi. Un écran coûte environ 18 £, un prix compétitif par rapport aux écrans LCD de taille comparable. L'écran (fig. 6) est constitué d'un film d'encre électronique posé sur un fond de

panier TFT et d'une fine couche protectrice. Le cadencement ainsi que le transfert de données vers l'écran et en provenance de celui-ci sont contrôlés par un microcontrôleur monté au dos d'un circuit imprimé. L'écran est connecté au monde extérieur par liaison sans fil Wi-Fi. La configuration de l'écran est effectuée par Wi-Fi avec l'outil SmartConfig.

### Quel avenir pour le papier électronique ?

Selon les prévisions, le marché du papier électronique ne cessera d'augmenter pour dépasser les 9 milliards de dollars d'ici à 2025. Les développements à venir et la réduction des coûts de la technologie du papier électronique devraient également conduire à l'apparition de véritables

bureaux zéro-papier. La légèreté et la flexibilité sont les grands atouts du papier électronique pour l'affichage : possibilité de plier et d'emmener facilement un écran, de créer un écran portatif, sous la forme d'une montre (Seiko e-ink par ex.).

Aujourd'hui, la recherche se concentre sur l'intégration de la technologie des écrans tactiles aux papiers électroniques. Selon l'auteur, le papier électronique est bien parti pour durer au vu de ses avantages et de ses propriétés extraordinaires. Et les récents développements du papier électronique couleur vont probablement faire de cette technologie la base de presque tous les écrans dans les prochains temps. ◀

(160196 – version française : Emilie Hentges)

## Kits de développement

De nombreuses entreprises offrent désormais des papiers électroniques à des prix compétitifs.

- Waveshare [1] propose un e-paper compatible avec les cartes Arduino de 4,3 pouces affichant une résolution de  $800 \times 600$  pour 55 \$ et fonctionnant avec un port de données sériel.
- Atmel [2] a introduit un kit de développement de papier électronique, l'EPD Xplained Pro, pour un prix de 72 \$. Celui-ci fonctionne avec une interface SPI et prend en charge des écrans

jusqu'à 2,7 pouces. Un kit de papier électronique est disponible auprès d'Embedded Artists [3] pour 29 €. Il peut prendre en charge des écrans de 2,7 pouces.

- Adafruit [4] vend trois kits de développement sous le nom de rePaper Project Board, pour des prix avoisinant les 35 \$ écran compris. Les kits fonctionnent sous une tension de 5 V et un câble de 20 broches est fourni pour les brancher sur le connecteur Arduino.
- SEEED [5] propose un *shield* pour écran de papier électronique conçu pour être branché sur une carte

Arduino. Le *shield*, qui coûte 50 \$, est doté d'un écran de 2,1 pouces.

- E-ink [6] vend un kit de développement de papier électronique avec deux écrans pour 70 \$. Le kit est à brancher sur le port USB d'un ordinateur et inclut tout le matériel et tous les pilotes requis.
- Renesas Electronics [7] vend un kit de développement de papier électronique par l'intermédiaire de Conrad. Le kit comprend un petit écran et tout le matériel nécessaire. Il est vendu au prix de 83 € et se connecte à l'ordinateur hôte au moyen d'un port USB.



hors circuits

# L'ABC des CA/N

## sigma-delta, quésaco ?

Robert Lacoste (Chaville)

Mon précédent article traitait des convertisseurs analogiques/numériques (CA/N) : comment lire leurs spécifications, choisir le bon modèle pour votre application, et ne pas trop se tromper en les mettant en œuvre [1]. Une classe particulière de convertisseurs mérite cependant un article dédié : les convertisseurs sigma-delta. Il s'agit d'une technologie un peu spécifique pour convertir une tension analogique en une grandeur numérique (CA/N) ou vice-versa (CN/A), mais avec des qualités qui la rendent incontournable dans une foultitude d'applications allant des pèse-personnes aux systèmes audiophiles. Voyons ensemble pourquoi...

### Un CN/A en MLI...

Commençons par l'exemple d'un convertisseur numérique/analogique, c'est-à-dire d'un CN/A. Imaginez que vous devez délivrer une tension réglable de 0 V à 2,55 V par pas de 0,01 V. Ce CN/A aura donc une résolution de 8 bits (car  $2^8 \times 0,01 \text{ V} = 255 \times 0,01 \text{ V} = 2,55 \text{ V}$ ). Supposons que vous n'avez pas envie d'acheter un composant tout fait, mais souhaitez le réaliser avec des circuits logiques (par exemple avec un FPGA ou un microcontrôleur). Prenons enfin l'hypothèse que ce circuit accepte une horloge de 10 MHz maximum. Comment faire, avec le moins de composants possible ?

La solution la plus simple porte le doux nom de MLI (Modulation par Largeur d'Impulsions), elle est illustrée sur la **figure 1**. Il vous suffit d'associer deux composants numériques (un comp-

teur à 8 bits et un comparateur à 8 bits) et deux composants analogiques (un commutateur et un filtre passe-bas).

Comment cela fonctionne-t-il ? Imaginons que vous souhaitiez délivrer une tension de 0,74 V. Pour cela, appliquez sur l'une des deux entrées du comparateur le nombre « 74 », bien sûr codé en binaire. Son autre entrée est raccordée à un compteur binaire, piloté par l'horloge de 10 MHz. La sortie de ce compteur est donc incrémentée à chaque coup d'horloge, et la sortie du comparateur est au niveau haut pendant 74 coups d'horloge puis au niveau bas pendant  $256 - 74$  coups d'horloge : c'est un signal rectangulaire, dont le rapport cyclique est fixé par la valeur d'entrée. Ce signal pilote ensuite un commutateur analogique qui sélectionne alternativement soit une tension de référence, fixée ici à 2,56 V par commodité, soit la masse. Un filtre passe-bas élimine les créneaux du signal et en donne la

valeur moyenne. Quelle est cette valeur moyenne ? Bien sûr  $2,56 \text{ V} \times 74/256 = 0,74 \text{ V}$  comme souhaité.

Un tel convertisseur MLI permet donc de produire très simplement des tensions avec une résolution aussi grande que désiré, simplement en augmentant le nombre de bits du compteur et du comparateur. Mais cette solution a un inconvénient majeur : avant le filtre passe-bas, le signal est rectangulaire avec une fréquence assez faible, ici  $10 \text{ MHz}/256 = 39 \text{ kHz}$ . Plus le nombre de bits est petit, plus cette fréquence est basse, d'où un spectre en fréquence comprenant des raies parasites à  $39 \text{ kHz}$  et à ses multiples (cf. **fig. 2**), ce qui imposera un filtre passe-bas atténuant « suffisamment » le  $39 \text{ kHz}$ . J'ai déjà parlé de filtres anti-repliements dans mon précédent article, donc vous savez que ce n'est pas si simple. En pratique, soit ce filtre sera complexe et cher, soit il coupera à une fréquence nettement plus basse, typiquement quelques  $\text{kHz}$ , afin d'être physiquement réalisable. Ce n'est pas un souci si la valeur de sortie du CN/A ne doit pas changer fréquemment, mais cela le devient pour des applications plus rapides comme en audio.

### La variante sigma-delta du CN/A

Comment faire mieux, sans augmenter sensiblement le nombre de composants ? La solution est bien sûr d'utiliser une approche « sigma-delta ». Selon Walt Kester, d'Analog Devices, la technique sigma-delta provient de travaux menés en France par ITT en 1946, ce qui ne nous rajeunit pas. L'idée est très simple. Reprenons le même exemple.

Comme pour un convertisseur à MLI, un CN/A sigma-delta à 8 bits va produire un signal numérique de rapport cyclique  $74/256$ , qui permettra de reconstruire une tension de  $0,74 \text{ V}$  via un commutateur analogique, une tension de référence et un filtre-basse-pas. Par contre, plutôt que de créer une longue séquence de  $74 \ll 1 \gg$  puis une longue séquence de  $256 - 74 \ll 0 \gg$  comme le fait un MLI, un modulateur sigma-delta mélange le plus possible les « 0 » et les « 1 ». Évidemment cela ne change pas la valeur moyenne, c'est-à-dire la tension de sortie, mais le filtrage passe-bas s'en trouve largement simplifié, car les fréquences des « parasites » sont beaucoup plus élevées comme nous le verrons.

Passons aux détails. L'architecture d'un CN/A sigma-delta à 8 bits est illustrée en **figure 3**. Comparez les parties analogiques, en vert, elles sont strictement identiques à la version MLI de la figure 1. La partie numérique est par contre un peu

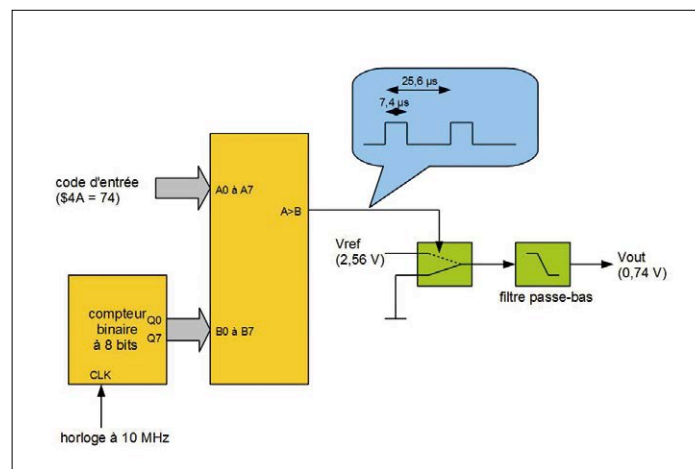


Figure 1. La modulation par largeur d'impulsion (MLI) permet de réaliser un CN/A à 8 bits. Ici la sortie a une valeur moyenne de  $0,74 \text{ V}$  pour un code de 74 en entrée.

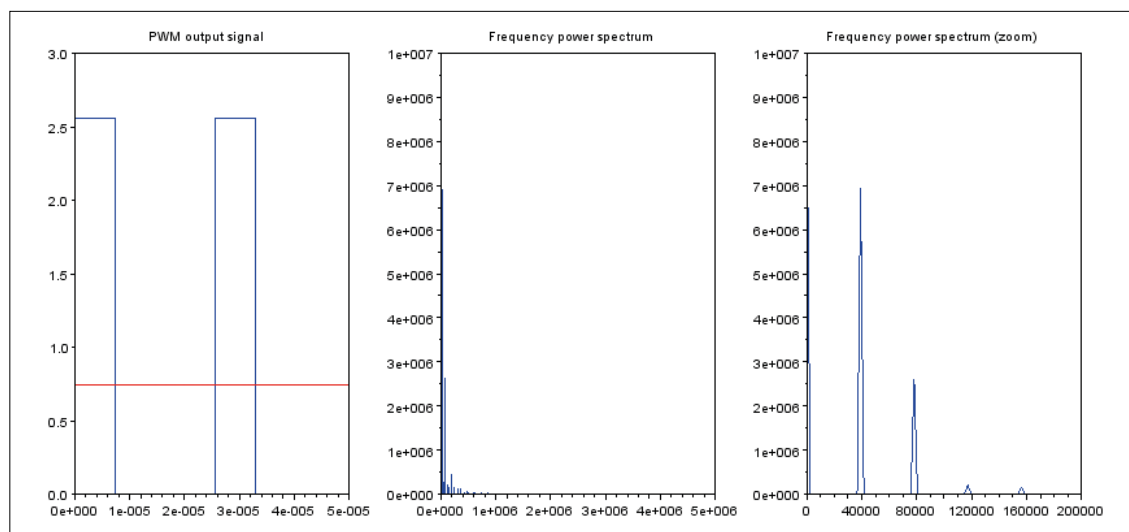


Figure 2. L'inconvénient d'un signal MLI (gauche) est visible dans le domaine fréquentiel (centre, et zoomé à droite). Ici une composante de forte puissance est présente à la fréquence de la MLI, soit  $39 \text{ kHz}$ .

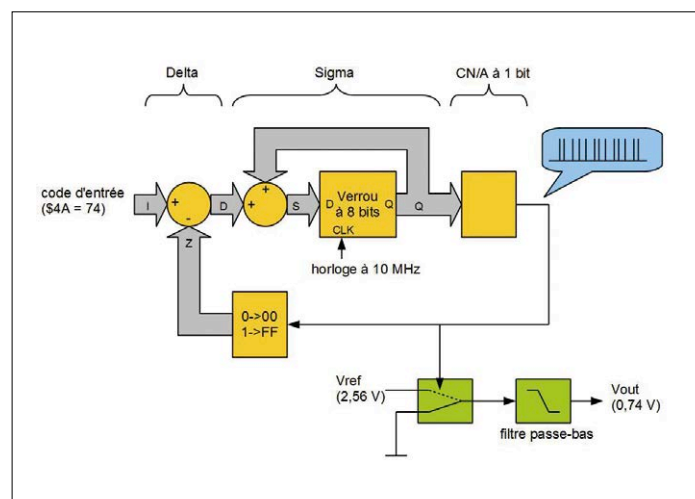


Figure 3. L'architecture d'un CN/A à 8 bits sigma-delta est juste un peu plus compliquée sur le plan numérique, mais la tension moyenne de sortie reste la même.

Code entrée (I)	Delta (D=I-Z)	Intégrale (S=D+Q)	Verrou (Q=S(n-1))	CN/A à 1 bit (Z=bit de poids fort de Q)
74	74	74	0	0
74	74	148	74	0
74	-181	-33	148	255
74	74	41	-33	0
74	74	115	41	0
74	74	189	115	0
74	-181	8	189	255
74	74	82	8	0
74	74	156	82	0
74	-181	-25	156	255
74	74	49	-25	0
74	74	123	49	0
74	74	197	123	0
74	-181	16	197	255
74	74	90	16	0
74	74	164	90	0
74	-181	-17	164	255
74	74	57	-17	0
74	74	131	57	0
74	-181	-50	131	255
74	74	24	-50	0
74	74	98	24	0
74	74	172	98	0
74	-181	-9	172	255
Moyenne	-0,375	75	75,375	74,375

Figure 4. Voici les étapes, coup d'horloge par coup d'horloge, des calculs réalisés par un CN/A à 8 bits. Reportez-vous à la figure 3 pour comprendre les intitulés des colonnes.

plus complexe. Cette dernière commence par un soustracteur binaire (d'où le nom « delta ») qui calcule la différence entre le code d'entrée et une valeur 0 ou 255, selon l'état de la sortie. La différence ainsi calculée passe alors dans un intégrateur, c'est-à-dire un additionneur à 8 bits suivi d'un verrou à 8 bits. À chaque coup d'horloge, ici 10 MHz, la valeur « D » est ajoutée dans l'intégrateur (d'où bien sûr le « sigma »). Enfin le bit de poids fort de l'intégrateur pilote la sortie.

Argh ! Comment cela peut-il marcher ? Voici une première piste de réflexion pour vous convaincre que c'est possible : en moyenne, la valeur d'entrée d'un intégrateur doit être nulle sinon celui-ci diverge. La valeur d'entrée de celui-ci est justement la différence entre la valeur d'entrée, ici 74, et un signal valant 255 ou 0 selon l'état de la sortie, donc nécessairement le rapport cyclique de sortie est égal à 74/256, CQFD. Si vous voulez regarder plus en détail les étapes du calcul alors jetez un œil au tableau de la **figure 4**, qui vous montre les valeurs des différents signaux à chaque coup d'horloge. Vous verrez dans la colonne de droite que la sortie est constituée de « 1 » isolés, séparés de 3 ou 4 « 0 », avec une valeur moyenne bien conforme à l'attente.

Comme promis l'avantage majeur d'un sigma-delta est visible dans le domaine fréquentiel. Comparez donc le spectre de sortie du modèle à MLI (figure 2) et celui d'un sigma-delta avec les mêmes paramètres et fréquence d'horloge (**figure 5**). Dans cet exemple, la raie parasite principale est à 2,95 MHz, beaucoup plus simple à filtrer que 39 kHz. Par contre ce spectre de raies dépend beaucoup de la valeur d'entrée du CN/A, ce qui n'est pas le cas avec la MLI donc quelques précautions restent nécessaires.

### Et les CA/N sigma-delta alors ?

Maintenant si vous voulez réaliser un convertisseur analogique/numérique (CA/N), l'approche sigma-delta est aussi applicable. En fait il suffit de remplacer les blocs numériques par leurs équivalents analogiques et vice-versa. La **figure 6** vous montre ce qu'est un CA/N sigma-delta à 8 bits. Ici le soustracteur et l'intégrateur sont remplacés par des composants analogiques, alors que le filtre passe-bas de sortie est remplacé par sa forme numérique.

Le principe est exactement le même : grâce à l'intégrateur, on est certain qu'en moyenne la tension d'entrée est nulle, c'est-à-dire que le rapport cyclique du signal numérique de sortie

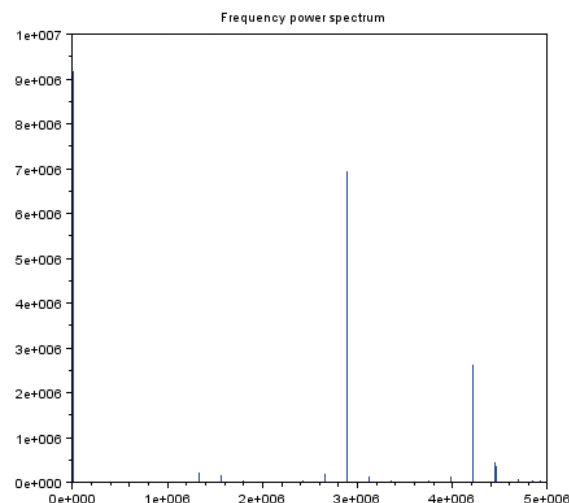
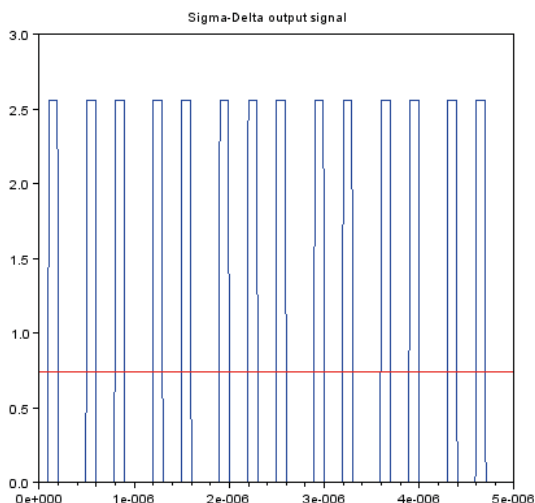


Figure 5. Le spectre en fréquence d'un signal de sortie d'un sigma-delta est largement plus haut en fréquence que celui d'un modèle MLI, d'où un filtre passe-bas très simplifié.



est strictement proportionnel à la tension d'entrée du convertisseur. Le filtre passe-bas numérique qui suit est chargé de calculer le rapport cyclique, à savoir la valeur de sortie souhaitée. Une autre manière d'exprimer ceci est de voir qu'un CA/N sigma-delta est composé en fait d'un CA/N à un seul bit, dont la sortie est un signal de rapport cyclique proportionnel à la valeur de la tension d'entrée, suivi d'un filtre passe-bas numérique. Toute l'astuce est que l'architecte sigma-delta permet encore une fois de repousser les signaux parasites vers les hautes fréquences et donc de simplifier le filtrage.

Évidemment tout cela n'est pas sans inconvénient : un CA/N ou CN/A sigma-delta nécessite une horloge avec une fréquence nettement supérieure à la fréquence de conversion, d'où une limitation de la vitesse de ces composants par rapport à leurs cousins plus traditionnels. Mais ceci est contrebalancé par une réalisation quasi intégralement numérique et donc à bas coût. De plus un sigma-delta est intrinsèquement très linéaire, contrairement à des convertisseurs qui utilisent des réseaux de résistance qu'il faut appairer. Enfin la résolution du convertisseur peut facilement être modifiée dynamiquement : il suffit de ralentir la cadence de sortie des échantillons et d'améliorer le filtre numérique pour gagner des bits !

C'est pour cela que l'on rencontre des sigma-delta partout, et en particulier dans les gadgets audio : construire un CA/N à 24 bits de grande linéarité est impossible sans cette approche...

### Pour aller plus loin

Bien sûr cette présentation est très simplifiée, les ingénieurs ont fait beaucoup de progrès depuis les débuts des sigma-delta dans les années 50... La première piste d'amélioration est dans la structure elle-même du convertisseur. L'approche que je vous ai présentée est en fait un sigma-delta d'ordre 1. Il est possible d'obtenir d'encore meilleures performances en *chaînant* plusieurs étages de soustraction et d'intégration. Ces techniques permettent de « remonter » encore plus les per-

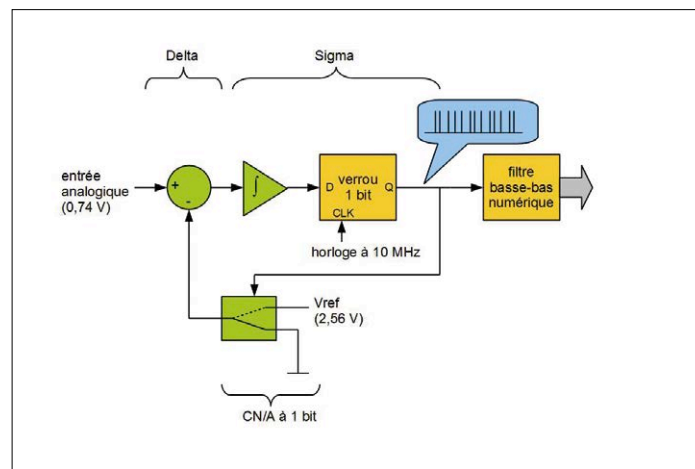


Figure 6. Un CA/N sigma-delta a une architecture très proche de celle d'un CN/A, en permutant analogique et numérique.

turbations vers les fréquences hautes, et donc d'améliorer les caractéristiques à filtre identique. Bien sûr ces approches sont aussi un peu plus complexes à mettre en œuvre.

Une autre piste d'amélioration consiste à remplacer le CA/N à 1 bit par un petit CA/N de quelques bits, toujours intégré dans une boucle sigma-delta. On y gagne beaucoup en vitesse et en dynamique, mais la linéarité de l'ensemble est beaucoup plus délicate à garantir d'où des coûts de composants en général en hausse notable...

Enfin la présence d'un filtre numérique en sortie permet d'ajouter des fonctions plus qu'intéressantes à coût quasi nul. Par exemple la quasi-totalité des CA/N sigma-delta destinés à la mesure de signaux faibles (jauges de contraintes, thermocouples, etc.) disposent d'un filtre numérique réjecteur 50/60 Hz, juste pour limiter l'influence des rayonnements du secteur. Facile, on est en numérique...

### Liens et références

- [1] *L'ABC des CA/N- DNL, INL, SNR, SINAD, ENOB, SFDR et consorts*, Elektor, 07-08/2016
- [2] *The Data Conversion Handbook*, Walt Kester (Analog Device), 03/2004 : [www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/data\\_conversion\\_handbook.html](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/data_conversion_handbook.html)
- [3] *An Introduction to Delta Sigma Converters*, Uwe Beis : [www.beis.de/Elektronik/DeltaSigma/DeltaSigma.html](http://www.beis.de/Elektronik/DeltaSigma/DeltaSigma.html)
- [4] *Wiki Delta-Sigma modulation* : [en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma_modulation)
- [5] *1-bit A/D and D/A Converters*, Antti-Veikko Rosti : [www.cs.tut.fi/sgn/arg/rosti/1-bit/](http://www.cs.tut.fi/sgn/arg/rosti/1-bit/)
- [6] *An MSP430F11x1 Sigma-Delta Type Millivolt Meter*, Mark Buccini, Texas Instruments application report SLAA104 – 11/2000 : [www.ti.com/lit/an/slaa104/slaa104.pdf](http://www.ti.com/lit/an/slaa104/slaa104.pdf)
- [7] *Make a Delta-Sigma Converter Using a Microcontroller's Analog Comparator Module*, Microchip application note AN700, Dieter Peter & all : [ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00700a.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00700a.pdf)

### Sources

- [8] *AD7760, 2.5 MSPS, 24-Bit, 100 dB Sigma-Delta ADC with On-Chip Buffer* : [www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7760/products/product.html](http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7760/products/product.html)
- [9] *MCP3425, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with I2C Interface and On-Board Reference* : [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22072b.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22072b.pdf)
- [10] *LM4670, Filterless High Efficiency 3W Switching Audio Amplifier* : [www.national.com/mpf/LM/LM4670.html#Overview](http://www.national.com/mpf/LM/LM4670.html#Overview)

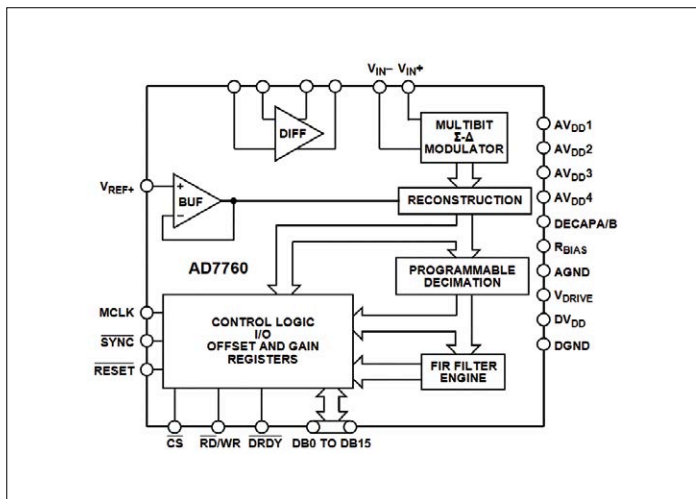


Figure 7. Un exemple de CA/N sigma-delta : l'AD7760 d'Analog Devices.

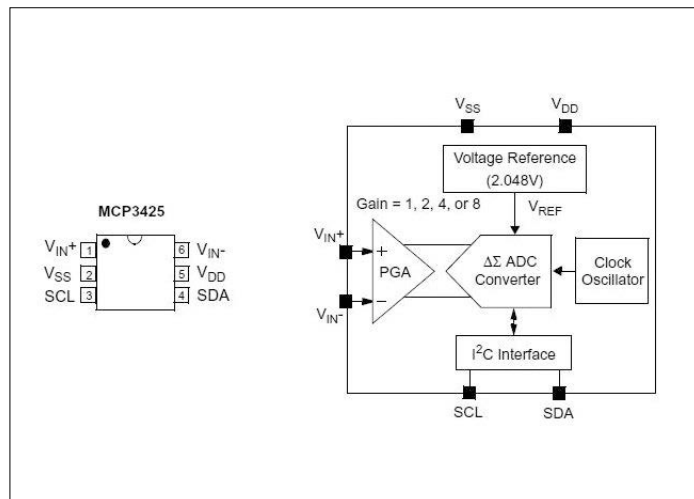


Figure 8. Un petit CA/N sigma-delta chez Microchip, le MCP3425.

## Silicium, chaud devant

Vous trouverez pléthore de convertisseurs sigma/delta chez vos fabricants favoris, et pas uniquement pour des modèles « lents ». Par exemple Analog Devices propose des composants comme l'AD7760 (**figure 7**), un CA/N à 24 bits, de cadence maximale 2,5 Méch/s [8]. Encore plus impressionnant, ce type de composant offre une dynamique réelle de 100 dB, voire 120 dB pour des applications audio ! Ceci est bien sûr lié aux filtres passe-bas numériques intégrés dans le composant, ici pas moins de trois filtres à réponse impulsionnelle finie (FIR), librement programmables.

Mais le sigma-delta n'est pas réservé aux applications haut de gamme. Par exemple chez Microchip, un composant comme le MCP3425 (**figure 8**) permet d'ajouter un CN/A sigma-delta à 16 bits avec des caractéristiques très honorables à tout microcontrôleur doté d'un bus I2C, et ce avec un minuscule boîtier SOT23-5 et une consommation de 145  $\mu$ A [9].

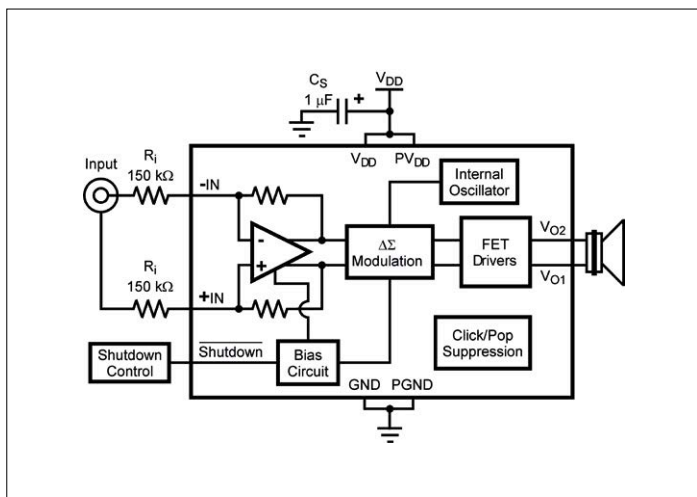


Figure 9. Les amplificateurs audio de classe D intègrent en règle générale un convertisseur sigma-delta, comme ici le LM4670 de Texas Instruments.

Une dernière application du sigma-delta ? Les amplificateurs audio de classe D bien sûr. De tels amplis sont en fait basés sur des CN/A à 1 bit de puissance, qui pilotent directement les haut-parleurs via un filtre passe-bas. Comment réaliser un CN/A à 1 bit qui permette de simplifier la conception du filtre ? Avec un sigma-delta bien sûr. Il y a des tas de solutions basées sur cette approche, mais à titre d'exemple regardez l'architecture interne du LM4670 de Texas Instruments (**figure 9**), vous y retrouverez notre sigma-delta [10].

## La version « c'est moi qui l'ai fait ! »

Enfin rien ne vous empêche de réaliser un petit CN/A ou CA/N sigma-delta vous-même, en utilisant astucieusement les ressources d'un microcontrôleur par exemple. Des notes d'application sont disponibles pour cela chez Texas Instruments autour de microcontrôleurs MSP430 (voir [6]). Microchip a également publié une petite note d'application (AN700) qui explique comment réaliser simplement un CA/N sigma-delta à 10 bits à l'aide d'un petit microcontrôleur PIC16C6XX qui n'a pas de CA/N interne (voir [7]).

Bon, à ce stade je vais vous laisser expérimenter tout cela par vous-même. Retenez quand même que le convertisseur sigma-delta rime avec architecture analogique simplifiée grâce une partie numérique un peu plus complexe, et qu'il privilégie la linéarité à la vitesse brute. N'hésitez pas à l'intégrer à vos prochains projets ! ◀

(160164)

Cet article a été publié dans la revue Circuit Cellar (n°261, avril 2012).



# Q&R

(presque) tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur...

## MQTT

MQTT est un protocole particulièrement bien adapté au monde de l'Internet des Objets. Découvrez pourquoi dans cette rubrique « Questions et Réponses ».

Jens Nickel

**Q** Qu'est-ce que MQTT ?

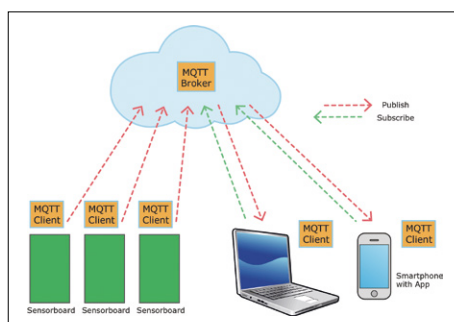
**R** MQTT (initialement l'abréviation de *Message Queuing Telemetry Transport*, ce terme n'est toutefois plus utilisé) est un protocole de messagerie pour l'internet. Il est basé sur le protocole TCP/IP et peut transporter lui-même des données de n'importe quel protocole d'application.

**Q** Pourquoi ce protocole convient-il particulièrement bien à l'Internet des Objets ?

**R** Tout d'abord, ce protocole est léger, la charge est moins importante que pour le HTTP. On s'en sort donc avec un bas débit de données. Pour les tâches typiques de l'IdO comme l'enregistrement de mesures atmosphériques ou la domotique, on a affaire à un grand nombre d'utilisateurs. Il y a des nœuds qui produisent les données et d'autres qui les consomment pour leur traitement et leur affichage. Ce protocole développé au tournant des années 2000 s'appuie sur un « courtier de messages » (*message broker*) qui redistribue les messages, plutôt que sur des connexions directes entre producteurs et consommateurs de données. Les producteurs de données (comme des nœuds de capteurs) et les consommateurs (comme des applis pour ordiphones) peuvent se connecter à ce courtier en tant que *clients*. Le courtier traite ensuite lui-même la liste d'adresses IP, le développeur/utilisateur n'a plus à noter une suite de chiffres cryptique.

**Q** Comment les données sont-elles transmises de la bonne source à la bonne cible ?

**R** Les producteurs de données comme les nœuds de capteurs informent le courtier que les données envoyées (par ex. des mesures) sont à publier (*publish*)



sous un thème particulier (*topic*). De tels thèmes sont des chaînes de caractères faciles à retenir, par exemple :

*Immeuble/Bureau/Température*

*Immeuble/Cuisine/Température*

Pour recevoir des données à l'aide d'une appli pour ordiphone, il faut s'abonner (*subscribe*) à ces thèmes. Il est aussi possible d'utiliser des caractères génériques pour obtenir des messages sur plusieurs thèmes :

*Immeuble/+ /Température*

**Q** Pourquoi MQTT convient-il particulièrement bien aux connexions dans des conditions difficiles ?

**R** Dans le monde de l'Internet des Objets, il faut savoir que les nœuds ne sont pas toujours en ligne, que ce soit pour économiser la batterie ou en raison d'une connexion radio peu fiable. MQTT s'assure que les données parviennent à leur destinataire (par sécurité également par TCP). Il y a trois qualités de service différentes (0 = égal, 1 = arrive au moins une fois, 2 = arrive exactement une fois).

La « dernière volonté » (*last will*) est une fonction très utile. Tous les clients peuvent déposer auprès du courtier un message par thème qui sera envoyé, en cas d'interruption de la connexion, à tous ceux qui se sont abonnés au sujet. Le courtier peut aussi enregistrer un message conservé (*retained message*) par

thème ; celui-ci parviendra automatiquement à tous les nouveaux abonnés. Cela prend tout son sens pour des capteurs qui ne transmettent des données que de temps en temps : la dernière mesure reste ainsi à disposition de tous.

**Q** Peut-on utiliser ce protocole librement ?

**R** Oui, l'ensemble du protocole fait partie de la communauté *open source*, il y a également de nombreuses implémentations à code source ouvert pour les clients et le courtier, dans différents langages de programmation. Les premières pages à consulter pour les développeurs sont les pages officielles de MQTT [1] et celles du projet Eclipse Paho [2]. Dans ma série d'articles en ligne « Mon voyage dans le nuage » [3], vous trouverez également des informations pour les développeurs ainsi qu'un témoignage d'utilisateur. Enfin, différents courtiers MQTT sont disponibles librement sur l'internet à des fins de test [4][5].

(160085 – version française : Thierry Destinobles)

### Liens

- [1] <http://mqtt.org>
- [2] [www.eclipse.org/paho](http://www.eclipse.org/paho)
- [3] [www.elektormagazine.fr/news/mon-voyage-dans-le-nuage-4-un-client-mqtt](http://www.elektormagazine.fr/news/mon-voyage-dans-le-nuage-4-un-client-mqtt)
- [4] [test.mosquitto.org](http://test.mosquitto.org) (port 1883)
- [5] [broker.hivemq.com](http://broker.hivemq.com) (port 1883)

## Dernier rappel : **electronica** Start-up Award powered by Elektor

Nous sommes à la recherche des idées, des projets ainsi que des nouveaux entrepreneurs les plus prometteurs, et ce dans le monde entier. Pour la première fois, le concours « **electronica fast forward Start-up Award powered by Elektor** » tisse des liens entre le marché mondial de l'électronique, les technologies novatrices et une présence médiatique internationale ; c'est la garantie que votre idée révolutionnaire marquera les esprits des experts.

Parmi les finalistes présents sur le salon, un jury international choisira trois gagnants. Soyez un des trois lauréats du prix « **electronica fast forward Start-up Award** » qui sera remis le 11 novembre 2016 ! Les prix prendront la forme de services internationaux en matière de relations publiques, consulting et marketing, pour une valeur totale de 150 000 € ainsi que d'un accès au réseau international d'Elektor, qui compte plus de 250 000 membres.



**electronica**

**FAST FORWARD START-UP AWARD**

LES IDÉES NOVATRICES, VOUS LES AVEZ

powered by



VOICI NOS CONTACTS PROFESSIONNELS !

Les jeunes entreprises et les concepteurs créatifs du monde entier sont appelés à soumettre leur idée sur notre site web [www.elektor.com/electronica-startup-award](http://www.elektor.com/electronica-startup-award), avant le **04 octobre 2016**.

Un jury composé de rédacteurs du magazine Elektor et d'ingénieurs du laboratoire d'Elektor examinera et évaluera les envois. Les meilleurs des idées, projets et jeunes entreprises devront participer à la finale qui aura lieu au salon **electronica 2016** – le salon international des composants, systèmes et applications électroniques qui a lieu à Munich (Allemagne).

Si vous concourez dans l'une des catégories « Idée », « Prototype » et « Start-up », vous aurez une occasion unique d'être membre de la plateforme « **electronica fast forward Start-up powered by Elektor** » et de nouer des contacts dans le monde entier.

Sur le salon **electronica**, vous bénéficierez de conseils personnalisés et de mises en relation, et vous participerez à de nombreux événements. Vous disposerez d'un stand pour présenter votre idée aux visiteurs de tous horizons.

Le vainqueur toutes catégories confondues sera récompensé par une campagne de marketing transversale et internationale, d'une valeur de 75 000 €, à laquelle s'ajoute un stand sur le salon **electronica 2018**. Sur la deuxième marche du podium, on trouve une campagne médiatique (Elektor) d'une valeur de 50 000 € et enfin sur la dernière marche une présence médiatique (Elektor) d'une valeur de 25 000 €. Profitez du salon **electronica** pour nous soumettre vos projets, nous pourrions vous conseiller pour votre plan de développement et vous permettre de présenter votre idée à des partenaires stratégiques internationaux ainsi qu'à de futurs clients.

Avons-nous éveillé votre curiosité ? Pour trouver des informations sur les conditions de participation et le dossier de candidature, rendez-vous sur

[www.elektormagazine.fr/contest/global-start-up-award-2016](http://www.elektormagazine.fr/contest/global-start-up-award-2016).

## Buzzers étanches

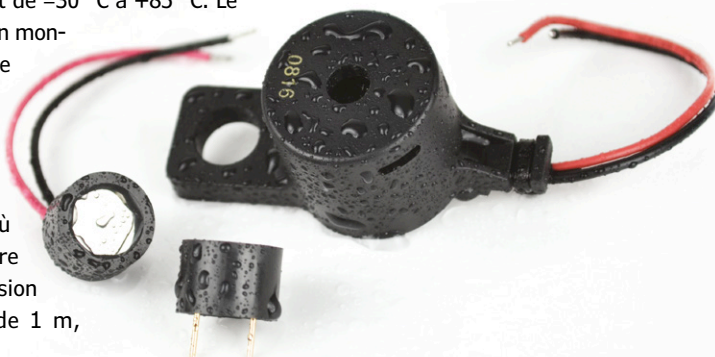
La société CUI a ajouté à sa gamme de buzzers trois nouveaux modèles étanches. Ils présentent un indice de protection (IP) jusqu'à IP68 et produisent des signaux acoustiques de 95 dB à 30 cm. Ces caractéristiques rendent leur utilisation idéale dans les environnements industriels ou extérieurs pour lesquels la présence de polluants ou d'humidité est contraignante.

Le CPT-1495C-300 et le CPT-1495CI-300 sont des transducteurs piézoélectriques logés dans un boîtier de 14 mm de diamètre et 10 mm de hauteur. Leurs tension et fréquence nomi-

nales sont de 30 V et 4,25 kHz. Tous deux sont pilotés par un signal externe, ont un indice IP67, produisent des signaux de 84 dB à 10 cm, et fonctionnent de -30 °C à +85 °C. Le CPT-1495C-300 offre un montage par fils tandis que le CPT-1495CI-300 peut être soudé à la vague pour les fabrications en série. Pour les applications où la conception doit être soumise à une immersion continue sous plus de 1 m,

le CPT-2521C-500 offre un indice IP68 et une plage de température de -30 °C à +85 °C.

[www.cui.com](http://www.cui.com) (160144-9)





# ForumLED Europe 2016

08-09.12.2016 / Lyon

## ForumLED Europe 2016 : congrès et exposition entièrement dédiés à la technologie LED

En regroupant, depuis 7 ans, l'ensemble de l'écosystème de l'éclairage autour de la technologie LED, ForumLED est devenu le plus important événement sur le sujet en Europe.

ForumLED Europe associe un congrès de niveau international (250 participants, 40 nationalités) et une exposition (120 exposants, 3.000 visiteurs).

Pour son édition 2016, ForumLED Europe se déroulera à Lyon, centre névralgique de l'éclairage en France, les 8 et 9 décembre 2016 au Centre de Congrès de Lyon.

En 2016, ForumLED Europe affirme son positionnement sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'éclairage à LED, du composant électronique aux systèmes, et continue son ouverture à l'ensemble des éléments qui constituent les systèmes d'éclairage à LED « intelligents ».

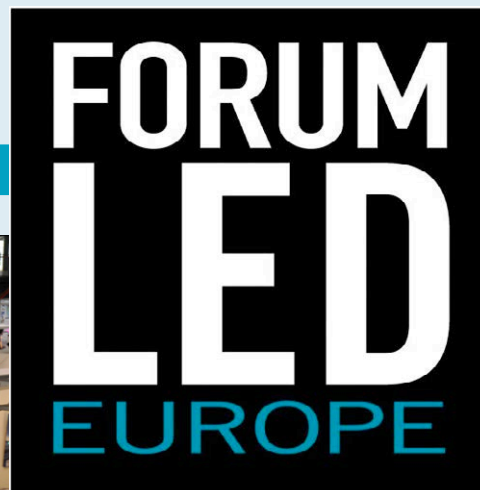
Grâce à ses plus de 120 exposants, ForumLED sera pour les intégrateurs de technologies LED et les utilisateurs d'éclairage à LED le lieu de rencontre incontournable.

ForumLED Europe, c'est également deux jours de congrès animés par les meilleurs spécialistes mondiaux qui traiteront de toutes les thématiques liées au marché de la LED : depuis les composants jusqu'aux installations d'éclairage intelligentes.

### Espace Startup

Conçu pour les entreprises de moins de cinq ans, l'espace *Startup* qui propose des produits/services novateurs liés à l'éclairage ou à la technologie LED, leur permettra de :

- présenter leurs innovations
- valoriser leurs produits et/ou leurs services



Les jeunes pousses présentes auront l'opportunité de se présenter lors du congrès ForumLED et ainsi de faire connaître et valoriser leur activité auprès d'un public composé de professionnels du secteur et d'investisseurs. Cette session sera donc un levier de visibilité pour les jeunes entreprises et une occasion pour les investisseurs de dénicher de nouveaux concepts novateurs et prometteurs.

Retrouvez toutes les informations sur le site : [www.forumled.com](http://www.forumled.com)  
Contact/informations : [info@forumled.com](mailto:info@forumled.com)

N.B. : votre magazine est partenaire presse de cet événement. Elektor sera disponible gratuitement sur ce salon.



# The Big Red raison à la

## Outlook

*anticiper pour être prêt*

## Start-ups 2016

*l'aventure sous toutes ses facettes*

## Financing & Funding

*l'assise de votre entreprise*

## Technologies

*tout ce que vous devez savoir*

## Company Pages

*être vu, être connu, être reconnu*

## Elektor Talents

*trouver différemment de nouveaux collègues*

## Back to the Future

*un œil dans le rétro*

Le *Big Red* parle de **passion**. De la **passion** d'entreprendre et d'améliorer les choses. De la **passion** insufflée dans un produit ou un service. De la **passion** des entrepreneurs qui comprennent que pour être unique il faut innover. De la **passion** qui a aussi pour guides un plan de financement solide et une stratégie de communication réfléchie. De la **passion** que vous nous communiquerez lorsque vous nous parlerez, à nous rédacteurs d'Elektor, de votre entreprise.

**Qui n'aimerait pas être aussi passionné ?**





**donner  
passion**

**RT UP**



**NOUVEAU**

*The Big Red* rassemble tous ceux qui veulent vivre une électronique qui innove et entreprend.

INSCRIVEZ-VOUS MAINTENANT ! [www.elektor.com/the-big-red-2017](http://www.elektor.com/the-big-red-2017)



N'importe quel visiteur du labo d'Elektor en ligne (Elektor.Labs) peut non seulement lire les descriptions des projets, mais également y participer, que ce soit pour les commenter ou en télécharger les fichiers ; le visiteur peut même créer un nouveau projet. Il lui suffit de se connecter avec son ID Elektor (gratuit). Ce compte donne accès au labo, mais pas aux archives du magazine et autres services réservés aux membres Green et Gold.

L'ID Elektor (gratuit), une combinaison unique de courriel et de mot de passe, établit le lien entre votre compte *Elektor Labs* et vos autres comptes Elektor. Une fois identifié, vous avez accès à tous les services liés à votre ID. Cliquez sur l'onglet **Mes projets LABS** pour afficher la liste des projets que vous avez créés et/ou que vous suivez. De là vous pouvez ouvrir un projet, que ce soit pour le voir ou le modifier.

Chaque mise à jour doit maintenant être accompagnée d'un commentaire pour que tous les participants à un projet soient au courant. La page principale d'un projet (**Description**) ne peut être modifiée qu'en mode brouillon et n'est plus modifiable une





fois le projet publié. Lorsque le propriétaire d'un projet ajoute des commentaires, ceux-ci sont placés par ordre chronologique, directement sous la description du projet et au-dessus des commentaires des visiteurs et suiveurs.

## Création d'un nouveau projet

... c'est très simple. Pour créer un projet, cliquez sur le bouton rouge **Créer un projet** (en haut de la page d'accueil d'*Elektor.Labs*). Attention : votre profil de membre doit être complet (avec pictogramme et pseudo). Entrez ensuite un titre (explicite !), un commentaire et une description du projet. Le commentaire est votre « bande-annonce », celle qui apparaîtra sur les pages montrant une vue d'ensemble des projets, donc soyez clair et concis (pas plus de 150 caractères). L'ajout d'une photo du projet est fortement recommandé, mais si vous n'en avez pas vous pourrez l'insérer plus tard. Le bouton **Pièces jointes** permet de téléverser des fichiers, photos, codes, etc. Vous pouvez leur attribuer un type de façon à ce qu'ils s'affichent dans certaines zones de la page.

## Brouillons

Les projets en mode *brouillon* ne sont pas visibles du reste du monde et peuvent être modifiés indéfiniment ou supprimés. Le mode *brouillon* est utile si vous souhaitez présenter un projet terminé en un seul « post ». Relisez et polissez votre description jusqu'à en être satisfait, puis publiez-la. Attention, il n'y a pas de retour en arrière possible ; un projet publié est immédiatement visible du monde entier.

## À la recherche du projet perdu

La richesse d'*Elektor.Labs* est formidable, mais le site perdrait tout son intérêt sans une bonne boussole pour s'y diriger. C'est pourquoi nous avons ajouté plusieurs outils et filtres de recherche. Des mots-clés bien choisis et plusieurs options de tri vous permettront de trouver rapidement ce que vous cherchez. ◀

(150818)

# [www.elektormagazine.fr/labs](http://www.elektormagazine.fr/labs)

**ELEKTOR-ID**

- DÉTAILS DE MON COMPTE
- MES COORDONNÉES
- MES ABONNEMENTS
- MES PROJETS LABS
- MES PRÉFÉRENCES NEWSLETTER
- DÉCONNEXION

**MES PROJETS LABS**

Nom du projet	Etat	Rôle	Commentaires	Suiveurs	Actions
Elektor mbed interface...	En cours	Chef de projet	0	2	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
Elektorino Uno R4 [150790]	En cours	Chef de projet	0	13	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
Analog circuit design with...	Terminé	Chef de projet	0	2	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
Webinar 22/10: IoT Security ...	Terminé	Chef de projet	0	1	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
Elektor Intel Edison Challenge	Terminé	Chef de projet	0	2	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
Guitar BoB [150382]	En cours	Chef de projet	0	2	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
CoCo-ri-Co! Guitar Tuner...	En cours	Chef de projet	0	1	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
Network Connected Signal...	Terminé	Chef de projet	0	19	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>
MI X90393 experiments	Terminé	Chef de projet	5	2	<a href="#">Ouvrir</a>   <a href="#">Modifier</a>

bienvenue dans la section **CRÉER**

Clemens Valens, labo d'Elektor



## James Watt (1736 – 1819)

James Watt est né le 19 janvier 1736 à Greenock, une petite ville écossaise située au nord-ouest de Glasgow sur la rive sud du fleuve Clyde. La famille Watt s'est agrandie une première fois en 1739 avec la naissance de John, une seconde fois l'année suivante avec l'arrivée de la petite Jean. James Henry, le père, travaillait comme charpentier de marine. Agnès, la mère, mit à profit sa bonne éducation pour se charger de celle de ses enfants. Habile de ses mains, James manifesta très tôt un don pour la mécanique. À 18 ans, ces aptitudes lui permirent de partir à Londres étudier la construction d'instruments. James revint à Glasgow un an plus tard avec la ferme intention de monter sa propre affaire, mais son ambition fut contrariée par un détail : dans son empressement, il avait en effet oublié de terminer les sept années d'apprentissage nécessaires. Il fut néanmoins embauché par l'université de Glasgow pour s'occuper de l'entretien et de la réparation d'instruments astronomiques.

On attribue souvent à James Watt la paternité de la machine à vapeur, mais c'est oublier que ce type de machine existait déjà depuis l'invention, vers 1712, de la « machine à foyer » de Thomas Newcomen. Ce n'est qu'une cinquantaine d'années plus tard que James Watt s'intéressa aux machines à vapeur, même s'il abandonna rapidement ses premières expériences face à la difficulté de créer une machine opérationnelle. Il s'y intéressa à nouveau quelques années plus tard lorsqu'on lui demanda de réparer la machine à vapeur de l'université de Glasgow. Cette machine fonctionnait d'autant plus mal qu'elle était petite et souffrait donc d'importantes pertes de chaleur. Watt réalisa qu'il pouvait améliorer son rendement en créant une chambre de condensation séparée du piston. La machine à vapeur moderne était née, Watt la fit breveter.

Aussi modernes fussent-elles, les machines à vapeur restaient difficiles à construire et Watt avait donc besoin de fonds. L'argent arriva lorsque Matthew Boulton, homme d'affaires et manufacturier, acquit des droits sur les brevets de Watt. Les deux hommes s'associèrent et prospérèrent grâce à la machine à vapeur améliorée.

L'histoire raconte que Watt aurait tout fait pour empêcher l'exploitation de son invention sans que ne lui soit d'abord versée une contrepartie financière, et aussi tout fait pour que l'utilisation de sa machine soit incontournable. Il semble également avoir choisi de déposer de vagues et génériques brevets dans le seul but de bloquer les inventions qui auraient pu freiner sa prospérité. Selon certains, cette attitude protectionniste aurait entravé la marche du progrès jusqu'à l'expiration desdits brevets en 1800. Bien que Watt n'ait apporté aucune contribution à l'électricité, les électriciens célèbrent chaque jour le grand homme depuis que le cheval-vapeur, autre création de Watt, a été remplacé par le watt, l'unité SI de puissance donnée par la loi  $P = UI$ . ◀

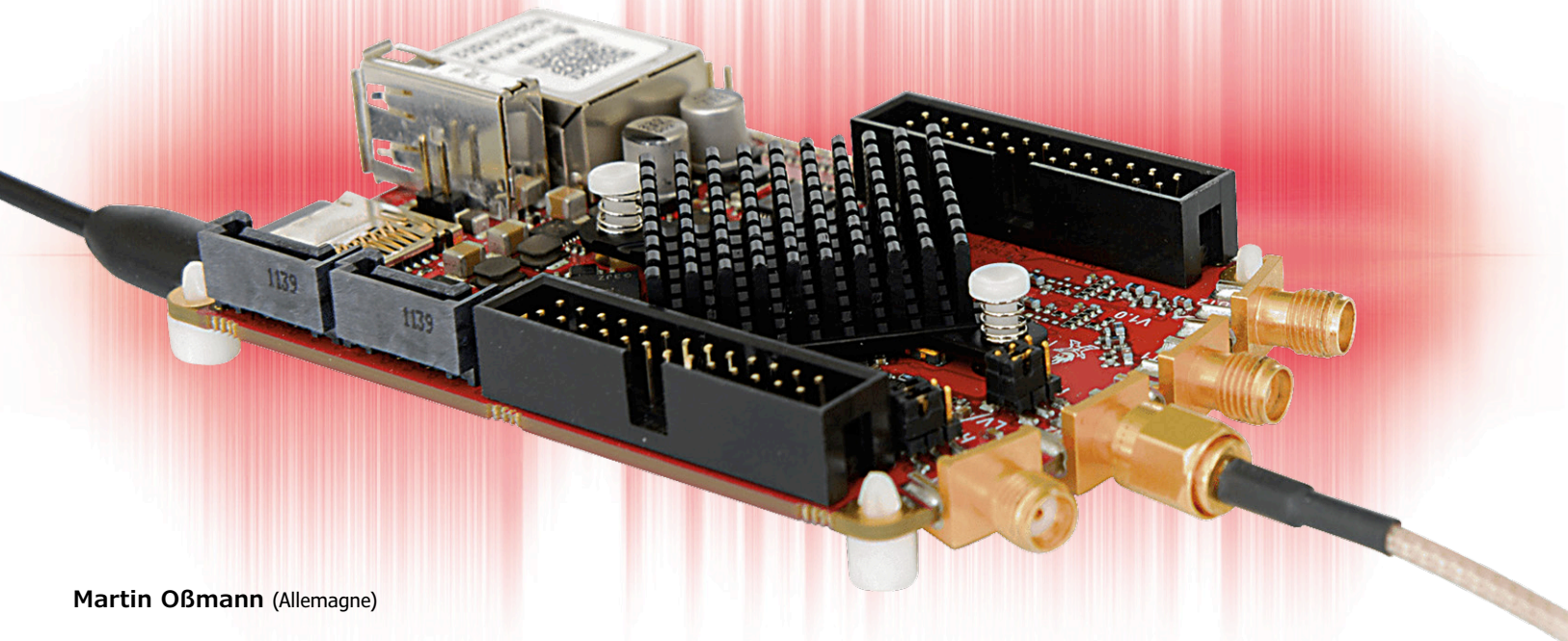


(160135 – version française : Hervé Moreau)



# filtrer avec Red Pitaya

## 2<sup>e</sup> partie : filtres IIR



Martin Oßmann (Allemagne)

Dans la 1<sup>re</sup> partie, nous avons fait connaissance avec les filtres FIR qui deviennent encombrants quand on veut les rendre sélectifs. Il est souvent plus facile d'obtenir des flancs raides avec les filtres IIR, dits aussi récurrents. Nous présentons ici leur conception et leur implémentation sur FPGA.

Les filtres IIR, à réponse impulsionnelle infinie, sont construits sur le modèle de la **figure 1**. L'échelle de gauche constitue un filtre FIR, il est suivi d'un filtre à rétroaction, l'échelle de droite. L'inconvénient de ces filtres réside dans le manque de linéarité de la caractéristique de phase (temps de propagation de groupe constant). On ne les réalise pas souvent sous cette forme, mais plutôt au moyen d'une succession de filtres IIR d'ordre 2, appelés *biquad*.

### Biquad

La **figure 2** montre le schéma d'un biquad, raccourci de biquadratique pour un filtre linéaire qui opère le rapport entre deux

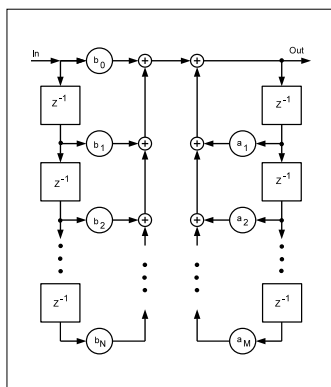


Figure 1. Filtre IIR.

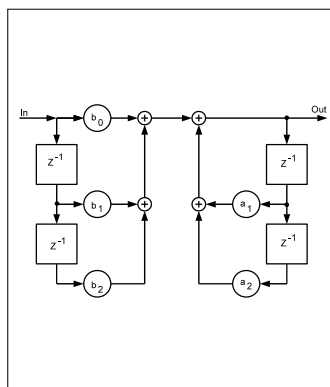


Figure 2. Biquad IIR.

fonctions quadratiques (du second degré). En analogique, un biquad correspond exactement à une structure oscillante comme un circuit résonant ou un circuit d'amplificateur opérationnel à deux réservoirs d'énergie ou quelque chose de similaire. La réponse impulsionnelle, c'est-à-dire la réponse à une suite telle que ...0, 0, 0, 1, 0, 0, 0... d'un filtre biquad est représentée à la **figure 3**. Elle fait penser à l'oscillation amortie d'un circuit résonant. On trouve aussi des filtres biquad en analogique, on les utilise pour synthétiser des filtres compliqués.

Pour réaliser un biquad répondant à la figure 2 dans un FPGA, on se sert de cinq multiplicateurs, quatre accumulateurs et quatre registres (le bloc mémoire qui retarde le signal est noté  $z^{-1}$ ), chaque fois avec le nombre de bits nécessaires pour la précision souhaitée. Dans mon projet, la longueur de mot pour le signal est de 25 bits, tandis que les coefficients des filtres s'inscrivent dans 18 bits. On exploite ainsi tous les multiplicateurs du FPGA de Red Pitaya. Les programmes de conception de filtres IIR fournissent souvent en sortie ces coefficients biquad avec exactitude.

### De la vitesse comme par magie

La vitesse maximale possible (le taux d'échantillonnage) qu'un filtre peut atteindre dépend rigoureusement de la longueur du chemin critique. C'est le trajet du signal entre deux registres cadencés par l'horloge d'échantillonnage. Dans le filtre sur le modèle de la figure 2, le chemin critique passe par un multi-



plicateur et trois accumulateurs. N'y aurait-il pas un moyen de faire mieux ?

Le filtre de la **figure 4** se comporte exactement comme celui de la figure 2, la démonstration mathématique en est aisée. On a pourtant un bloc à retard en plus dans la ligne horizontale, mais qui ne change rien à la courbe de fréquence. Avec cette « forme 1 directe transposée », comme on l'appelle, le chemin critique passe par un multiplicateur et deux accumulateurs au lieu de trois, il est donc plus court. C'est sous cette forme-là que nous le réaliserons.

Dans cette version, le biquad utilise cinq multiplicateurs, quatre accumulateurs et cinq registres intermédiaires. Le code Verilog, avec le registre de sortie *ykReg* en plus, est dans le **listage 1**.

### Programmation et débogage

Aussi succinct et facile que ce morceau de code puisse paraître, il a coûté pas mal d'efforts avant de fonctionner efficacement avec les blocs DSP48. Pour tester le code, plusieurs techniques sont envisageables. Je l'ai essayé entre autres avec le simulateur Iverilog [1]. Il utilise pour cela un filtre dont la première valeur de sortie est un nombre entier. Les paramètres et les résultats sont présentés dans le **listage 2**.

D'un autre côté, j'ai regardé dans l'environnement de dévelop-

pement de FPGA Vivado de Xilinx [2] la conception synthétisée et implémentée pour différentes variantes afin de m'assurer que Vivado pouvait vraiment trouver une bonne mise en œuvre. J'ai aussi testé en temps réel des parties de circuit une à une avec les convertisseurs A/N et N/A de Red Pitaya en entrée et sortie. Des programmes en C ont permis de définir et de vérifier les valeurs de débogage afin d'évaluer la logique FPGA dans différentes conditions contrôlées.

Le schéma de l'implémentation en Vivado est à la **figure 5**. Par souci de simplification, elle a été réalisée avec une largeur de 11 bits. Les cinq grands rectangles en jaune sont les blocs DSP48E1. Cinq multiplicateurs y sont réalisés. Les trois colonnes de onze petits rectangles jaunes figurent les registres de 11 bits de large, elles sont composées en tout de  $3 \times 11 = 33$  bascules. Dans les quatre groupes de fonctions quadratiques, il y a chaque fois un accumulateur à 11 bits fait de 11 tables de correspondance (LUT) et trois blocs de chaîne de report (*carry*). L'ensemble réalise les quatre accumulateurs sur 11 bits dans le FPGA. On s'aperçoit ainsi qu'il ne faut plus que trois registres constitués de bascules, alors qu'au départ, on avait besoin de cinq registres plus un registre de sortie. Cela tient au fait que trois des six registres ont été transférés dans les blocs DSP48.

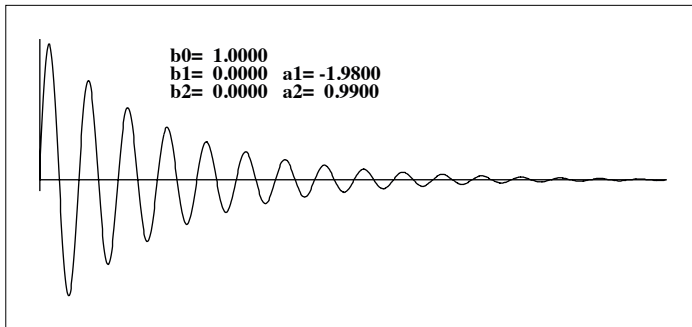


Figure 3. Réponse impulsionnelle d'un biquad.

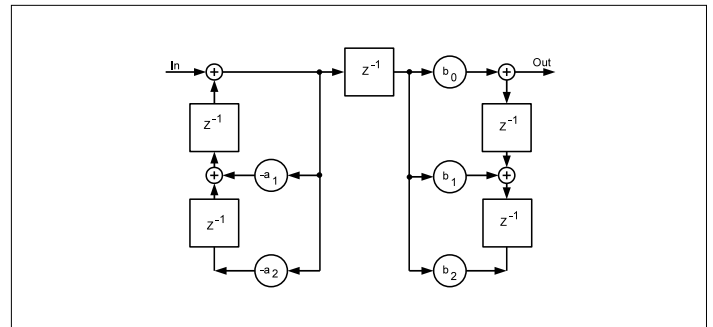


Figure 4. Autre réalisation d'un biquad.

#### Listage 1. Code du biquad en Verilog

```
assign vk = IIRinput_i+s1 ;
assign productA2 = NEGa2_i*vk ;
assign productA1 = NEGa1_i*vk ;
assign productB0 = b0_i*vkReg ;
assign productB1 = b1_i*vkReg ;
assign productB2 = b2_i*vkReg ;
assign IIRoutput_o = ykReg ;
always @(posedge IIRclk_i ) begin
    if ( sampleStrobe ) begin
        s1 <= s2+ productA1[25-1+16:0+16] ;
        s2 <= productA2[25-1+16:0+16] ;
        v1 <= v2 + productB1[25-1+16:0+16] ;
        v2 <= productB2[25-1+16:0+16] ;
        vkReg <= vk ;
        ykReg <= v1 + productB0[25-1+16:0+16] ;
    end
end
```

#### Listage 2. Essai de fonctionnement du biquad

Paramètres :

b0= 1.0    b1= 2.00    b2=-1.00    a1=-1.00    a2= 0,50

Essai :

K	entrée	sortie
0	0.0	0.0
1	512.0	512.0
2	0.0	1536.0
3	0.0	768.0
4	0.0	0.0
5	0.0	-384.0
6	0.0	-384.0
7	0.0	-192.0
8	0.0	0.0
9	0.0	96.0
10	0.0	96.0
11	0.0	48.0

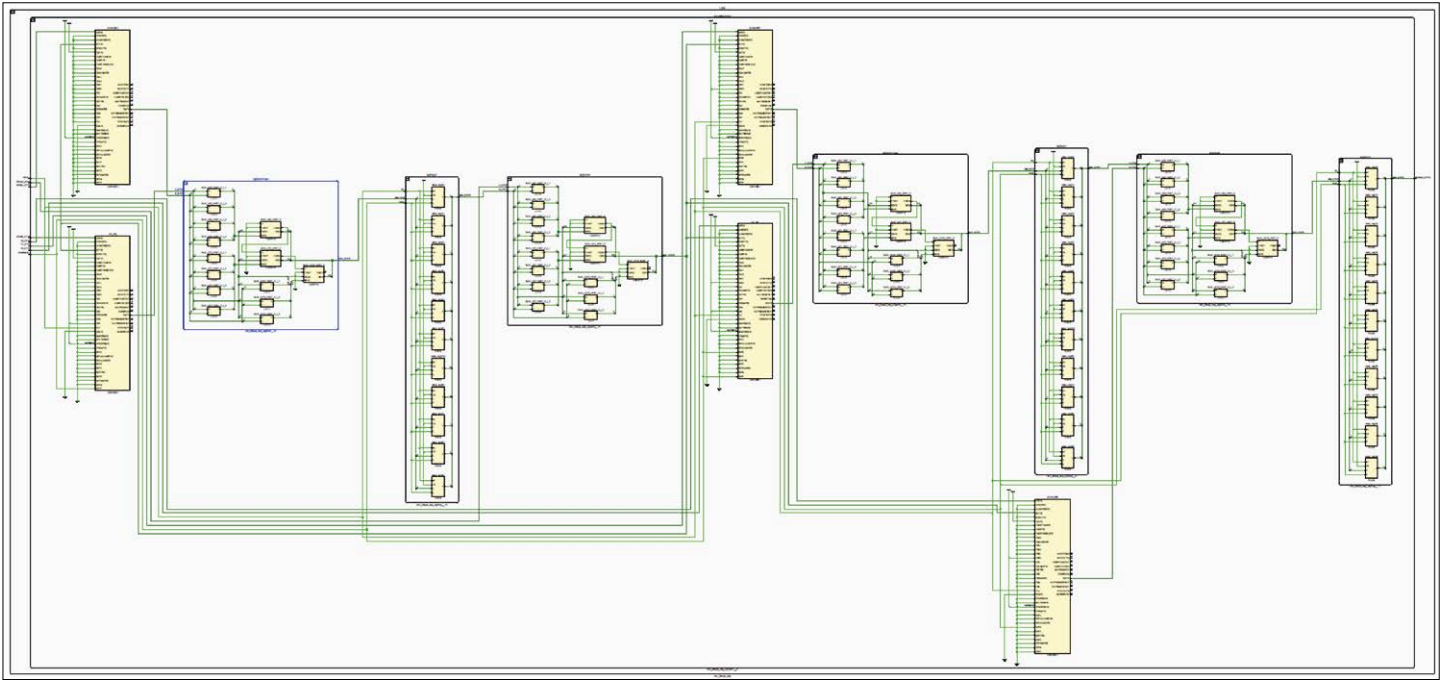


Figure 5. Implémentation d'un biquad en Vivado.

Réaliser ce filtre avec un taux d'échantillonnage de 125 MHz conduit Vivado à détecter une violation temporelle de 0,5 ns. Je l'ai malgré tout essayé et en pratique, il fonctionne impeccablement (un léger excès de vitesse). On peut faire tourner jusqu'à six biquad dans ce programme de filtre sur FPGA. Il est évidemment possible d'en mettre encore plus, vu qu'il y a quand même 80 blocs DSP48 disponibles.

### Conception du filtre

Jusqu'à présent, nous avons supposé connaître les coefficients du biquad  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ . Pour les calculer, il faut un programme de conception de filtre. Un tel programme simple [3] est implémenté en C sur le Red Pitaya qui peut ainsi réaliser en

toute autonomie un filtre variable. On peut bien sûr les obtenir aussi avec d'autres programmes et les transférer dans Red Pitaya.

### Passe-bas

Commençons par le passe-bas, puisqu'il est l'archétype des autres filtres (passe-haut, passe-bande, etc.). Le filtre le plus simple que le programme peut calculer, c'est un passe-bas Butterworth. Il est entièrement déterminé par la fréquence de coupure  $f_g$  et l'ordre  $p$  du filtre. Les Butterworth se distinguent par une caractéristique assez « plate ». La raideur du flanc augmente avec l'ordre du filtre. La **figure 6** montre des caractéristiques pour les ordres  $p = 2, 4, 6, 8, 10, 12$ . Le nombre  $N$  est nécessairement pour le biquad  $N = p/2$ . Il lui faut toujours des ordres pairs.

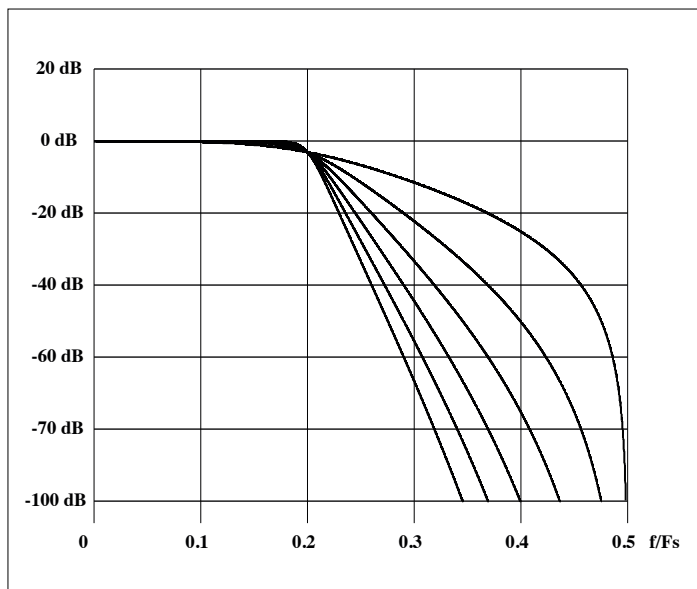


Figure 6. Caractéristique de fréquence d'un filtre de Butterworth.

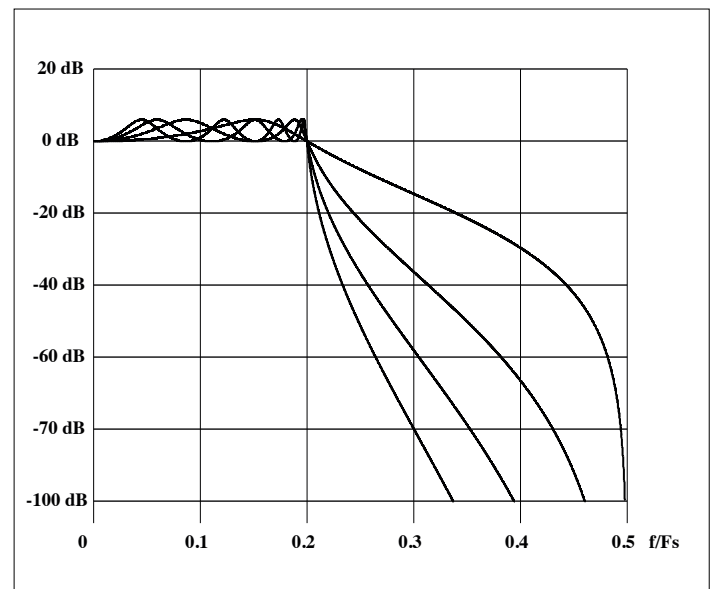


Figure 7. Caractéristique de fréquence d'un filtre de Chebyshev.

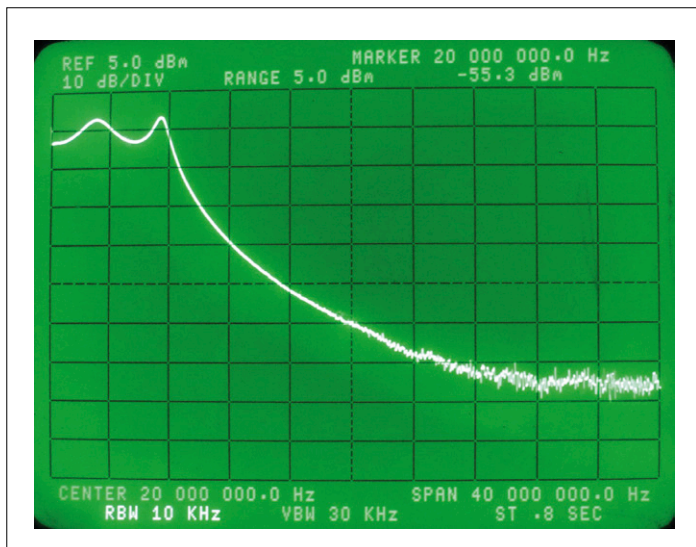


Figure 8. Courbe de fréquence mesurée.

On peut aussi implémenter d'autres types de filtres, comme le Chebyshev. Il présente une caractéristique qui, près de la fréquence de coupure, atténue plus nettement, ce qui cause une ondulation (*ripple*) qu'il faut accepter dans la bande passante. On le spécifie par la fréquence de coupure, l'ordre et l'ondulation.

La **figure 7** reprend les caractéristiques de fréquence de quelques filtres de Chebyshev de différents ordres ( $p = 2, 4, 6, 8$ ). On y voit bien la brusque cassure qui fait que ces filtres s'utilisent quand on veut une plus grande sélectivité.

On voit à la **figure 8** la courbe mesurée pour un filtre passe-bas Chebyshev dans la gamme de 0 à 40 MHz. Vers les hautes fréquences, le signal se noie dans le bruit de l'analyseur de spectre utilisé, à cause de la forte atténuation.

Notre programme de conception traite aussi les filtres elliptiques. Avec eux, on peut spécifier l'ondulation dans la bande passante, la largeur de transition entre bandes passante et atténuée ainsi que le minimum d'atténuation dans la bande atténuée. Le filtre elliptique présente aussi une ondulation dans la bande atténuée. L'atténuation dans la bande rejetée n'est pas monotone, elle fluctue toujours entre l'infini et une valeur minimale.

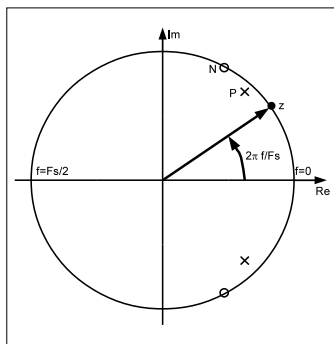


Figure 9. Diagramme des zéros et des pôles.

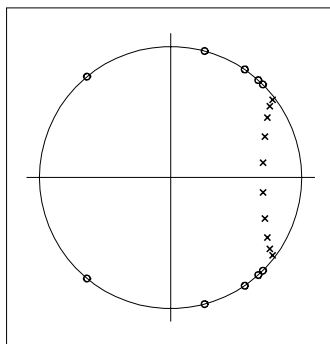


Figure 10. Pôles et zéros d'un passe-bas elliptique.

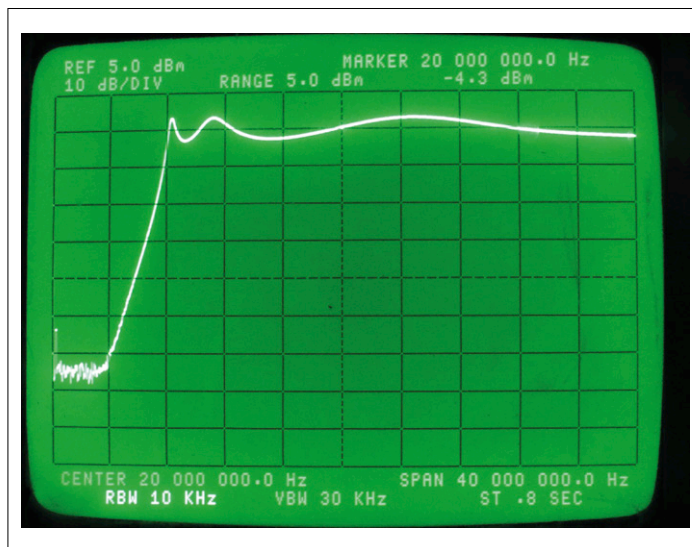


Figure 12. Mesure du passe-haut.

### Un peu de théorie : pôles et zéros

À partir des filtres passe-bas, le programme de conception produit aussi des passe-haut, des passe-bande et des réjecteurs (coupe-bande). Pour comprendre de quoi il retourne, un brin de théorie fera du bien. À chaque filtre correspond une fonction de transfert (complexe)  $H(z)$ . Comme il s'agit de fonctions rationnelles, elles possèdent des zéros (point  $z0$ , pour lequel  $H(z0) = 0$ ) et des pôles (point  $zp$  pour lequel  $H(zp) = \infty$ ). Et pour chaque filtre, il y a un diagramme de pôles et de zéros correspondant, dans lequel chaque zéro est représenté par un cercle et chaque pôle par une croix. Ce diagramme permet de comprendre qualitativement la caractéristique de fréquence. On démarre à la **figure 9** sur la fréquence  $f = 0$  Hz et on l'augmente lentement jusqu'à la moitié du taux d'échantillonnage  $f = Fs/2$ . Considérons un point  $z$ , qui se trouve sur le cercle unitaire  $z = 1$  commençant près de 1 et se déplaçant jusqu'à  $z = -1$ , l'angle est toujours égal à  $\phi = 2\pi f/Fs$ . Si l'on s'approche d'un point nul  $N$ , la caractéristique de fréquence  $H(z)$  s'amenuise. Quand on arrive exactement sur le point zéro (comme il est sur le cercle unitaire),  $H(z)$  s'annule aussi, l'affaiblissement est infini. Quand on s'approche d'un pôle,  $H(z)$  grandit. Pour qu'un filtre soit stable, tous les pôles doivent se situer à l'intérieur du cercle unitaire. Si les coefficients du filtre doivent être réels, ce qui est normalement le cas, les pôles et

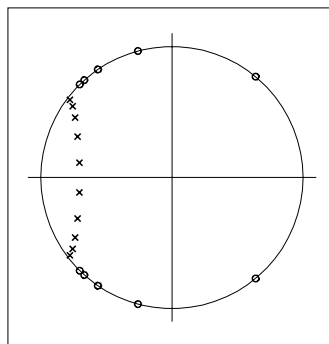


Figure 11. Pôles et zéros d'un passe-haut.

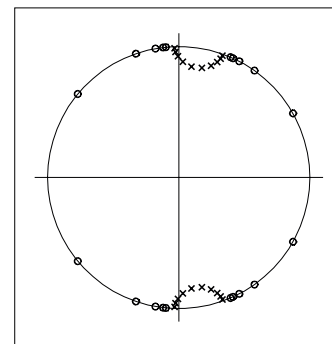


Figure 13. Pôles et zéros d'un passe-bande.



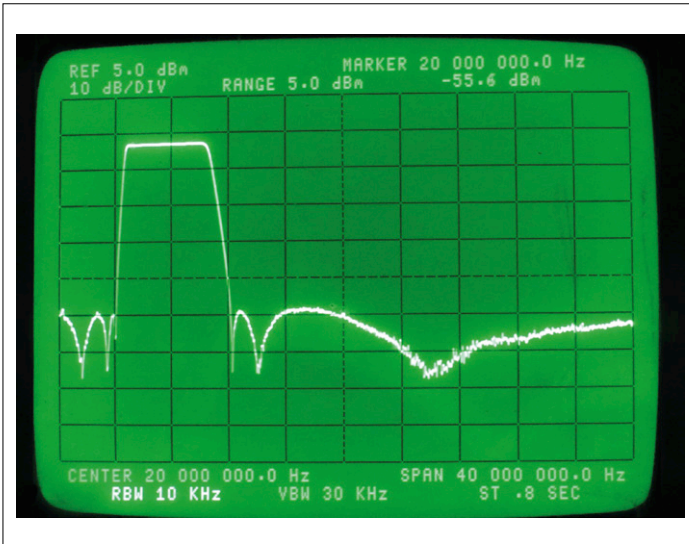


Figure 14. Réalisation d'un passe-bande.

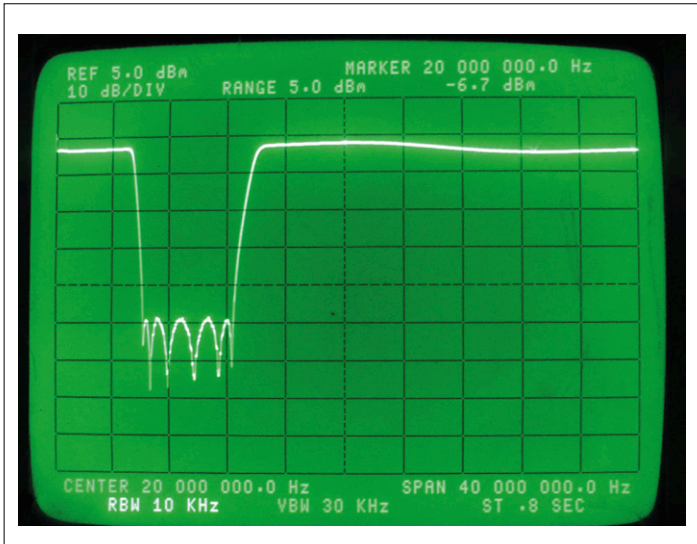


Figure 15. Coupe-bande.

les zéros doivent former des paires conjuguées complexes. La **figure 10** représente le diagramme des pôles et des zéros d'un filtre passe-bas elliptique. On y voit qu'en basse fréquence, on s'approche des pôles. Chaque pôle peut occasionner une bosse dans la caractéristique de fréquence quand on est suffisamment proche d'un pôle. Aux hautes fréquences, on atteint les zéros, qui se trouvent sur le cercle unitaire, si bien que dans la bande de réjection, on se trouve toujours à proximité des zéros. Alors  $H(z)$  est petit et l'affaiblissement est profond. Le programme de conception de filtres place les pôles et les zéros de manière à se conformer aux spécifications du filtre. Le nombre de pôles, comme celui des zéros, correspond à l'ordre du filtre. Chaque biquad réalise toujours deux pôles et deux zéros conjugués complexes.

### Filtre passe-haut

Avec l'interprétation qui précède, on peut facilement transformer un passe-bas en passe-haut, il suffit de renverser les pôles et zéros par rapport à l'axe imaginaire. Ce qui se passe avec le nouveau filtre dans les hautes fréquences doit être pareil à ce arrivait dans les basses avec l'ancien filtre et vice-versa. La caractéristique est donc simplement l'image miroir à la fréquence  $F_s/4$ . La **figure 11** montre les pôles et zéros d'un passe-haut. Toutes les positions de pôles (dans la bande passante) se retrouvent alors dans les hautes fréquences, à proximité de  $F_s/2$ . Dans la **figure 12**, on voit la courbe de fréquence mesurée pour un filtre passe-haut de Chebyshev avec l'ondulation typique dans la bande passante.

### Filtres passe-bande et coupe-bande

En principe, il est donc aussi simple de construire un passe-bande. On glisse pour ainsi dire les pôles sur les cercles là où on veut placer une bande passante et les zéros dans la bande d'atténuation. Comme le pôle et le zéro se comportent comme des nombres complexes conjugués, cela double l'ordre du filtre. Le diagramme qui en résulte est à la **figure 13**. Pour le filtre coupe-bande, on échange les bandes correspondantes du filtre passe-bande. Pour ces exemples, j'ai utilisé un elliptique qui aura toujours une plus faible ondulation dans la bande passante.

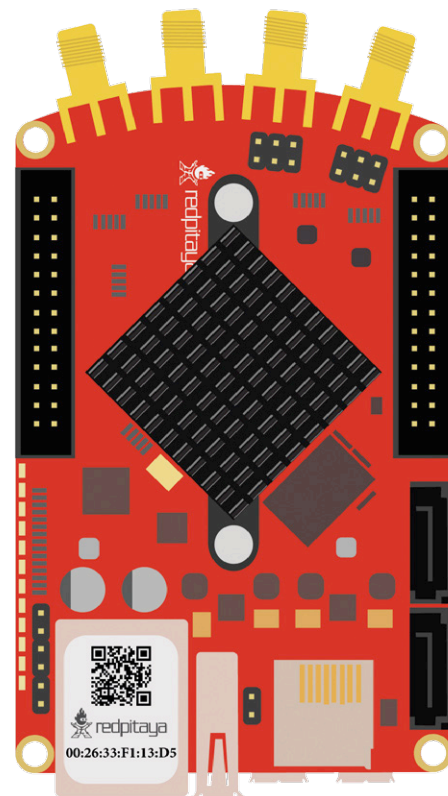
À la **figure 14**, on voit la caractéristique de fréquence d'un passe-bande construit de cette façon et à la **figure 15**, celle du coupe-bande correspondant.

Nous avons ainsi implémenté convenablement tous les filtres numériques classiques. Il n'y a donc plus d'obstacle à utiliser Red Pitaya dans les applications les plus diverses.

(160111 – version française : Robert Grignard)

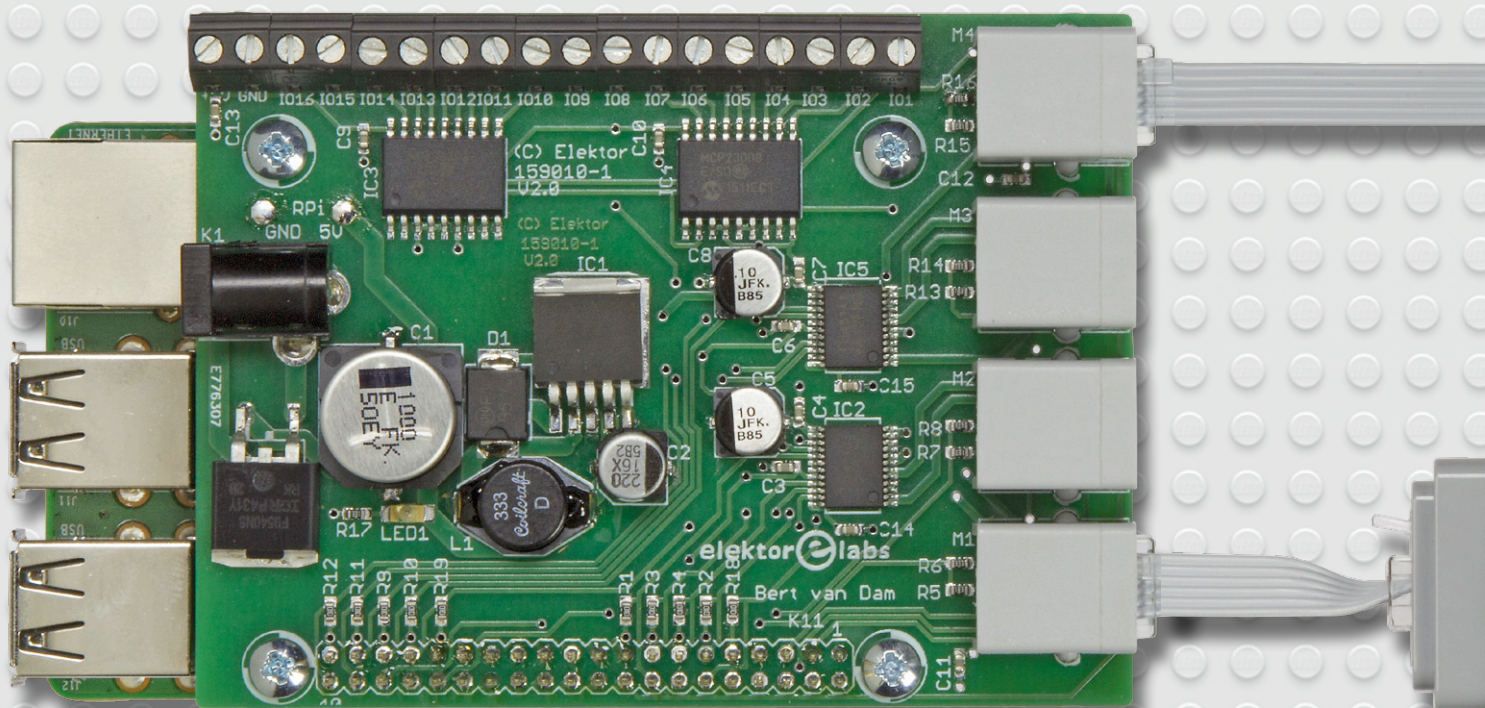
### Liens

- [1] <http://iverilog.icarus.com/>
- [2] [www.xilinx.com/products/design-tools/vivado.html](http://www.xilinx.com/products/design-tools/vivado.html)
- [3] [www.elektormagazine.fr/160111](http://www.elektormagazine.fr/160111)





# carte de commande LEGO® pour Raspberry Pi



Cette carte *HAT* (*Hardware Attached on Top*) pour Raspberry Pi permet d'ajouter au puissant nano-ordinateur quatre voies pour des moteurs LEGO de type EV3 et seize entrées/sorties numériques tamponnées. La programmation peut se faire dans différents langages, tels que C ou Python. Pour vous mettre le pied à l'étrier, nous avons construit une « boîte inutile » avec cette carte et quelques pièces LEGO.

La carte décrite ici combine la souplesse d'emploi de deux systèmes bien connus :

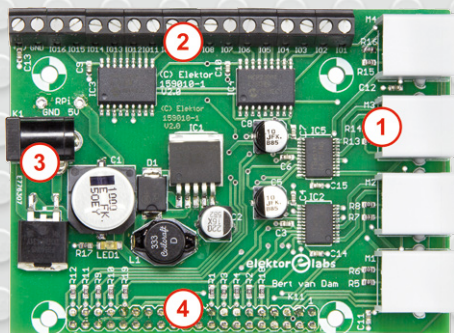


Figure 1. Connexions de la carte de commande LEGO. 1) Quatre connecteurs LEGO pour moteur ; 2) bornier à vis pour seize E/S ; 3) connecteur pour l'alimentation 9 V ; 4) recopie des broches d'E/S du Raspberry Pi.

d'une part LEGO, pour la construction mécanique, et d'autre part Raspberry Pi, pour les aspects logiciel, gestion des capteurs et communication avec l'internet.

Lorsque cette carte est montée sur un Raspberry Pi 2 ou 3, vous disposez de quatre voies pour moteur EV3 (ou équivalent), pour mettre en mouvement des maquettes LEGO. Il y a aussi seize entrées ou sorties numériques tamponnées, pour la gestion et la commande de capteurs, LED, etc. Vous ne pourrez pas utiliser les capteurs LEGO (dans ce cas, il vaut mieux utiliser le contrôleur EV3 de LEGO), mais le choix est vaste par ailleurs : infrarouge, ultrasons, température, etc. Laissez libre cours à votre imagination !

Le RPi est alimenté par la carte, une seule alimentation de 9 V suffira donc (courant de 5 A recommandé) pour le nano-ordinateur, la carte de commande, et les moteurs. Pour des applications mobiles, des accus feront l'affaire, le régulateur de tension pour le RPi est un convertisseur *Buck* à haut rendement.

Le connecteur GPIO du RPi est « ramené » sur la carte de commande LEGO, ce qui permet de connecter des composants ou capteurs I<sup>2</sup>C ou SPI additionnels. N'hésitez surtout pas à combiner projets et capteurs du livre « Raspberry Pi – 45 applications utiles pour l'électronicien » [2] avec des pièces de LEGO.

Cerise sur le gâteau, le RPi permet de communiquer avec l'internet, par câble



# avec quatre voies pour moteur et seize entrées/sorties numériques

Bert van Dam (Pays-Bas)



ou Wi-Fi. Une clé USB/4G branchée sur le RPi vous permettra en outre de communiquer avec votre module où que vous

soyez (ou presque). Vous pourrez ainsi construire des maquettes qui combinent les moteurs

LEGO et un tas de capteurs, le tout commandé et géré par un puissant nano-ordinateur, le Raspberry Pi !

**Tableau 1. Points forts et faibles du LEGO EV3 et du Raspberry Pi.**

## LEGO – points forts

- Construction mécanique ; on peut réaliser tout ce que l'on veut.
- Les moteurs, bien que pour des applications sérieuses il faille des servomoteurs et des vérins.

## Raspberry Pi – points forts

- Système ouvert, très puissant avec un langage facile à apprendre, Python. Et encore plus en C.
- Nombreuses connexions d'E/S, que l'on peut étendre « à l'infini » avec des circuits d'extension.

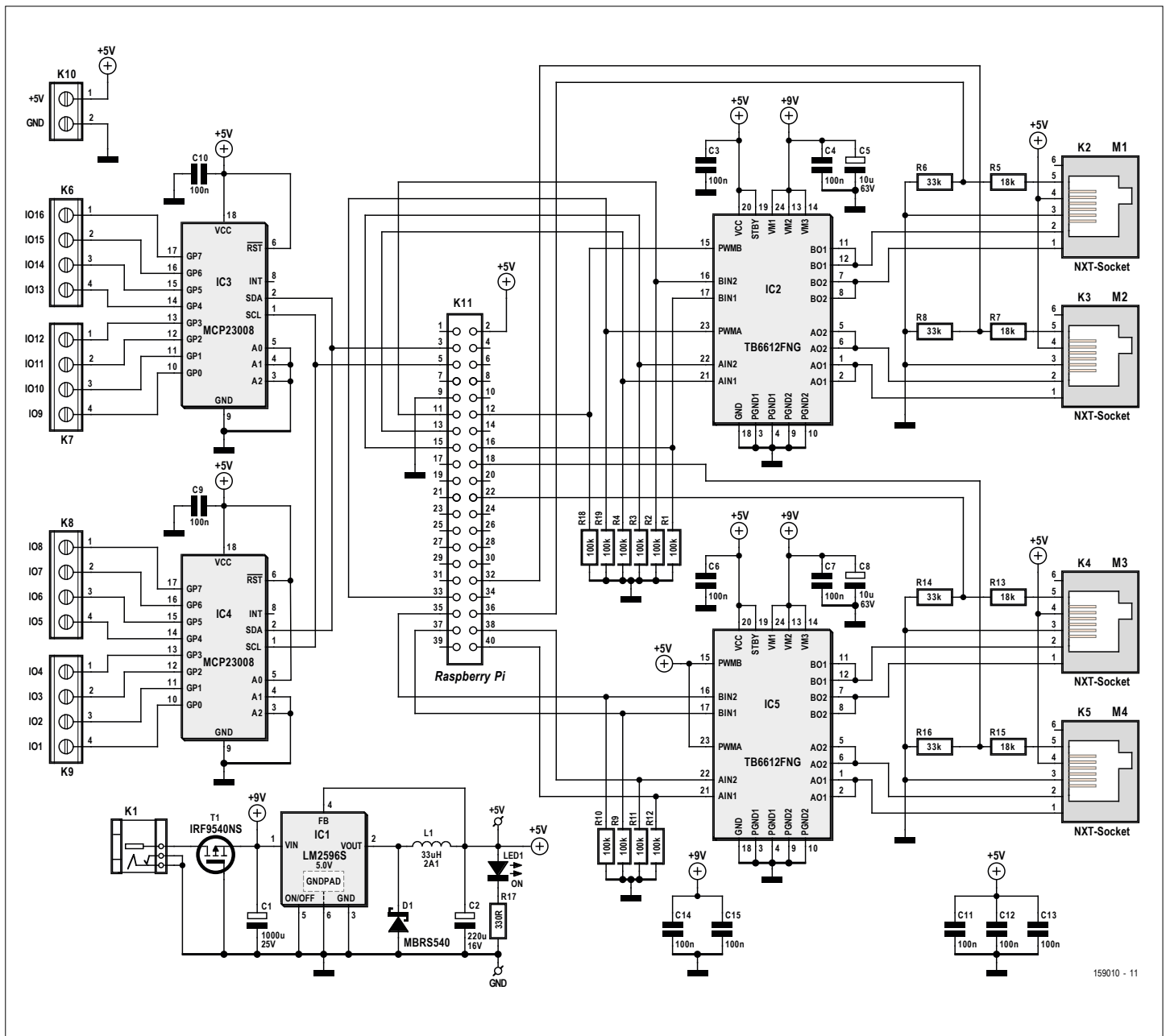
## LEGO – points faibles

- Le peu de connexions pour des capteurs. Un robot un tant soit peu équipé a besoin de quatre capteurs ultrasonores, et ce n'est qu'un début !
- Vidéo et autres applications, auxquelles LEGO n'a pas pensé.

## Raspberry Pi – points faibles

- Connecteurs d'E/S fragiles et non protégés.
- Gourmand en courant.





159010 - 11

Figure 2. Le circuit comporte deux circuits de commande de moteur, deux circuits d'extension d'E/S, et un convertisseur abaisseur de tension Buck.

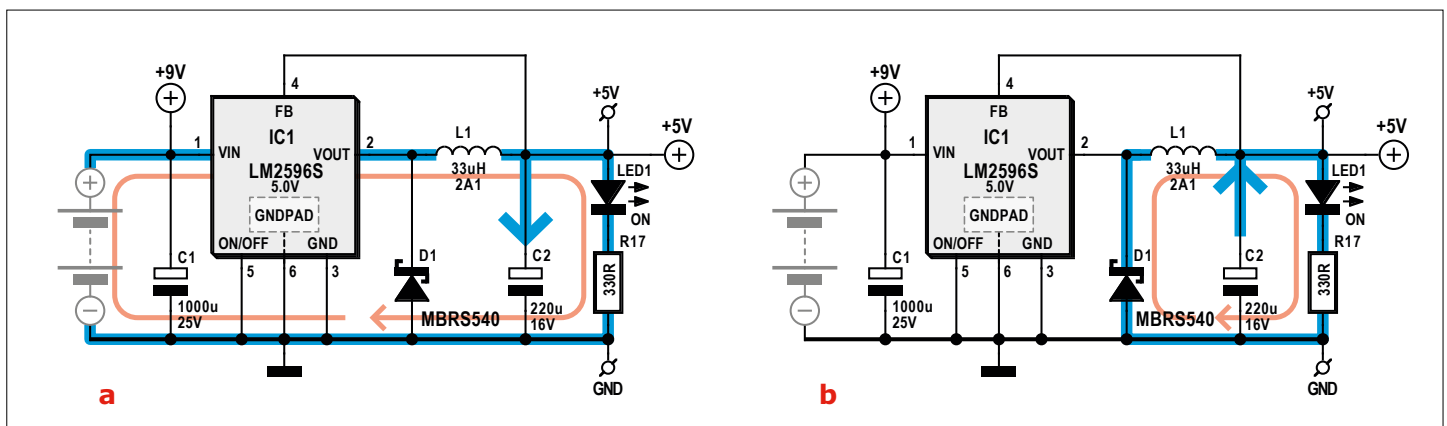


Figure 3. Convertisseur Buck : a) démarrage du « volant d'inertie » b) alimentation par le « volant d'inertie ».

## Considérations préliminaires

La carte de commande LEGO n'est pas une simple copie de la brique EV3 ; elle combine les points forts de LEGO et ceux de RPi. Le **tableau 1** reprend les points forts et faibles des deux systèmes. Il en ressort que notre carte doit présenter les caractéristiques suivantes (et c'est bien le cas) :

- quatre voies pour des moteurs LEGO EV3 (LEGO 45502, 45503 ou compatible), toutes avec signaux de tachymétrie, et deux avec MLI (*PWM*) ;
- seize E/S tamponnées (extensibles par I<sup>2</sup>C) ;
- alimentation à haut rendement pour le RPi (convertisseur *Buck*) ;
- bibliothèque Python 2 gratuite ;
- recopie du connecteur GPIO du RPi (ce qui permet des connexions supplémentaires, telles qu'E/S protégées ou analogiques).

## Résultat

Le schéma complet de la carte de commande LEGO est en **figure 2**. Les composants les plus importants sont les deux circuits de commande de moteur, des TB6612FNG de Toshiba (chacun peut commander deux moteurs, avec un courant de sortie maximal de 1,2 A), et les deux circuits d'extension d'E/S MCP23008 de Microchip, pourvus d'interfaces I<sup>2</sup>C à haute-vitesse et SPI. Ci-après l'analyse de quelques sous-ensembles intéressants du circuit.

## Alimentation

Afin de n'utiliser qu'une seule source de tension, le RPi est alimenté par la carte de commande. La carte elle-même est alimentée en 9 V, fournis par des accus ou une alimentation secteur (courant nominal recommandé : 5 A).

Il nous fallait encore une manière économe de passer du 9 V au 5 V (alimentation du RPi), pour ne pas décharger les batteries trop vite. Nous avons donc opté pour un convertisseur *Buck* (hacheur série abaisseur de tension) ; il est basé sur un circuit LM2596S-5.0V de Texas Instruments (appelé par TI *Simple Switcher® Power Converter*), qui fonctionne à 150 kHz et peut fournir 3 A.

La **figure 3** illustre le fonctionnement d'un convertisseur *Buck*. La boucle formée par la diode D1, l'inductance L1 et le condensateur C2, constitue une sorte de

volant d'inertie électronique. Le LM2956 commence par « pousser » la tension à fond, ce qui lance le volant d'inertie. Ce n'est pas instantané, car le condensateur doit se charger via l'inductance, dans laquelle un champ magnétique est créé par le courant. À ce moment, la diode ne conduit pas encore, et le courant passe par le LM2956.

Lorsque la tension atteint sa limite haute, le LM2956 bloque sa sortie. Le champ magnétique dans l'inductance s'effondre, la tension s'inverse, et la diode conduit. Un courant parcourt alors la diode et la charge (le courant ne peut plus passer par le LM2956, celui-ci étant bloqué), et le condensateur se décharge. Lorsque la tension atteint sa limite basse, le LM2956 se débloque et le cycle recommence. Le LM2956 fonctionne donc en tout ou rien. Le rendement est excellent, et il n'y a aucun risque d'échauffement du circuit. Vu le découpage de la tension d'entrée, la valeur de C1 est importante aussi. C1 et C2 doivent être à faible résistance série (*ESR – Equivalent Series Resistance*).

## Entrées/Sorties

Les circuits d'extension MCP23008 (IC3 et IC4) sont pilotés par I<sup>2</sup>C, et veillent à ce que les connexions d'E/S du Raspberry Pi ne soient pas utilisées directement. Ceci offre en outre quelques avantages :

- les connexions d'E/S fonctionnent sous 5 V ;
- les broches d'E/S peuvent fournir un courant plus élevé que celles du RPi ;
- en cas d'incident, le dommage sera en principe limité au seul circuit d'extension concerné.

Le courant que peut fournir chaque broche d'E/S du MCP23008 est de 25 mA, avec un maximum de 125 mA pour l'ensemble du circuit, dont la dissipation ne peut dépasser 700 mW. Ceci est valable pour chaque MCP23008 ; si vous avez besoin de « beaucoup » de courant, veillez donc à répartir la tâche entre les deux circuits.

Les broches d'E/S du RPi étant ramenées (et donc accessibles) sur la carte de commande, on peut y raccorder des composants I<sup>2</sup>C supplémentaires, il suffit que leur adresse soit différente (la carte de commande LEGO utilise les adresses '0x20' et '0x21'). On peut par ex. ajouter des circuits d'extension d'E/S, et des

convertisseurs N/A ou A/N, pour produire ou lire des signaux analogiques.

## Moteurs

Les deux circuits TB6621FNG (IC2 et IC5) possèdent deux ponts en H, nous pouvons donc commander un total de quatre moteurs. La consommation des moteurs LEGO est en approximation la suivante :

	petit EV3	gros EV3
roue libre	85 mA	80 mA
en avant lent	500 mA	1000 mA
bloqué	780 mA	1800 mA

Les moteurs ne peuvent rester bloqués que durant un court laps de temps, sinon une sécurité les met hors circuit. En outre, il vaut toujours mieux éviter un blocage : si la sécurité flanche, le moteur peut brûler.

Le TB6621FNG peut fournir 1,2 A par sortie (donc par moteur), avec une pointe de 3 A ; c'est amplement suffisant.

Si vous voulez installer une bibliothèque de pilotes pour les TB6621FNG, n'oubliez pas que les broches MLI (*PWM*) du circuit doivent être au niveau haut pour que le TB6621FNG travaille. Avec un signal MLI, cela fonctionnera toujours correctement, quel que soit le sens de rotation du moteur.

## Circuit imprimé

La **figure 4** montre le dessin du circuit imprimé. Les dimensions du circuit et la position du connecteur sont choisies de telle manière que la carte s'adapte parfaitement à un RPi 2 ou 3 (doté d'un connecteur d'E/S à 40 broches). La plupart des composants sont en boîtier CMS, Elektor propose donc une version montée et testée de la carte. Vous pouvez bien entendu monter le circuit vous-même, le dessin est disponible sur la page du projet [1]. Notez que le connecteur à 40 broches (K11) est placé sous le circuit imprimé, et soudé sur le dessus. Les quatre connecteurs NXT destinés aux moteurs ne sont pas très courants, et vous devrez chercher un fournisseur sur l'internet.

## Projet de démonstration : la boîte inutile

Le concept de la boîte inutile (*useless box*) est une boîte qui ne sert à rien en

## Liste des composants

### Résistances :

R1-R4, R9-R12, R18, R19 = 100 kΩ, 1%, 100 mW, CMS 0603

R5, R7, R13, R15 = 18 kΩ, 1%, 100 mW, CMS 0603

R6, R8, R14, R16 = 33 kΩ, 1%, 100 mW, CMS 0603

R17 = 330 Ω, 100 mW, CMS 0603

### Condensateurs :

C1 = 1000 µF / 25 V, aluminium, d =

12,5 mm, h = 13,5 mm, ELPP-CP-125-135  
C2 = 220 µF / 16 V, aluminium, d = 6 mm, h = 7,7 mm, ELPP-CP-063-066

C3, C4, C6, C7, C9-C15 = 100 nF / 16 V, 10%, X7R, CMS 0603

C5, C8 = 10 µF / 63 V, CMS D

### Bobine :

L1 = 33 µH, 2,1 A (p.ex. Coilcraft DO3316)

### Semi-conducteurs :

D1 = MBR540, 40 V / 5 A, ELPP-DO-214AB

LED1 = LED rouge, CMS 1206

T1 = IRF9540NSPBF (MOSFET canal P), D2-PAK

IC1 = LM2596S-5.0 (convertisseur *Buck*), TO-263-5

IC2, IC5 = TB6612 (commande des moteurs), 24-SSOP (Digikey TB6612FNGC8ELCT-ND)

IC3, IC4 = MCP23008 (extension d'E/S), SOIC-18

### Divers :

K1 = connecteur d'alimentation, 12 V / 3 A, broche centrale Ø 1,95 mm

K2-K5 = connecteur femelle NXT

K6-K9 = bornier à vis, 4 broches, pas de 3,81 mm

K10 = bornier à vis, 2 broches, pas de 3,81 mm

K11 = connecteur à 2x20 broches RPi, extra long (p.ex. Kiwi-electronics ADA-1979)

Circuit imprimé réf. 159010-1 ([www.elektor.fr](http://www.elektor.fr))

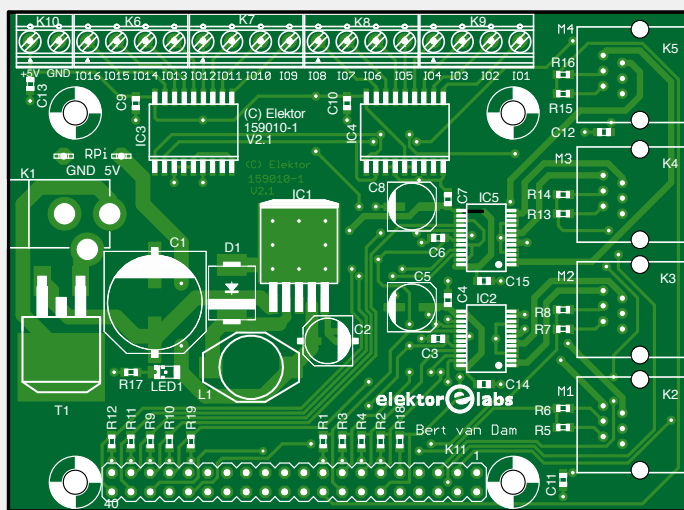


Figure 4. Dessin du circuit imprimé. Le connecteur à 40 broches (K11) est installé sous le circuit.

boîte ; vous pouvez en faire une en bois ou carton.

La vidéo et les photos disponibles sur la page du projet ne vous montrent d'ailleurs que la partie mécanique, sans la boîte. Vous pourrez en tout cas saisir le fonctionnement du dispositif.

### De quoi avez-vous besoin ?

- La carte SD du livre « Raspberry Pi – 45 applications pour l'électronicien » ;
- les téléchargements gratuits de cet article (dont la bibliothèque et le code source du projet de démonstration) ;
- un moteur LEGO (« gros » moteur de type 45502) avec câble, et quelques pièces LEGO (disponibles dans la boîte LEGO Mindstorms EV3) ;
- un Raspberry Pi 2 ou 3 ;
- la carte de commande LEGO (fig. 4) ;
- deux résistances (1 et 10 kΩ, ¼ W) ;
- un petit interrupteur facile à actionner.

### Le matériel

Nous utilisons un « gros » moteur LEGO de type 45502 – que l'on peut trouver entre autres dans une boîte LEGO Mindstorms EV3 (voir contenu à la figure 5). Une courte vidéo (voir en [1]) montre comment réaliser un bras articulé. L'interrupteur est placé sur le montage, de telle manière que le bras en plastique noir puisse l'actionner.

L'ensemble est ensuite raccordé à l'alimentation via les deux résistances, et à la broche d'E/S 16 (fig. 6). La résistance de 10 kΩ seule suffirait, mais la seconde est une sécurité. Sans cette résistance de 1 kΩ, on pourrait endommager les E/S si on invertissait entrée et sortie et raccordait ce fil à masse.

particulier, avec un bouton dessus. Avec notre boîte, lorsque vous actionnez l'interrupteur, un « doigt » sort de la boîte et

actionne à son tour l'interrupteur (dans l'autre sens). Nous n'avons conçu que le circuit interne, à vous de construire la

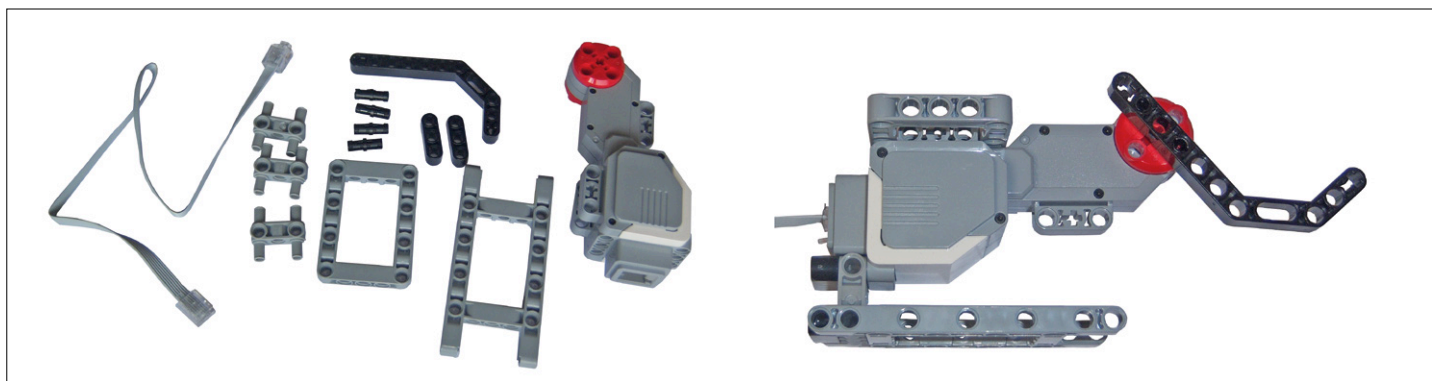


Figure 5. Pièces du bras articulé et sa version finale.



## Le logiciel

Le logiciel est étonnamment simple, mais attention : la bibliothèque attend des programmes en Python 2. Toutes les informations sur cette bibliothèque et les fonctions vous sont fournies gracieusement dans un manuel, téléchargeable en [1]. Il faut d'abord installer la bibliothèque 'rpirobot', puis entrer l'instruction 'execfile'. Les ports de moteur sur la carte de commande LEGO sont alors correctement initialisés et les tâches MLI (PWM) activées. Ensuite nous configurons en entrée la broche d'E/S 16 de la carte de commande, vu que l'interrupteur y est raccordé.

```
execfile('rpirobot.lib')
```

```
# Switch on io 16, input
iodir(16,1)
```

```
print "Useless Box Program running"
```

Nous utilisons une structure de contrôle 'try/except' (**listage 1a**), de telle manière que le programme attende que l'utilisateur actionne l'interrupteur ou appuie sur 'Ctrl-C' (arrêt).

Lorsque l'interrupteur est actionné, le programme attend 0,5 s (pour que l'utilisateur ait le temps de retirer son doigt), puis fait tourner le bras LEGO avec 'PWM 60' (60% de la vitesse maximale). Nous sommes dans une boucle pour exécuter des tâches (*threads*), mais comme rien ne se passe, c'est peu utile. Nous avons donc programmé une fonction 'sleep', d'une durée de 1 µs ; personne ne remarquera ce retard. Dès que l'interrupteur est actionné par le bras, le frein moteur est enclenché.

L'étape suivante (**listage 1b**) sert à ramener le bras LEGO à sa position de repos, à vitesse réduite ('PWM 30', 30% de la vitesse maximale). Il n'y a pas d'interrupteur de fin de course pour stopper le mouvement, le programme utilise donc les données de tachymétrie. Le programme compte les pas, et arrête le moteur après 100 (28% d'un cercle) avec la commande 'float'. Le bras se trouve alors à environ 1 cm du « sol ».

La structure 'except' (**listage 1c**) traite l'action 'Ctrl-C' de l'utilisateur. Le programme envoie l'interruption à la bibliothèque RPi et s'arrête ensuite lui-même.

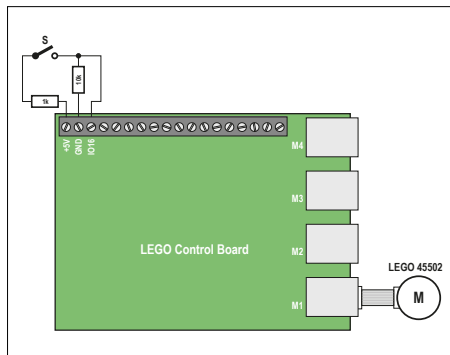


Figure 6. Schéma de connexion de l'interrupteur et des deux résistances.

Sans cette structure, le programme s'arrêterait aussi avec 'Ctrl-C', mais la bibliothèque resterait ouverte, ce qui n'est pas souhaitable.

### Pas à pas

- Mettre le bras LEGO dans sa position de repos, c'est-à-dire le plus loin possible de l'interrupteur (par ex. contre la table où repose le bloc moteur).
- Démarrer le RPi, et patienter jusqu'à ce que le processus de démarrage soit terminé.
- Copier le dossier *test* dans le RPi (par ex. avec WinSCP).
- Entrer dans le dossier *test* avec l'instruction 'cd test'.
- Exécuter 'python uselessbox.py'.
- Attendre jusqu'à ce que le texte 'Useless Box Program running' apparaisse sur l'écran du RPi, presser l'interrupteur, et retirer le doigt. Le bras LEGO actionne à nouveau l'interrupteur.
- Répéter cette dernière étape autant que l'on veut, puis arrêter le programme avec 'Ctrl-C'.

C'est un exemple d'utilisation très simple, mais la carte de commande LEGO offre bien plus de possibilités, avec ses quatre moteurs et ses seize broches d'E/S. ◀

(150597 – version française : Jean-Louis Mehren)

### Liens

- [1] Page du projet : [www.elektormagazine.fr/150597](http://www.elektormagazine.fr/150597)
- [2] Livre « Raspberry Pi, l'alliance de la programmation et de l'électronique – 45 projets utiles pour l'électronicien », Elektor, ISBN 978-2-86661-196-5 : [www.elektor.fr/rpi](http://www.elektor.fr/rpi)

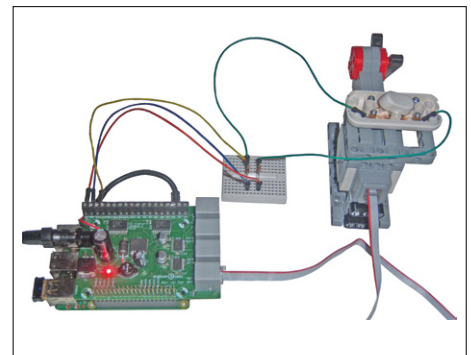


Figure 7. Le montage complet.

### Listage 1a.

```
try:
    while 1:
        # wait for the user
        # to push switch on
        if ioread(16):
            # push switch off
            time.sleep(0.5)
            reverse(1)
            pwm(1,60)
            while ioread(16):
                time.sleep(0.000001)
            brake(1)
```

### Listage 1b.

```
# retract lever
forward(1)
pwm(1,30)
counter1=0
lastpin1=tacho(1)
while counter1<100:
    time.sleep(0.000001)
    if tacho(1)!=lastpin1:
        counter1+=1
        lastpin1=tacho(1)
# float motor
float(1)
```

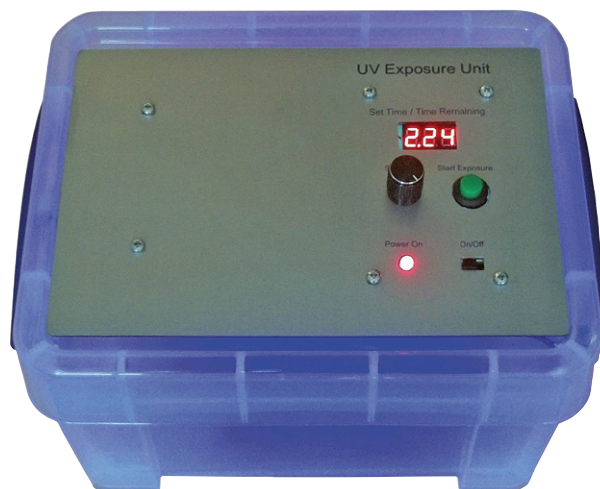
### Listage 1c.

```
except:
    # user aborts program with
    # Ctrl-C
    print "Program aborting"
    abort()
    print "Done"
```

# insoleuse UV avec minuteur PIC et matrice de 54 LED UV

Steve Griffin (Royaume-Uni)

L'idée d'utiliser des LED à rayonnement ultraviolet pour insoler des circuits photosensibles n'est pas nouvelle, mais sa mise en œuvre est ici remarquable. Le résultat est une insoleuse de construction simple et ingénieuse, qui de surcroît peut être logée dans une banale boîte de rangement en plastique.



Cet article est un condensé de la présentation que j'ai faite de mon projet sur Elektor.Labs. Je laisse ici de côté les petits détails pratiques de la construction, pour cela je vous renvoie au site du labo d'Elektor [1]. Vous y trouverez un fichier Word qui décrit en détail le fonctionnement interne de l'insoleuse et son assemblage, ainsi que des ressources aussi essentielles que le programme du PIC et les dessins des circuits imprimés.

## Présentation

L'unité est composée de deux cartes que j'appellerai par la suite carte d'insolation et carte de commande. La carte d'insolation porte la matrice de 54 LED UV qui constitue la source d'insolation. La carte de commande est équipée d'un microcontrôleur PIC programmé en minuteur, d'un codeur rotatif et d'un afficheur à sept segments. Elle possède en outre deux sorties programmables : une pour l'insolation des cartes simple face, l'autre pour quiconque souhaiterait adapter l'unité afin qu'elle serve également aux circuits double face. Un buzzer indique la fin de la période d'insolation, généralement deux minutes et demie.

## Carte de commande

La carte de commande (fig. 1) est construite sur une carte double face conçue pour être montée directement sur le dos de la carte d'insolation. L'idée était bien sûr d'obtenir un assemblage aussi compact que possible. La carte est

en outre équipée d'un connecteur ICSP (J7). Notez bien que si le programmeur ICSP fournit la tension d'alimentation, l'insoleuse doit être hors tension durant

la programmation du PIC. J'ai opté pour le PIC 16F877A parce qu'il est facile à trouver et qu'il offre de nombreux ports accessibles. Il est alimenté

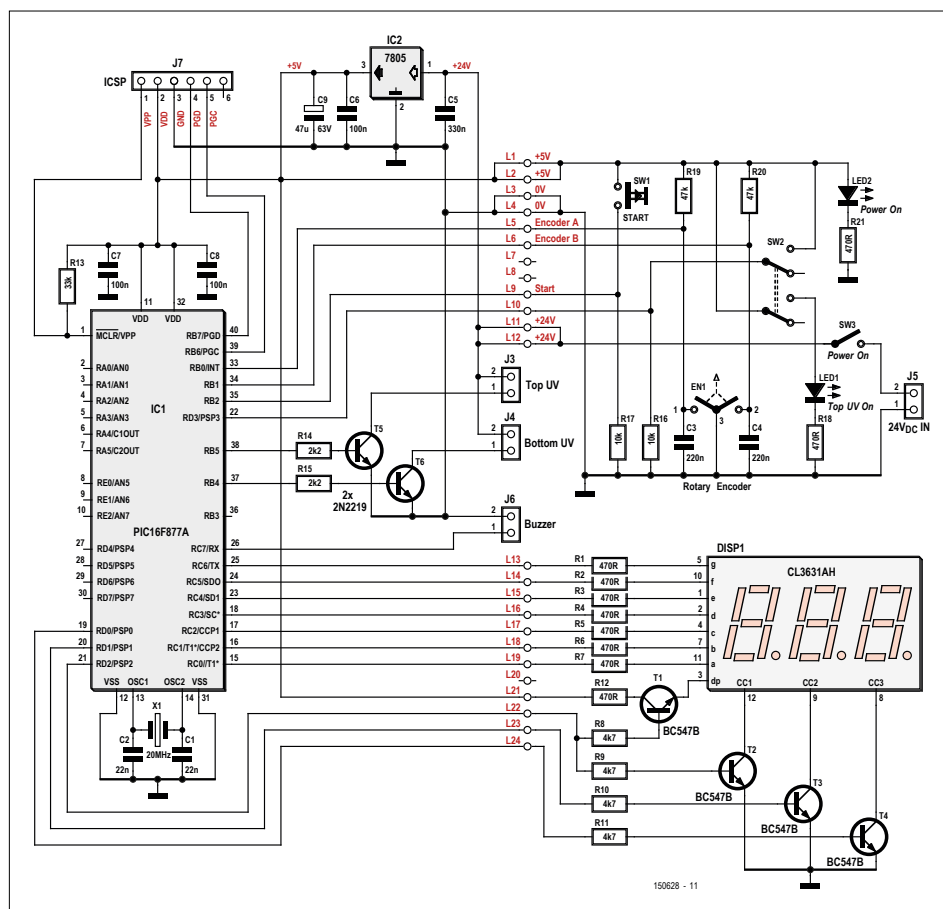


Figure 1. Schéma de la carte de commande qui accueille le PIC, l'afficheur à sept segments et le codeur rotatif.

par un régulateur de 5 V relié à un adaptateur secteur de 24 V CC et 1 A. Cet adaptateur sert également à alimenter (directement) la ou les carte(s) d'insolation. La LED D2 indique que l'insoleuse est sous tension. L'horloge est cadencée à 20 MHz par un quartz externe (X1), une configuration plus que suffisante ici. Les ports C et D sont définis comme sorties pour commander l'afficheur. Les segments de ses trois chiffres sont pilotés par les transistors T2, T3 et T4. Le point décimal servant à séparer les minutes des secondes est commandé par T1. Le port C7 actionne le *buzzer*. Le port B5 active si nécessaire le second banc d'insolation, ce qu'indique alors la LED D1.

Le port B prend en charge toutes les autres fonctions. Deux broches activent les transistors à collecteur ouvert non protégés qui commandent la carte d'insolation. Les autres broches sont définies comme entrées pour détecter une pression sur le bouton *Start* et la rotation du codeur rotatif (EN1) qui définit la durée d'insolation.

Le codeur rotatif joue un rôle essentiel. Il comporte ici seize divisions et peut tourner sur 360 ° dans les deux sens. Une rotation d'une division dans le sens horaire augmente la durée d'insolation de 15 s, tandis qu'une rotation d'une division dans l'autre sens la réduit de 15 s. La durée d'insolation peut être comprise entre 15 s et 9 min et 45 s. Comme la rotation du codeur entraîne une succession rapide de fermeture/ouverture des contacts, un filtre anti-rebond à circuit RC a été ajouté à ses deux sorties. Les couples R19/C3 et R20/C4 ont une constante de temps RC d'environ 10 ms.

Le mode d'emploi de l'insoleuse tient en une phrase : allumez l'unité, programmez la durée d'insolation avec le codeur EN1, appuyez sur le bouton *Start*. Les LED s'allument aussitôt (si le couvercle est en place) et l'afficheur indique la durée restante. Les LED UV sont mises hors tension et le *buzzer* est activé cinq fois lorsque le temps est écoulé.

### Carte d'insolation

La carte d'insolation est une carte Euro simple face standard de 160 mm × 100 mm sur laquelle sont disposées neuf colonnes de six LED UV (**fig. 2**). Une LED traversée par son courant nominal de 20 mA développe à ses bornes une tension de 3,4 V. Sous charge, l'adaptateur secteur de 24 V CC que j'utilisais délivrait en fait 23,7 V. La tension aux bornes d'une colonne de six LED vaut donc :

$$23,7 - (6 \times 3,4) = 3,1 \text{ V.}$$

La valeur de la résistance-talon est donnée par  $R = U/I$ . Soit, avec  $U = 3,1 \text{ V}$  et  $I = 20 \text{ mA}$  :

$$R = 3,1 / (20 \times 10^{-3}) = 165 \Omega$$

J'ai donc opté pour des résistances de 150 Ω.

Chaque LED UV est placée à plus ou moins égale distance de ses voisines de façon à ce que l'éclairement soit uniforme. La disposition des LED permet par ailleurs de monter deux cartes côte à côte et de les relier électriquement en parallèle pour créer une plus grande surface d'insolation (160 mm × 200 mm). Chaque sortie à collecteur ouvert (T5/T6) peut commander

jusqu'à quatre cartes d'insolation identiques. L'efficacité est optimale lorsque la distance entre les LED UV et la surface à insoler est comprise entre 100 et 150 mm.

### Flexibilité totale

La carte de commande et la carte d'insolation forment une construction en sandwich (**fig. 3**) fixée au panneau supérieur de la boîte avec quatre vis et entretoises. Bien d'autres configurations sont possibles selon la ou les carte(s) que vous souhaitez insoler, par ex. une simple face de 160 mm × 100 mm (180 mA) ou de 160 mm × 200 mm (360 mA) ; ou encore ces mêmes dimensions, mais en versions double face (soit 360 mA et 720 mA). Dans tous les cas, l'alimentation reste l'adaptateur de 24 V CC. Référez-vous à l'article complet [1] pour découvrir toutes les options de construction possibles. J'ai aussi créé une carte d'insolation dotée de 18 LED blanches supplémentaires. Cette « *UV-Board B* » permet de combiner insoleuse et table lumineuse en une seule unité. J'ai choisi des LED blanches à faisceau large pour couvrir la zone à éclairer avec le moins de composants possible, et ajouté une résistance variable qui permet de contrôler la luminosité totale. Un mécanisme de sécurité empêche de regarder directement les LED UV par inadvertance. Le circuit consomme environ 420 mA.

(150628 – version française : Hervé Moreau)

### Lien

[1] Article complet :

[www.elektormagazine.com/labs/uv-exposure-unit-with-built-in-pic-based-timer](http://www.elektormagazine.com/labs/uv-exposure-unit-with-built-in-pic-based-timer)

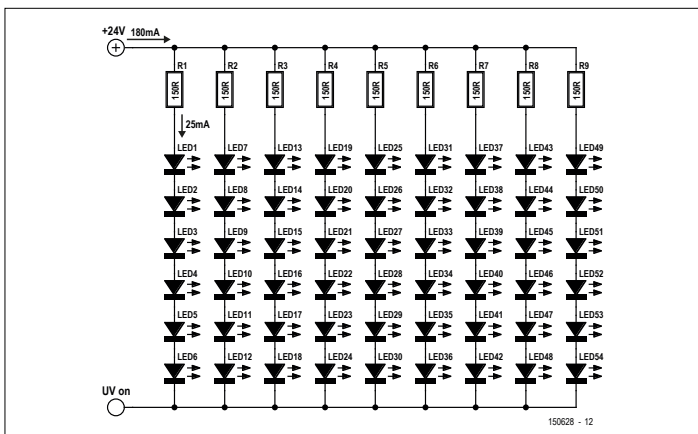


Figure 2. Schéma de la carte d'insolation.

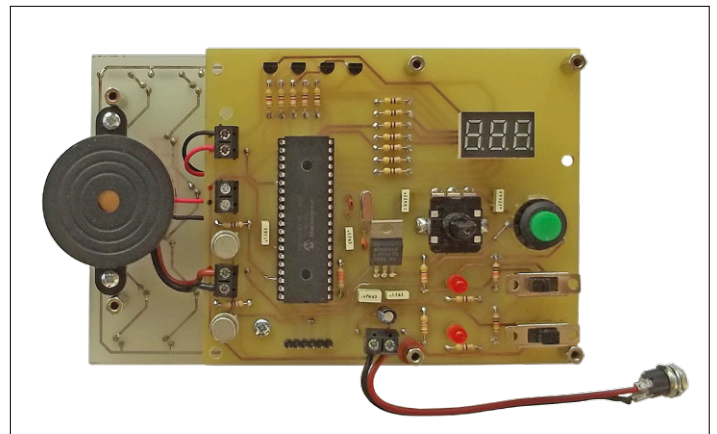


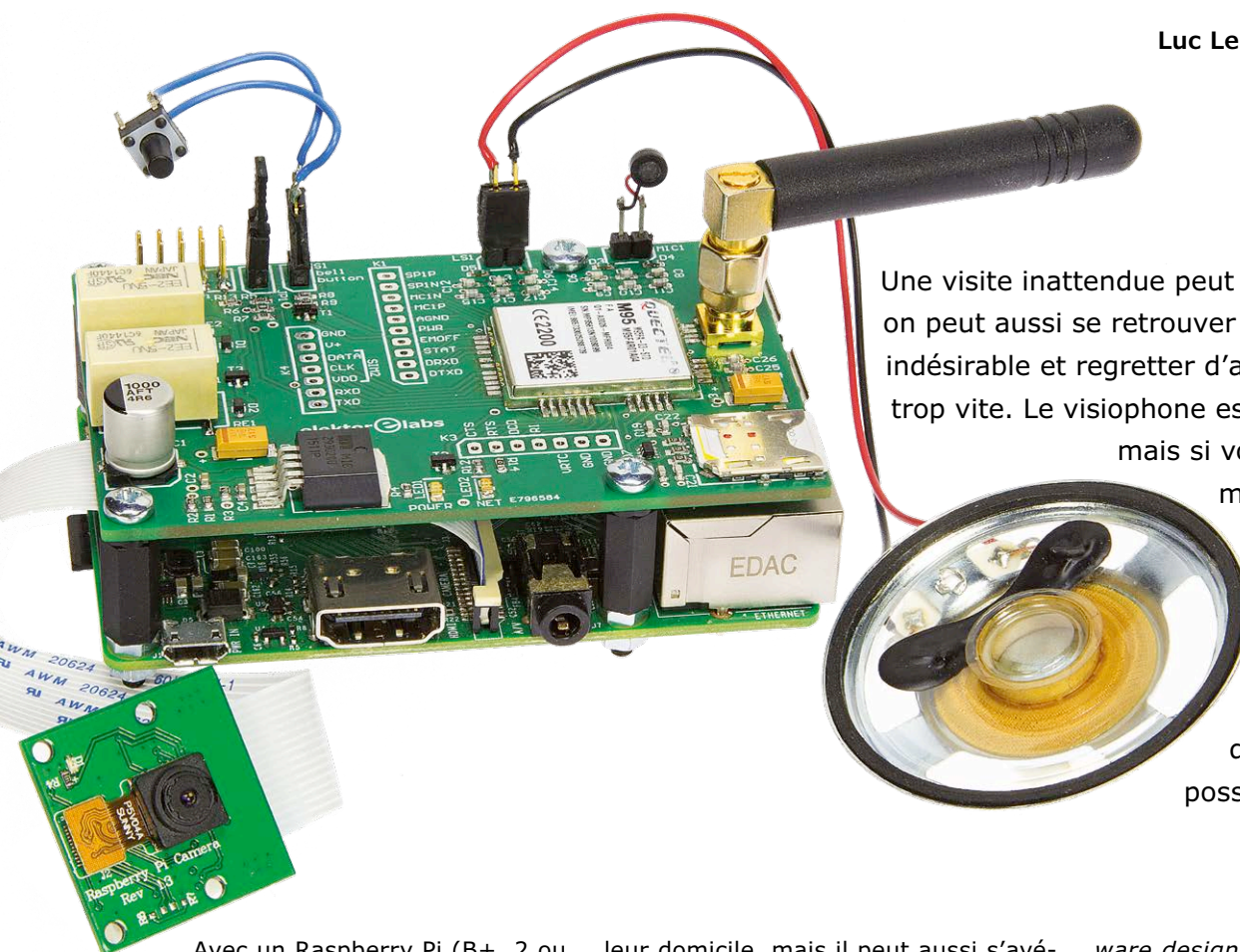
Figure 3. Les cartes de commande et d'insolation assemblées. Le *buzzer* est monté sur la carte d'insolation, mais activé par la carte de commande.



# judas connecté avec Raspberry Pi

## communiquer avec un visiteur via son ordiphone

Luc Lemmens (labo d'Elektor)



Une visite inattendue peut être agréable, mais on peut aussi se retrouver face à une personne indésirable et regretter d'avoir ouvert la porte trop vite. Le visiophone est une solution, mais si vous n'êtes pas à la maison... Avec notre projet, vous pourrez communiquer avec votre visiteur, et même lui ouvrir la porte à distance ; du moins, si vous possédez un ordiphone.

Avec un Raspberry Pi (B+, 2 ou 3, peu importe), un module caméra RPi, et la carte HAT GSM pour RPi conçue par notre labo, nous réalisons un interphone qui prend une photo du visiteur dès qu'il sonne. La photo est envoyée dans un MMS vers votre ordiphone, ce qui vous permet de voir qui est à la porte. Vous pouvez ensuite appeler votre « portier connecté » : le module GSM prendra automatiquement l'appel, et vous communiquerez avec le visiteur par microphone et haut-parleur interposés. Nous avons aussi prévu la possibilité d'actionner une gâche électrique, suite à l'envoi d'un SMS à l'interphone. Le SMS contient un mot de passe, et le numéro de l'appareil qui a envoyé le message est aussi contrôlé, pour plus de sécurité. Le système a été avant tout pensé et conçu pour les personnes absentes de

leur domicile, mais il peut aussi s'avérer utile dans des situations où on n'est pas en mesure d'aller voir qui a sonné. Et pourquoi pas pour « filtrer » vos visiteurs ? Il y a des jours où on n'a pas envie de recevoir n'importe qui...

Cette idée nous est venue après avoir fini le projet de carte de liaison GSM [1] qui repose sur le module GSM M95 de Quectel. Nous avons les bases nécessaires pour notre interphone, mais il semblait trop difficile d'en faire un ensemble compact. Nous avons donc préféré réaliser une carte HAT (*Hardware Attached on Top*) pour RPi avec le matériel additionnel nécessaire à l'interphone ; examinons-en maintenant le schéma.

### Schéma

L'essentiel du schéma provient de la documentation de Quectel, « M95 hard-

ware design » [2]. Le cœur du circuit (**fig. 1**) est constitué du module GSM M95 (MOD1) avec son antenne, et d'un connecteur pour carte SIM (SIM1). Les résistances R15 à R17, la barrette de diodes D7, et les condensateurs C19 à C22, constituent un dispositif antiparasites et de protection contre les décharges électrostatiques, pour l'interface de la carte SIM. Les condensateurs C6 à C17 et les diodes D3 à D6 remplissent la même fonction pour l'entrée du microphone à électret et la sortie de l'amplificateur audio du M95.

L'UART du M95 est connecté au RPi via K5, la communication se fait avec des commandes AT. Le diviseur de tension constitué par R6 et R7 adapte le niveau du signal TxD aux 3,3 V de l'entrée du RPi. Nous aurions pu alimenter la carte



RE1, qui peut être utilisé pour alimenter (en courant alternatif) une sonnette existante. Le cavalier JP1, que l'on peut remplacer par un interrupteur marche/arrêt, détermine si le signal de sonnerie est envoyé vers le RPi, auquel cas le processus d'envoi d'une photo démarre. L'envoi d'un MMS n'est pas gratuit, et si on est à la maison, on peut en principe se contenter de la sonnette.

RE2 permet la connexion d'une gâche électrique, qui sera actionnée par le RPi

via T4 lors de la réception d'un SMS contenant un mot de passe déterminé, et si le numéro de l'appareil envoyant le message est reconnu.

Nous ne sommes pas tout à fait convaincus de l'utilité de cette dernière option : il faudrait de toute manière pas mal de matériel pour sécuriser le relais, et empêcher qu'un malfrat ne parvienne à l'actionner ou à le contourner, et à ouvrir la porte. Il appartient à l'utilisateur de choisir quelles mesures de sécurité il appliquera ou non.

## Circuit imprimé

Le circuit imprimé est en **figure 2**. Comme le module GSM n'est disponible qu'en version CMS, nous avons décidé de n'utiliser que des composants CMS, à l'exception des connecteurs – dont celui de l'antenne. Cela risque de compliquer la tâche des amateurs les moins expérimentés, mais qu'ils se rassurent ! Elektor propose le circuit imprimé avec tous les CMS montés (150400-71). Les électroniciens chevronnés se procureront le circuit imprimé nu, ou le réaliseront eux-mêmes ; le dessin est disponible en [4]. Certains connecteurs sont optionnels, c'est mentionné dans la liste des composants. Attention : il faut insérer K5 côté pistes du circuit imprimé et ensuite souder ses pattes côté composants (**fig. 3**). Ce connecteur sera ensuite enfiché dans le connecteur GPIO du RPi. Avant de souder, vérifiez s'il faut ajuster la hauteur du connecteur par rapport au RPi. Il faut que la carte *HAT* reste éloignée de la prise USB du RPi.

## Préparation du RPi

Avec la version actuelle de *Raspbian*, appelée *Jessie*, il est relativement simple d'adapter le RPi à notre montage. Il faut d'abord télécharger l'image de la version la plus récente du système d'exploitation sur le site du RPi [3] (version 4.4 du noyau au moment de la rédaction de cet article). Copiez le fichier image (extension IMG) sur une carte SD, à l'aide de *Win32 DiskImager* ou d'un programme similaire. Ensuite démarrez le RPi avec cette carte SD, ouvrez une fenêtre de terminal et modifiez la configuration après saisie de la ligne suivante :

```
sudo raspi-config
```

On sélectionne l'option « 6. Enable Camera » pour connecter la caméra RPi. Ensuite on passe à « 9. Advanced Options », puis « A7 Serial », et « No », pour mettre hors service l'accès au *login-shell* (première instruction à s'exécuter lors d'une ouverture de session) via le port série. On termine avec « Finish », et on redémarre le RPi.

N. B. : avec d'anciennes versions de *Raspbian*, il faut installer la caméra manuellement, et mettre la console série hors service dans les fichiers de démarrage. Il y a de nombreux exemples et des explications sur l'internet. Il faut cependant effectuer une modifica-

## Liste des composants

### Résistances :

(CMS 0603, 1% / 0,1 W)

R1 = 110 kΩ

R2 = 43 kΩ

R3 = 470 Ω

R4, R12 = 1 kΩ

R5, R11 = 2,2 kΩ

R6 = 1,5 kΩ

R7 = 3,3 kΩ

R8, R10, R13 = 100 Ω

R9 = 47 kΩ

R14 = 0 Ω

R15, R16, R17 = 22 Ω

### Condensateurs :

C1 = 1000 µF / 10 V, CMS radial

C2, C3, C4, C18, C24 = 100 nF, X7R, CMS 0805

C5, C23 = 100 µF / 16 V, CMS 2312

C6, C7, C8, C12, C13, C14, C19, C20, C21, C22, C26 = 33 pF, X7R, CMS 0805

C9, C10, C11, C15, C16, C17, C25 = 10 pF, X7R, CMS 0805

### Semi-conducteurs :

D1, D2 = 1N4148, SOD-323

D3, D4, D5, D6 = PGB1010603MR, CMS 0603

D7 = SMF05CT2G, SC-88

LED1, LED2 = LED verte, 50 mcd, 2,1 V @ 20 mA, CMS 0805

T1, T2, T3, T4 = 2N7002, SOT-23

IC1 = MIC29302WU TR, TO-263

### Divers :

Mod1 = module GSM Quectel M95

SIM1 = connecteur micro-SIM

(Molex 78723-1001)

ANT1 = connecteur SMA pour circuit imprimé

(Molex 73391-0070)

+ antenne hélicoïdale (RF Solutions

ANT-GHEL2R-SMA)

K1 = barrette femelle à 10 broches,

pas de 2,54 mm (en option)

K2, K6 = barrette femelle à 2 broches,

pas de 2,54 mm (en option)

K3, K4 = barrette femelle à 7 broches,

pas de 2,54 mm (en option)

K5 = barrette femelle à 2x5 broches à lon-

gues pattes (Samtec ESQ-105-14-G-D)

S1 = barrette mâle à 2 broches, pas

de 2,54 mm, pour bouton de sonnette

JP1 = barrette mâle à 2 broches, pas

de 2,54 mm, avec cavalier

LS1 = barrette mâle à 2 broches, pas

de 2,54 mm, pour le haut-parleur

(8 Ω / 1,5 W)

Mic1 = barrette mâle à 2 broches, pas

de 2,54 mm, pour le microphone à électret

(ABM-715-RC)

Re1, Re2 = relais CMS, DPDT, 2 A, 5 V<sub>DC</sub>

(Kemet EE2-5NU)

Raspberry Pi B+, 2 B ou 3 B

Module caméra pour Raspberry Pi (rev 1.3)

Circuit imprimé réf. 150400-1 ou circuit

imprimé avec composants CMS montés

réf. 150400-71 (www.elektor.fr)

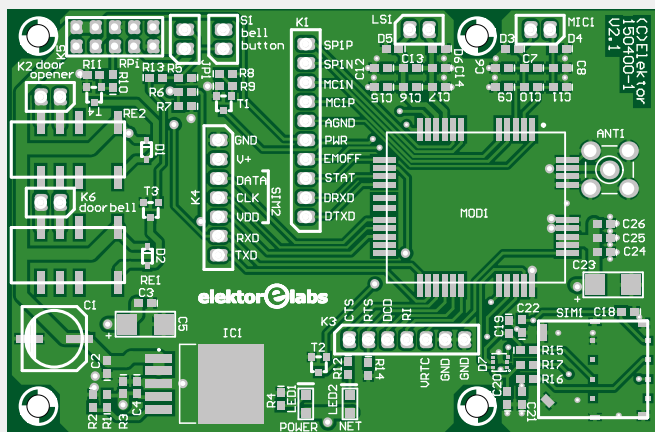


Figure 2. Le circuit imprimé de la carte *HAT* pour RPi comporte essentiellement des CMS.



tion importante dans le script en *Python* du portier connecté : à la ligne 45, il faut supprimer le caractère « # » avant « *port.open* » ! Il y a un certain temps que notre prototype est prêt, et lorsque nous avons refait toute l'installation à partir de la dernière version de *Raspbian* en vue de cet article, le script nous a renvoyé le message d'erreur « *Port already open* » à la ligne 45. Il semble qu'avec la dernière version du logiciel la commande « *open* » soit superflue.

### Connexion du matériel

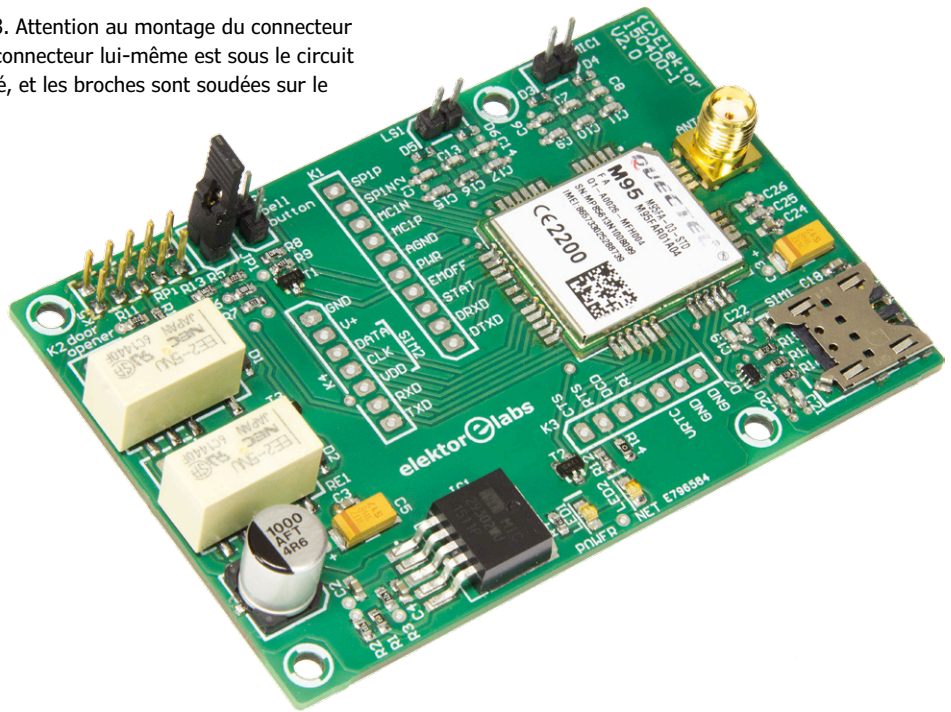
Le Raspberry Pi est fin prêt, mais il reste encore pas mal de liaisons à établir avant de pouvoir passer à la phase de test. Le plus simple est de commencer par la caméra RPi, la limande (*Flex Flat Cable – FFC*) peut passer sous la carte HAT. Notre carte s'adapte parfaitement au RPi. Il faut à nouveau vérifier que les entretoises sont de longueur suffisante, et qu'il n'y a aucun contact entre le dessous de notre circuit imprimé – surtout les soudures du connecteur d'antenne – et les prises USB. On peut ensuite assembler les deux cartes avec boulons et écrous (**fig.4**).

Connectez ensuite un bouton-poussoir à S1 pour faire office de bouton de sonnette, et placez le cavalier sur JP1. Raccordez le microphone à MIC1, le haut-parleur à LS1, et l'antenne à ANT1. Il nous faut encore insérer une carte micro-SIM dans SIM1, mais ne courez pas tout de suite en acheter une...

### Carte SIM et MMS

Le module GSM M95 ne fonctionnera qu'avec une carte SIM sur laquelle il y a suffisamment de crédit (ou un abonnement, bien sûr). Nous avons utilisé deux cartes SIM prépayées différentes, et un avertissement s'impose : comparez bien avant votre achat ! Les MMS sont apparemment peu utilisés, et les opérateurs ne mentionnent donc pas clairement les tarifs de ce service. D'après nos recherches, le coût d'un MMS est fixe chez la plupart des opérateurs, pour autant que l'annexe, une photo au format JPEG dans notre cas, ne dépasse pas 300 Ko. La taille de ce fichier est également importante dans notre application, puisqu'elle conditionnera le temps de transmission du message. Si vous mettez trop de temps à répondre au coup de sonnette, il y a des chances que votre visiteur n'attende pas ! Au labo, il fallait

Figure 3. Attention au montage du connecteur K5 ; le connecteur lui-même est sous le circuit imprimé, et les broches sont soudées sur le dessus.



entre 20 et 30 s pour recevoir le message sur l'ordiphone, auxquelles il faut encore ajouter le temps de réaction. Conclusion : le système n'aura guère d'utilité avec des visiteurs pressés...

### Script en Python et test initial

Après avoir configuré le RPi et installé les bibliothèques *Python*, nous sommes prêts à exécuter le script de gestion de l'interphone. Ce script en *Python* est téléchargeable en [4] : « *MMSautoSend.py* » ; il faut aussi le reconfigurer avant de pouvoir passer aux tests. Il est préférable

de connecter un moniteur, un clavier, et éventuellement une souris pendant cette phase, cela facilitera le travail ; nous n'aurons plus besoin de ces accessoires par la suite.

Au début du script, quelques constantes sont définies, il faut les modifier.

- « *ThisNumber* » : numéro d'appel de la carte SIM du M95.
- « *ThatNumber* » : numéro d'appel de l'ordiphone vers lequel le MMS est envoyé.

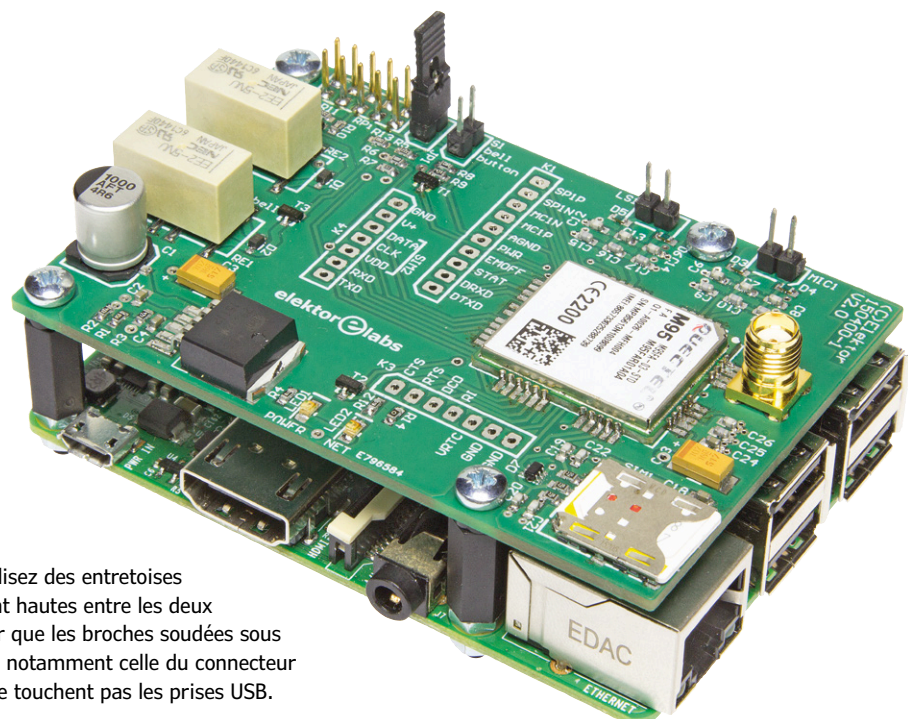


Figure 4. Utilisez des entretoises suffisamment hautes entre les deux circuits, pour que les broches soudées sous la carte HAT, notamment celle du connecteur d'antenne, ne touchent pas les prises USB.

## ▶ le son et l'image, identifiez votre visiteur avant de lui parler

Données relatives à l'opérateur de la carte SIM du M95 pour l'emploi du service MMS :

- **APN** : Access Point Name
- **MMSC** : Multimedia Messaging Service Centre
- **MMSproxy** : Multimedia Messaging Service proxy server
- **MMSport** : Multimedia Messaging Service port number

Vous trouverez ces données sur le site de l'opérateur. Dans le script original, nous avons repris les données des deux opérateurs néerlandais avec les cartes SIM desquels nous avons effectué les tests au labo.

Nous sommes maintenant fin prêts pour le test initial. Ouvrez une fenêtre de terminal RPi, et tapez la commande `sudo su` ; c'est nécessaire pour obtenir les droits d'accès à la bibliothèque Python du bus GPIO, autrement dit pour pouvoir gérer les entrées/sorties du RPi. Nous démarrons ensuite le script avec

```
python MMSautoSend.py.
```

Le script est simple à comprendre. Le RPi envoie des commandes AT au module GSM, suivies à chaque fois de « *time.sleep* », pour laisser le temps au M95 d'exécuter les commandes. Il y a d'abord quelques configurations, dont les paramètres pour la caméra, la sensibilité du microphone et le volume du haut-parleur ; vous pourrez les modifier plus tard en fonction de l'environnement de l'interphone.

Nous avons désactivé la saisie du code PIN des cartes SIM utilisées, pour plus de facilité ; il suffit d'insérer les cartes dans un téléphone mobile et de supprimer la protection par code PIN. Si vous

souhaitez conserver le code PIN, il y a dans le script un bloc de quatre lignes (en commentaires) qui permettent d'entrer le code de la carte utilisée. Il faudra aussi supprimer le « # » devant « *port.write* » et « *time.sleep* ».

Ensuite le script entre dans une boucle sans fin, que l'on interrompra par une pression sur les touches « CTRL+C » pour quitter le script. En fonctionnement normal, le RPi vérifie en permanence si la sonnette est actionnée, ou si un SMS est reçu pour l'ouverture de la porte.

Lors de la réception d'un SMS, le script vérifie d'abord le numéro appelant ; si ce numéro est correct (« *ThatNumber* »), le contenu est ensuite comparé au mot de passe qui a été entré comme constante « *Very\_Secret* ». Si c'est le cas, le relais RE2 est excité durant une seconde ; cette durée peut être modifiée dans le script si nécessaire.

Mais n'oublions pas qu'une autre action conditionne la réception du SMS : il faut qu'un visiteur ait sonné à la porte ! Le RPi prend alors une photo, prépare un MMS, et l'envoie à votre ordiphone. En sus de la

photo, un petit texte est aussi transmis, avec entre autres le numéro d'appel de l'interphone dans un lien hypertexte. À vous de décider si vous voulez parler au visiteur, en utilisant le lien hypertexte ; le M95 répondra automatiquement à l'appel, et vous mettra en communication avec ce visiteur. Dès que la conversation est terminée, le M95 « replace le combiné sur son support », et se met en attente d'un SMS ou d'une nouvelle pression sur le bouton de la sonnette.

### Montage

Les aspects mécaniques du montage final constituent sans doute le plus grand défi de ce projet. L'idéal – et sans doute le plus sûr – est de ne mettre à l'extérieur que le microphone, le haut-parleur et la caméra ; le reste de l'électronique sera placé à l'abri à l'intérieur. La caméra peut aussi effectuer ses prises de vue à travers une fenêtre ou un vasistas.

Comme nous l'avons mentionné, quelques paramètres de la caméra peuvent être modifiés dans le script. L'orientation et la luminosité seront adaptées en fonction de l'environnement. La résolution sera la plus basse possible, afin de minimiser la taille du fichier JPEG – et donc le temps de transmission. Pendant les essais, mettez l'envoi de MMS hors service dans le script, vous économiserez de l'argent ; vous pouvez juger de la qualité de la photo en ouvrant le fichier « *test1.jpg* » stocké dans le RPi. ◀

(150400 – version française : Jean-Louis Mehren)



### Liens

- [1] [www.elektormagazine.fr/labs/gsm-breakout-board-150330](http://www.elektormagazine.fr/labs/gsm-breakout-board-150330)
- [2] [www.quectel.com/UploadImage/Download/M95\\_Hardware\\_Design\\_V1.3.pdf](http://www.quectel.com/UploadImage/Download/M95_Hardware_Design_V1.3.pdf)
- [3] [www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/](http://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/)
- [4] [www.elektor.fr/150400](http://www.elektor.fr/150400)

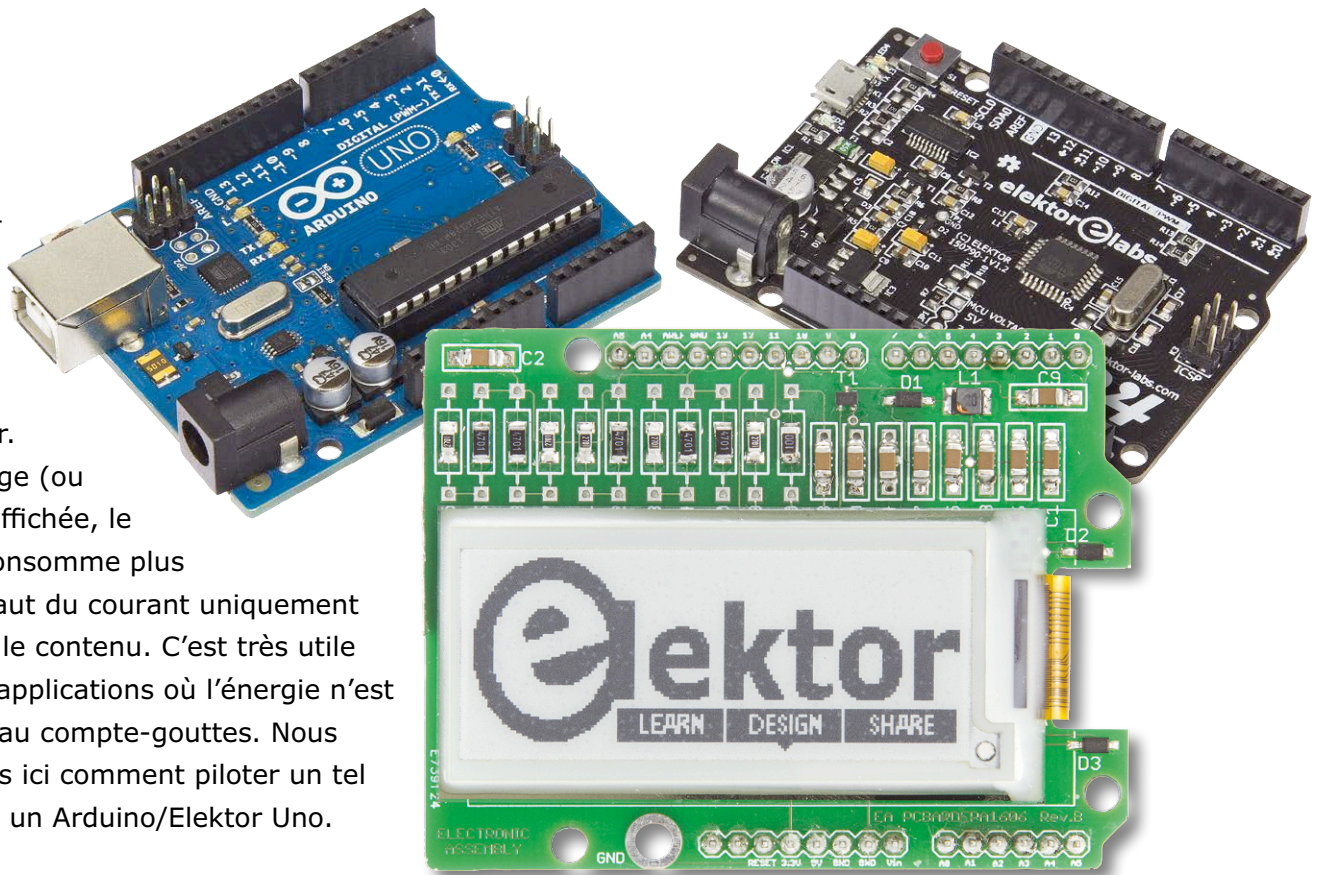


# papier électronique et Arduino

## EPA20-A piloté par un croquis Arduino

### Labo d'Elektor

Le papier électronique – ou *e-paper* – est un système d'affichage très particulier. Dès que l'image (ou le texte) est affichée, le système ne consomme plus d'énergie. Il faut du courant uniquement pour modifier le contenu. C'est très utile dans le cas d'applications où l'énergie n'est disponible qu'au compte-gouttes. Nous vous montrons ici comment piloter un tel afficheur avec un Arduino/Elektor Uno.



Comme papier électronique, nous avons choisi l'EPA20-A d'Electronic Assembly [1]. Sa résolution est de 172×72 pixels et il fonctionne avec une tension d'alimentation de 3,3 V. Nota : en règle générale, le papier électronique ne possède pas de rétroéclairage, comme le « vrai » papier, mais il reste parfaitement lisible en plein soleil.

### Liste de courses

Entrons dans le vif du sujet et intéressons-nous au fonctionnement de l'afficheur. Les bibliothèques Arduino nécessaires sont disponibles gratuitement sur [2]. Téléchargez le fichier [Arduino meets EA EPA20-A.zip](#) et décompressez-le. Le dossier créé lors de cette opération [Arduino meets EA EPA20-A](#) comporte trois sous-dossiers. Dans le dossier [Arduino Library](#), on trouve le dossier

[EPA20\\_A](#) ; copiez-le dans le dossier des bibliothèques de l'environnement de développement de l'Arduino (téléchargeable gratuitement en [3]).

L'affichage d'une image requiert la création d'un fichier d'en-tête (*header*). Pour cela, on utilisera le programme [BitMapEdit](#) inclus dans le paquet [EA LCD-Tools](#) (gratuit en [4]).

### Le schéma

La **figure 1** montre le schéma du *shield* pour Arduino. Le couple T1/L1 est le cœur d'un *booster* qui produit, à partir de la tension d'alimentation de 3,3 V, la tension de service requise par le papier électronique et pilotée par le contrôleur intégré à l'afficheur.

Les diviseurs de tension constitués par R1 à R10 ramènent à des valeurs inférieures les signaux 5 V issus de l'Arduino.

L'ensemble du circuit est alimenté avec la tension de 3,3 V délivrée par l'Arduino.

### Au travail

Pour initialiser les fonctions des bibliothèques que nous avons ajoutées, il faut les définir : ajoutez la ligne `epa20 EPA20;` avant la ligne `void setup()` du croquis Arduino. Ensuite vous pouvez initialiser l'écran dans `void setup()` avec `EPA20.initialize(byte p_cs, byte p_si, byte p_so, byte p_clk, byte p_a0, byte p_res);`

Le *shield* connaît deux paramétrages : SPI matériel ou SPI logiciel. Nous optons ici pour SPI matériel, ce que nous faisons avec `EPA20.initialize(10,0,0,0,9,8)`. L'initialisation faite, il est bon d'exécuter `EPA20.clear()`, fonction qui vide le tampon de l'écran, également utilisée avant



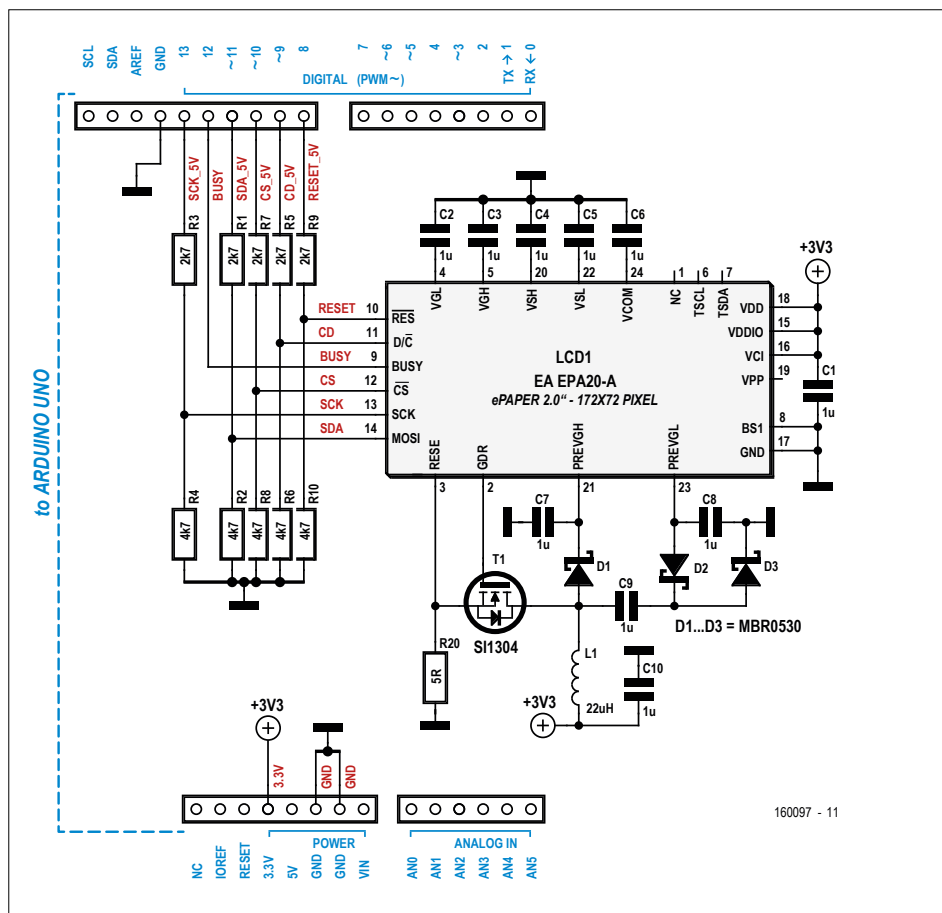


Figure 1. Le schéma du *shield* Arduino est relativement simple.

de « composer » un nouvel écran. Nous utilisons les fonctions `EPA20.string()`, `EPA20.rectangle` et/ou `EPA20.picture` pour afficher un contenu à l'écran. Toutefois il faut toujours ajouter l'instruction `EPA20.update()`, sinon il n'y aura pas de changement. La résolution de l'écran est, nous le disions,

de 172×72 pixels. Les coordonnées ne peuvent donc pas être supérieures à ces valeurs. On démarre tout en bas à gauche (pixel 0,0 pour arriver tout en haut à droite au pixel 171,71).

### Hello World

L'instruction `EPA20.string()` permet

d'afficher un texte ; son format est le suivant :

```
EPA20.string(byte x, byte y,
              const byte *font_address, const
              char *str, byte fg_color, byte
              bg_color)
```

où

- **Byte x** : coordonnée x,
- **Byte y** : coordonnée y,
- **Const byte \*font\_address** : police (font\_6x8, font\_8x8, font\_8x16 ou font\_16x32nums),
- **Const char \*str** : texte à afficher,
- **Byte fg\_color** : couleur du texte (BLACK, WHITE, GRAY1 ou GRAY2),
- **Byte bg\_color** : couleur de l'arrière-plan (BLACK, WHITE, GRAY1 ou GRAY2).

Par exemple : `EPA20.string(0, 0, font_8x16, "Hello world", BLACK, WHITE);`

La commande `EPA20.rectangle()` crée un rectangle avec un cadre. Elle requiert six variables :

```
EPA20.rectangle(byte xs, byte
                 ys, byte xe, byte ye, byte
                 outline, byte filling);
```

où

- **Byte xs** : position de départ de la coordonnée x,
- **Byte ys** : position de départ de la coordonnée y,
- **Byte xe** : position de fin de la coordonnée x,
- **Byte ye** : position de fin de la coordonnée y,
- **Byte outline** : couleur du cadre (BLACK, WHITE, GRAY1 ou GRAY2),
- **Byte filling** : couleur de l'intérieur du rectangle (BLACK, WHITE, GRAY1 ou GRAY2).

Par exemple : `EPA20.rectangle(0, 0, 10, 10, BLACK, GRAY2);`

### Affichage de graphiques

La commande `EPA20.picture()` dessine un graphique de 172×72 pixels. Sa structure complète est :

```
EPA20.picture(byte x, byte y,
               const byte *pic_adress, byte
               fg_color, byte bg_color);
```

où

- **Byte x** : position de départ de la coordonnée x,
- **Byte y** : position de départ de la

## Liste des composants

### Résistances :

R1,R3,R5,R7,R9 = 2,7 kΩ  
R2,R4,R6,R8,R10 = 4,7 kΩ  
R20 = 5 Ω

### Condensateurs :

C1 à C10=1 μF, 50 V, 1206

### Bobines :

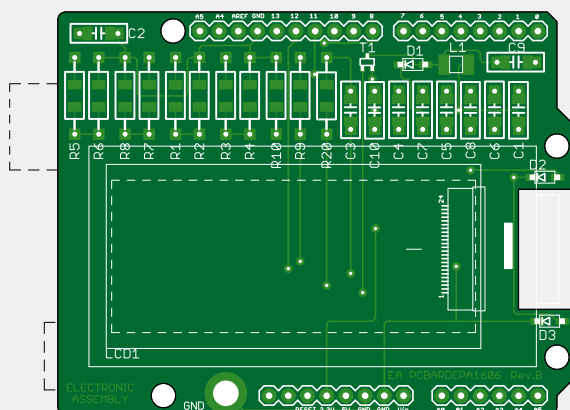
L1 = 22 μH, 0,25 A, CMS 1210

### Semi-conducteurs :

D1 à D3 = MBR0530  
T1 = SI1304

### Divers :

J1 = WF050-24T  
Écran = EPA20-A  
Embases 1×10, 1×8 (2), 1×6, au pas de 2,54 mm



- coordonnée y,
- `Const byte *pic_address` : nom de l'image,
- `Byte fg_color` : couleur du premier plan,
- `Byte bg_color` : couleur de l'arrière-plan.

Pour afficher une image, il faut qu'auparavant le fichier ait été converti en fichier d'en-tête, par ex. avec le programme [BitMapEdit](#). Ce dernier permet de créer un dessin, mais aussi d'en importer un. La taille du dessin se limite à celle de l'écran, soit 172×72 pixels. La profondeur de couleur du dessin doit être noir et blanc (cf. *Bitmap->colordepth->black and white (1bit)*). Si toutes les conditions sont remplies, vous pouvez exporter le dessin en cliquant sur *File->Export*. Allez dans le dossier où se trouve le croquis Arduino, assurez-vous que le type d'enregistrement (*save as*) est paramétré sur « *C Header File vertical BLV (\*.h)* » et enregistrez le fichier.

Ouvrez ensuite le fichier d'en-tête de l'image exportée avec un éditeur de texte comme Notepad ou Notepad++.

Ce fichier contient une ligne du genre : `unsigned char Image_example[Image_example_LEN] =`, où `example` est le nom du dessin. Il faut ajouter ici `__attribute__((section(".progmem.data")))` avant le caractère « = » et après le dernier caractère « ] ». On aura donc :

```
unsigned char Image_
example[Image_example_LEN]
__attribute__((section(".
progmem.data")))=
```

Il faut ensuite ajouter `#include "example.h"` au croquis Arduino sachant que `example` est le nom du fichier de l'image. Et si cette image est utilisée avec la fonction `EPA20.picture()`, il faut ajouter « `Image_` » devant le nom (`example` devient alors `Image_example`).

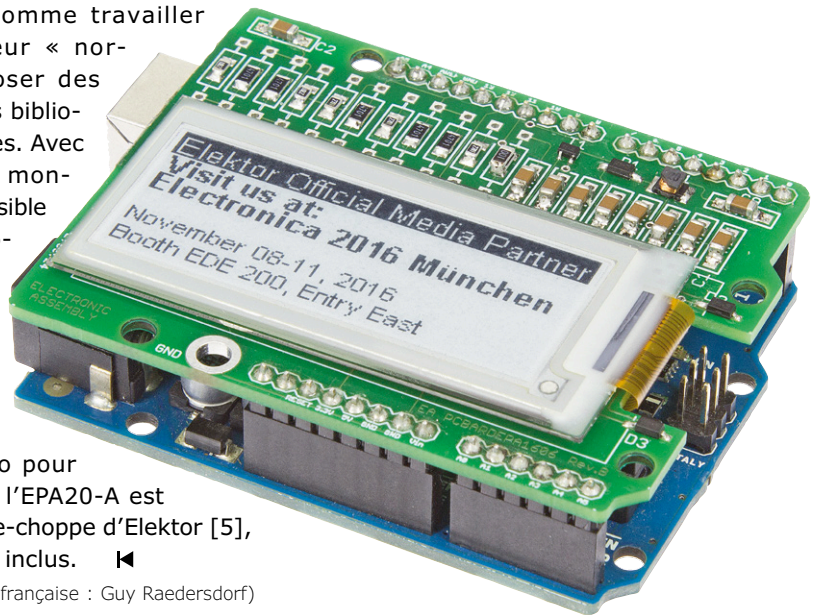
Nous pouvons maintenant visualiser une image avec une instruction comme :

```
EPA20.picture(0, 0, Image_example,
black, white);
```

Le **listage 1** montre un exemple de croquis Arduino qui permet d'afficher une image.

## Conclusion

Travailler avec le papier électronique requiert, tout comme travailler avec un afficheur « normal », de disposer des bons outils et des bibliothèques adéquates. Avec l'EPA20-A, nous montrons qu'il est possible de doter vos projets Arduino d'un afficheur hors du commun.



Le *shield* Arduino pour la commande de l'EPA20-A est disponible dans l'e-choppe d'Elektor [5], afficheur *e-paper* inclus. ◀

(160097 - version française : Guy Raedersdorf)

### Listage 1. Exemple de croquis Arduino pour afficher une image.

```
#include <Arduino.h>
#include <SPI.h>
#include <epa20.h>
#include <logo_ea.h>
#include <font_6x8.h>
#include <font_8x8.h>
#include <font_8x16.h>
#include <font_16x32nums.h>
#include "example.h"

epa20 EPA20;

void setup()
{
    EPA20.initialize(10,0,0,0,9,8); // initialise l'écran
    EPA20.clear();
}

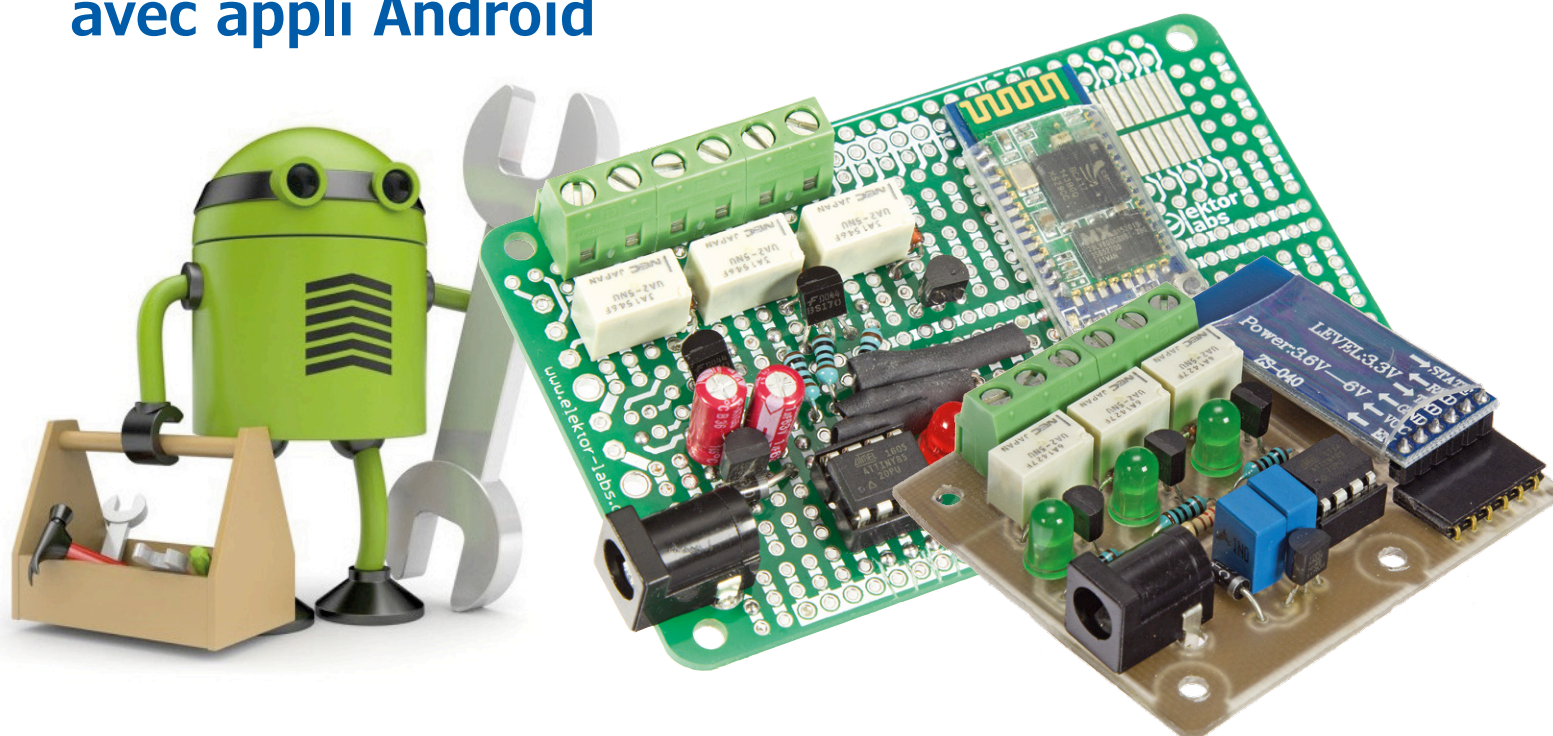
void loop()
{
    EPA20.clear(); // vide l'écran
    EPA20.picture(0,0,Image_example,BLACK,WHITE);
    EPA20.update(); // met à jour l'écran
}
```

### Liens

- [1] Fiche de caractéristiques du EPA20-A : [www.lcd-module.com/fileadmin/eng/pdf/grafik/epa20-ae.pdf](http://www.lcd-module.com/fileadmin/eng/pdf/grafik/epa20-ae.pdf)
- [2] Bibliothèques : [www.lcd-module.com/support/application-note/arduino-meets-epa-epaper.html?no\\_cache=1&sword\\_list%5B0%5D=arduino](http://www.lcd-module.com/support/application-note/arduino-meets-epa-epaper.html?no_cache=1&sword_list%5B0%5D=arduino)
- [3] Environnement de développement Arduino : [www.arduino.cc/en/Main/Software](http://www.arduino.cc/en/Main/Software)
- [4] BitMapEdit : [www.lcd-module.com/support/driver-tools.html](http://www.lcd-module.com/support/driver-tools.html)
- [5] [www.elektormagazine.fr/160097](http://www.elektormagazine.fr/160097)

# relais Bluetooth

## avec appli Android



Un de mes collègues avait besoin d'une télécommande simple pour ses trois portes de garage (!) et m'a prié de l'aider. J'ai alors eu l'idée de développer un système de commande avec des relais, lui-même piloté par une appli Android via Bluetooth.

**Roy Aarts** (labo d'Elektor)

J'avais envisagé un module Bluetooth HC-06 pour l'interface de commutation. De fait ce module un peu daté a fait toutes ses preuves, mais n'est certainement pas le dernier cri de la technologie et encore moins un module *Bluetooth Low Energy*. Je pouvais évidemment contre-carrer les critiques de mes vénérables et expérimentés collègues en précisant que les modules BLE n'étaient supportés qu'à partir de la version 4.3 d'Android, et que l'on pouvait donc également utiliser un ordiphone âgé. De plus une version *Low Energy* ne s'impose pas dans un garage, car l'alimentation du circuit peut se faire simplement en utilisant une alimentation secteur.

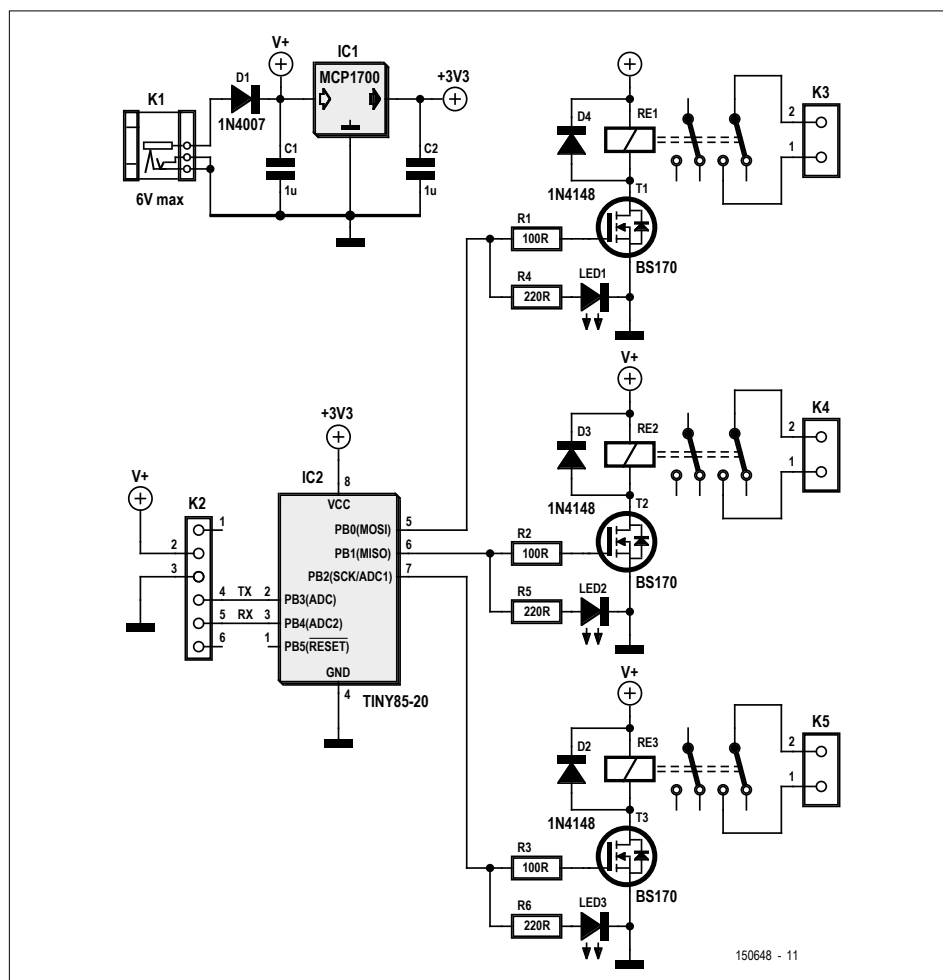


Figure 1. La partie commutation du relais Bluetooth (le module Bluetooth n'apparaît pas ici).



Le circuit en **figure 1** n'est pas particulièrement compliqué. Venons-en au tiny : trois étages identiques de relais sont reliés à ce microcontrôleur à huit pattes. Une broche d'E/S du microcontrôleur commande la porte d'un MOSFET via une petite résistance. Le MOSFET BS170 est une vieille connaissance puisqu'il est souvent utilisé pour permettre à une sortie de  $\mu C$  de commander un relais.

Comme la commande du transistor ne nécessite presque pas de courant, on peut se permettre d'insérer en parallèle de la porte une LED (verte) qui indique l'état du relais. Comme la chute de tension aux bornes d'une LED verte se situe entre 1,9 et 2,5 V, le courant est, dans le pire des cas, de 9 mA, ce que le microcontrôleur est capable de débiter même si les trois sorties sont actionnées simultanément. S'agissant de RE1 à RE3, ce sont des relais compacts à deux contacts inverseurs, nous n'utilisons que l'un des deux. La puissance de commutation est limitée à 30 W, soit 37,5 VA, ce qui correspond à un courant de coupure de 1 A. Le « 5 » dans la référence du composant (UA2-5NU) correspond à une valeur nominale de 5 V CC pour la tension de bobine.

**Attention : ce projet ainsi que son circuit imprimé ne sont pas conçus pour commuter la tension du secteur !**

Comme le module Bluetooth (Rx et Tx) nécessite une tension d'alimentation de 3,3 V, j'ai choisi cette valeur pour l'ensemble du circuit. Le régulateur à faible tension de déchet MCP1700-3302 de Microchip est particulièrement bien adapté à ce circuit. Il fournit un courant maximal de 250 mA et grâce à son « faible déchet » ne perd qu'un 1 V, si bien qu'une tension d'entrée sur K1 de 5,0 V suffit (0,7 V est perdu aux bornes de D1, diode de protection contre l'inversion de polarité). Par contre la tension d'entrée du régulateur ne doit pas dépasser 6,0 V ! On pourrait être tenté d'utiliser un concentrateur USB comme source de tension...

Le module Bluetooth-Modul HC-06 (**fig. 2**) qui n'est pas dessiné sur le schéma est connecté à K2. Outre la tension d'alimentation, seules les lignes de données TxD et RXD sont reliées au  $\mu C$ . Il apparaît donc que cinq ports d'E/S de l'ATtiny85 sont utilisés, un seul reste libre.

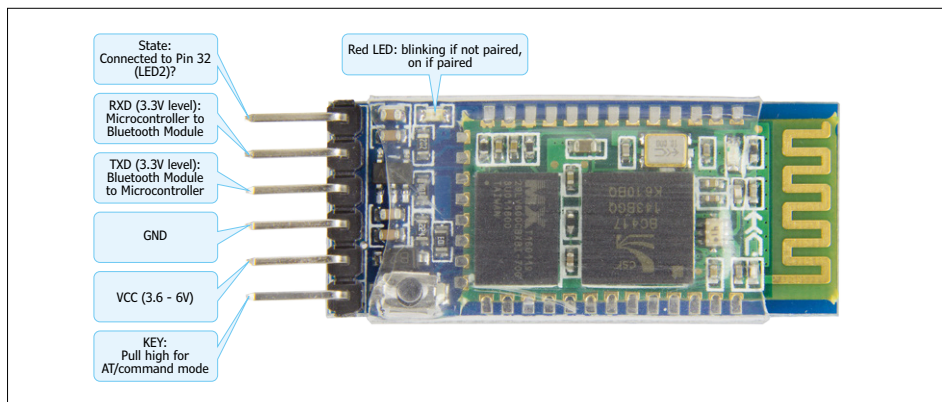


Figure 2. Le module Bluetooth avec son connecteur sur le côté étroit du circuit imprimé.

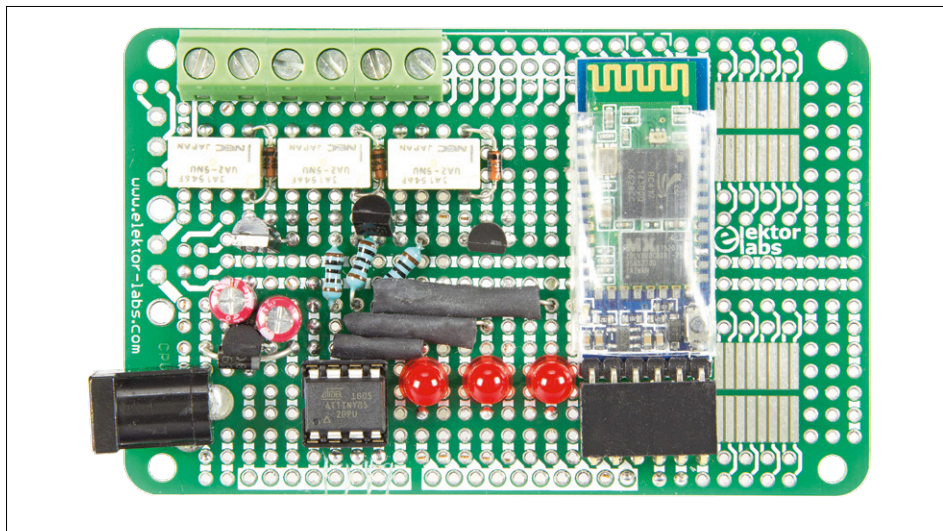


Figure 3. Le relais Bluetooth sur une carte de prototypage ELPB-NG (la photo montre un prototype ; le circuit a été modifié ultérieurement).

### Assemblage et mise en service

Afin d'éviter le travail et les coûts qu'engendre la réalisation d'un circuit imprimé, j'ai rapidement assemblé le circuit de commande de relais par Bluetooth sur une carte de prototypage Elektor Labs (**fig 3**). La carte ELPB-NG a déjà été décrite précédemment dans Elektor et vous avez peut-être réalisé l'un ou l'autre prototype avec elle. La photo en tête d'article montre le premier résultat, qui de toute évidence ne remportera pas un prix de beauté (il utilise encore des LED rouges à la place des vertes).

Mais mes collègues du laboratoire d'Elektor (vous vous rappelez, ces vénérables et expérimentés collègues) ont trouvé le résultat si probant, qu'il a été décidé d'offrir au relais Bluetooth un « support convenable » sur lequel le montage fera meilleure impression, comme le montre le circuit imprimé de la **figure 4** (je rap-

pelle une fois de plus qu'il ne faut pas commuter de tension du secteur).

Pour utiliser le relais Bluetooth, il faut au préalable installer l'appli Android que j'ai développée avec l'environnement de développement Android Studio. Vous trouverez l'appli dans le Google Play Store (recherchez *Elektor Bluetooth-Relais*). Ensuite, associez votre téléphone avec la carte à relais. Pour ce faire, allez dans les paramètres Bluetooth et recherchez les appareils autour de vous. La carte à relais devrait apparaître sous « HC-06 ». Le code par défaut est 1234. Maintenant la carte à relais devrait réagir aux commandes de l'appli.

Dans l'appli, cliquez sur les trois points dans le coin supérieur droit et appuyez sur « Connect ». Dans la liste des appareils associés, choisissez la carte à relais HC-06. Quand votre téléphone est correctement connecté, la croix rouge à côté

## Liste des composants

### Résistances :

R1 à R3 = 100  $\Omega$   
R4 à R6 = 220  $\Omega$

### Condensateurs :

C1, C2 = 1  $\mu$ F, au pas de 5,08 mm

### Semi-conducteurs :

D1 = 1N4007  
D2 à D4 = 1N4148  
LED1 à LED3 = LED, 5 mm, verte  
T1 à T3 = BS170  
IC1 = MCP1700-3302E/TO (Microchip)  
IC2 = ATtiny85-20PU,  $\mu$ C programmé  
réf. 150648-41 [1]

### Divers :

RE1 à RE3 = relais 5 V pour 230 V CA, 1 A 5 (UA2-5NU d'IMO Precision Controls)  
K1 = connecteur basse tension, embase femelle, 2,5 mm  
K2 = embase à 1x6 picots  
K3 à K5 = bornier encartable, 1x2 picots, au pas de 5 mm  
Module Bluetooth HC-06 (JY-MCU V1.5)  
Circuit imprimé (réf. 150648-1) ou carte de prototypage ELPB-NG (réf. 150180-1)  
Micrologiciel réf. 150648-11 [1]  
Appli Android téléchargeable gratuitement dans le Google Play Store [2]

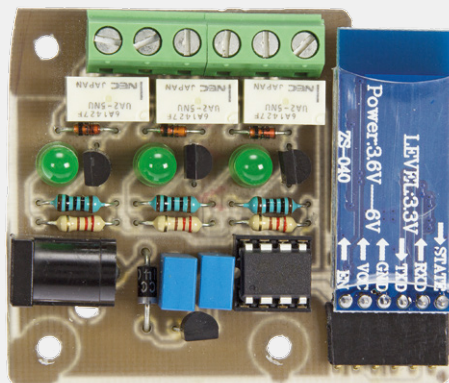
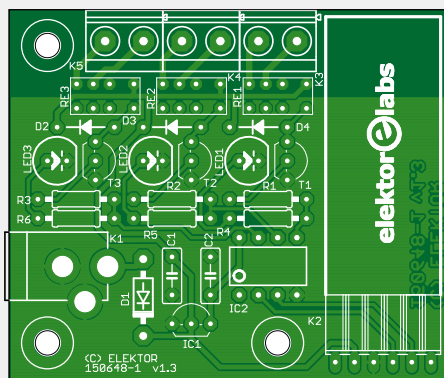


Figure 4. Le relais Bluetooth sur son circuit imprimé (la photo montre le prototype et le schéma d'implantation de la version finale).

**Le circuit imprimé n'est pas prévu pour commuter la tension du secteur !**

se fait dans la page « Settings » accessible via les trois points dans le coin supérieur droit.

## Logiciel du microcontrôleur et de l'ordiphone

Le microcontrôleur a besoin d'un micrologiciel, l'ordiphone d'une appli. Vous trouverez pour les deux le code source sur la page du projet [1]. Un microcontrôleur préprogrammé est également disponible dans l'e-choppe d'Elektor.

Le **code pour l'ATtiny** a été développé en C++ dans l'EDI Arduino. À la mise sous tension du circuit, le micrologiciel initialise les sorties et démarre la communication série avec le module Bluetooth. Une boucle surveille en permanence si des données arrivent. Dès que quelque chose se présente, la lecture continue jusqu'à réception d'un retour à la ligne (LF). Le programme sait à ce moment que les données reçues sont complètes. Afin de connaître la signification des données, il prend en compte le premier caractère et choisit la fonction à effectuer (instruction de type *switch case*). Dans tous les cas, le programme examine les données qui suivent le premier caractère. Les différents cas et la signification des caractères sont décrits dans le **tableau 1**.

Le caractère « t » détermine si une sortie doit simplement être commutée (activée/désactivée) ou être utilisée en mode impulsionnel. Ce comportement est mémorisé dans les trois premiers bits de la variable « states » ; dans les trois bits suivants se trouve l'état actuel des trois sorties. Par ex. le premier bit est à l'état haut quand la sortie 1 doit être commutée. Le quatrième bit est alors inversé et appliqué à la sortie.

En mode impulsionnel, le premier bit est à l'état bas. Le quatrième bit est alors

des trois points se transforme en coche verte. Vous pouvez maintenant commander les relais à l'aide des touches. Chaque relais peut être activé ou désactivé avec l'ordiphone, mais également être utilisé en mode « impulsions ». Dans ce mode, on peut paramétrer la durée des impulsions entre 0,1 s et 5 s, par pas de 0,1 s. La case à cocher à côté de chaque touche indique si la touche en question active/désactive le relais ou si elle est en mode impulsionnel (mode *toggle*). Pour être en mode impulsionnel,

il faut décocher la case correspondante. Une impulsion peut être une impulsion d'activation ON ou de désactivation OFF selon l'état dans lequel se trouvait le relais avant que l'on décoche la case et de fait que l'on passe en mode impulsionnel. La couleur du bouton indique l'état du relais. Gris : le relais est au repos ; vert : il est excité.

Différents paramètres sont modifiables : la durée d'impulsion de 0,1 s à 5 s, le nom du module ainsi que son code. Ceci

**Tableau 1. Liste des commandes envoyées par l'appli et interprétées par le micrologiciel du contrôleur.**

commande	fonction	exemple
c	Est utilisé lorsque l'ordiphone vient de se connecter à la carte à relais. La carte envoie l'état des sorties, le mode ( <i>toggle</i> ) et la durée d'impulsion.	c
p	Modifie le code PIN du module Bluetooth.	p1234 (modifie le code PIN en 1234)
n	Modifie le nom du module Bluetooth.	nHC-06 (modifie le nom en HC-06)
t	Spécifie si une sortie doit être basculée ou pas.	t11 (la sortie 1 bascule) t20 (impulsion sur la sortie 2)
d	Modifie la durée d'impulsion ( <i>duration</i> ).	d1000 (programme la durée d'impulsion à 1 s=1000 ms)
b	Active une sortie.	b1 (active la sortie 1)



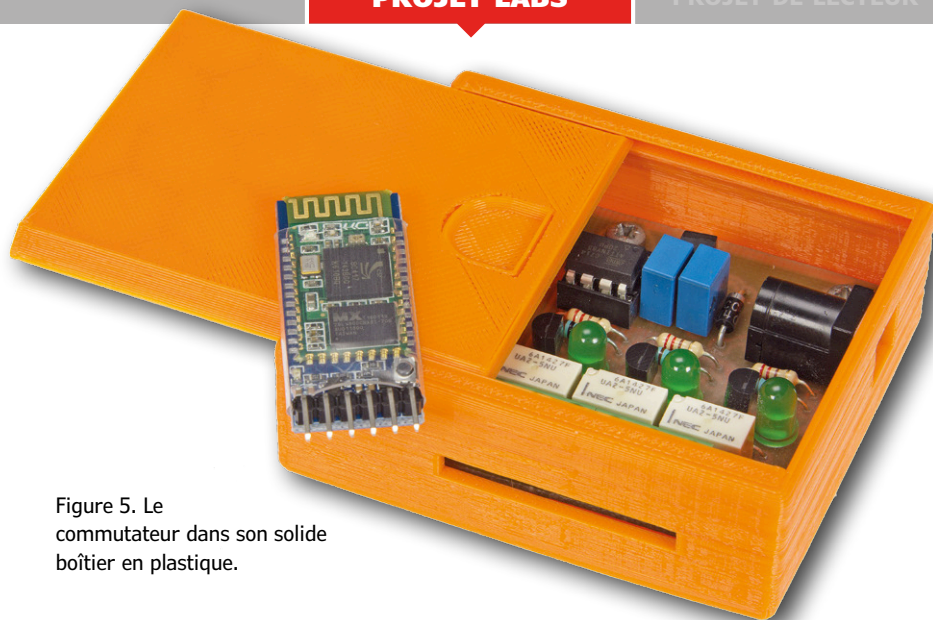


Figure 5. Le commutateur dans son solide boîtier en plastique.

inversé et également appliqué à la sortie. Toutefois deux autres variables sont prises en compte : un bit est mis à un dans « controllingOutputs » afin de préciser que la sortie est en mode impulsionnel, et la durée d'impulsion est mémorisée dans « pulseTime ».

Une autre fonction suit le temps qui s'écoule pendant l'impulsion, elle examine la variable « controllingOutputs ».

Si le bit est à un, la fonction consulte la durée d'impulsion déjà écoulée. Si celle-ci est supérieure à la durée d'impulsion programmée, alors la fonction commute la sortie à nouveau dans sa position initiale.

L'**appli pour ordiphone** a été développée dans Android Studio et écrite en Java. Avec cette appli, les sorties peuvent être réglées en mode commuté

(activé/désactivé) ou en mode impulsionnel. Pour commander la carte à relais, l'appli envoie un caractère suivi de données, le tout terminé par un retour à la ligne (LF = `\n`, voir le fichier de code source `MainActivity.java`).

En mode impulsionnel, on peut définir la durée d'impulsion. Le nom de la carte ainsi que son code PIN peuvent aussi être modifiés (`settings.java/MainActivity.java`). Pour utiliser la carte, il faut associer l'ordiphone au module Bluetooth. Ensuite l'appli permet de la choisir dans une liste d'appareils associés (`deviceList.java`) et de piloter le circuit. ◀

(150648 – version française : Patrick Bechler)

## Liens

- [1] Page du projet : [www.elektormagazine.fr/150648](http://www.elektormagazine.fr/150648)
- [2] Appli Android : <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.elektor.attinybluetoothio&hl=fr>

Publicité

#strongBEAD

*WE speed up  
the future*

# huge peak strong bead!



The WE-MPSB series is the world's first ferrite bead that specifies how it performs under high current transients. This unique bead protects and extends the life of your application. It features an ultra-low  $R_{DC}$  which delivers the lowest self-heating in its class at high currents. The WE-MPSB is ideal for DC/DC applications requiring high efficiency.

For more information, please visit  
[www.we-online.com/WE-MPSB](http://www.we-online.com/WE-MPSB)

- muscular peak current capability
- high rated currents
- ultra-low RDC to minimize unwanted losses
- effective broadband filtering

electronica Hall B6 Booth 404

Gold Sponsor **electronica Fast Forward Award**, powered by Elektor

Products in original size:



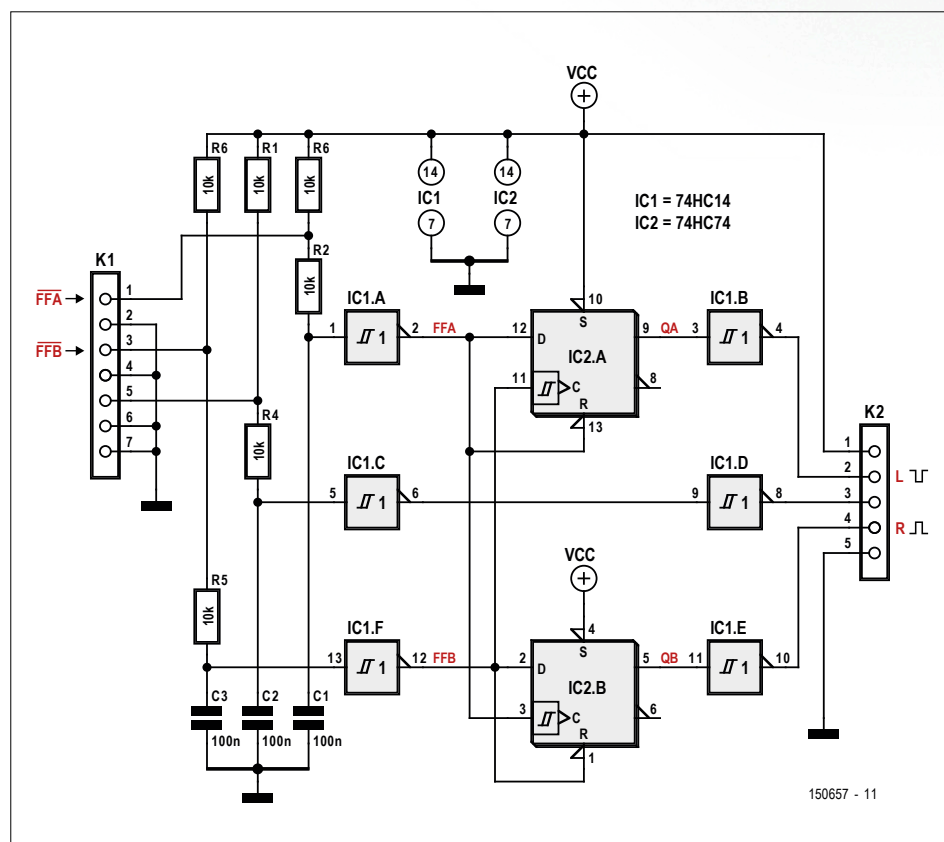
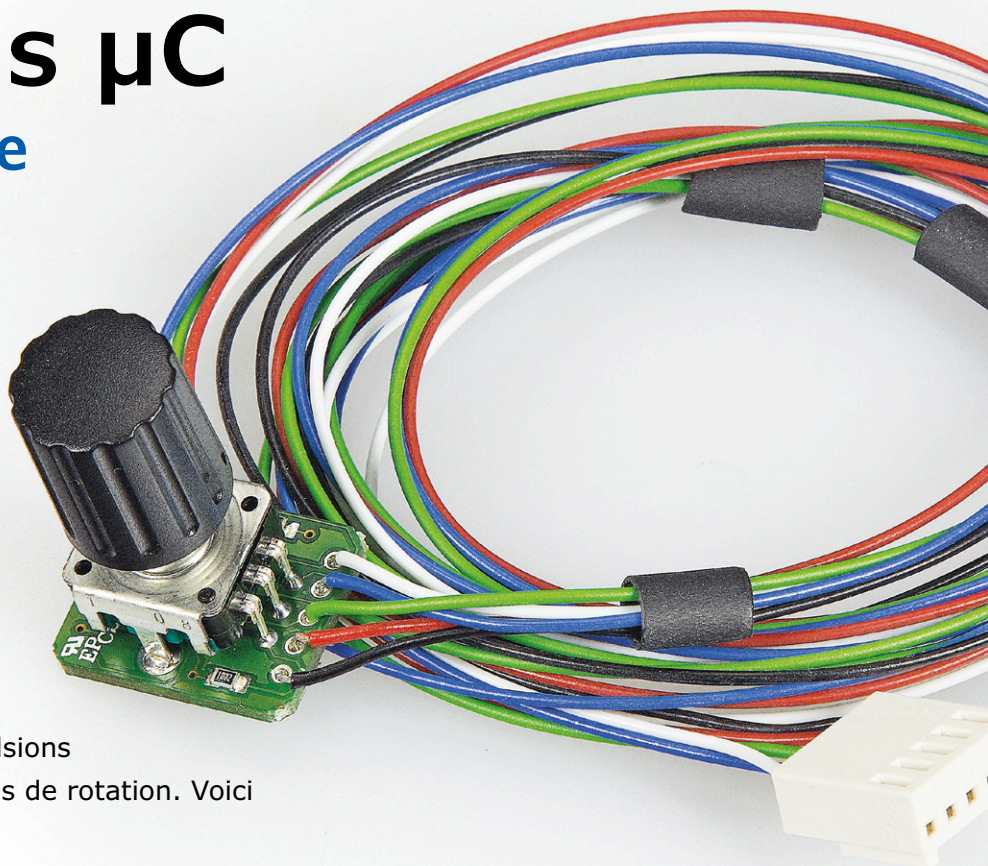


# interface pour encodeur rotatif sans $\mu C$

## simple et compacte

Mike Mittelhäuser (Allemagne)

Un encodeur rotatif incrémental est un composant électromécanique précieux dès lors qu'il faut un réglage manuel précis, tant en analogique qu'en numérique. La plupart des boutiques d'électronique en proposent pour 2 ou 3 €. Ce composant présente malheureusement un inconvénient : il est impossible de lire et d'exploiter directement les impulsions de sortie déphasées en fonction du sens de rotation. Voici une solution simple à ce problème.



Pour interpréter les impulsions que délivre un codeur rotatif, et déterminer le sens de rotation, on fait souvent appel à un microcontrôleur ( $\mu C$ ) et du logiciel. Ce n'est pas toujours pratique, ou bien cela complique trop l'utilisation d'un encodeur rotatif comme potentiomètre numérique. Un projet de simulateur de vol auquel œuvrait l'auteur nécessitait une implantation flexible de 20 à 50 encodeurs rotatifs pour des applications numériques et analogiques. Il lui fallait une solution simple et bon marché, peu encombrante, avec des sorties à *trigger* de Schmitt séparées (gauche/droite) ; enfin en cas de rotations rapides, les impulsions ne devaient pas se chevaucher.

### Principe de commutation

L'auteur a donc imaginé ce circuit utilisable derrière des encodeurs avec ou sans bouton-poussoir intégré. Ce montage convient à la plupart des encodeurs du marché, y compris ceux d'Alps.

Le circuit (**figure 1**) repose sur deux bascules bistables (*flipflop*) CMOS de type D d'un 74HC74, déclenchées par front montant avec prépositionnement

Figure 1. Le circuit de décodage d'encodeur rotatif repose sur une paire de circuits de la famille 74HC.

(**Set**) et effacement (**Reset**), et six inverseurs à *trigger* de Schmitt d'un 74HC14. L'encodeur est actif au niveau bas. Toutes les sorties de l'encodeur/entrées du circuit (celles du bouton-poussoir aussi) sont reliées, en série, au plus de la tension d'alimentation par deux résistances de 10 kΩ.

Les condensateurs C1 à C3 assurent le découplage des entrées. Le circuit produit des signaux sans rebond, actifs au niveau bas, avec une impulsion à front descendant de 7 ms et une impulsion à front montant de 14 ms.

Les inverseurs à *trigger* de Schmitt convertissent les impulsions à front descendant de l'encodeur en impulsions à front montant aux flancs raides pour déclencher la bascule de type D, sur un front montant. L'intervalle entre les impulsions successives est fixé à 10,5 ms pour éviter tout chevauchement.

La sortie de l'inverseur IC1.A attaque l'entrée D et l'entrée *Reset* de la première bascule (IC2.A). Le prépositionnement (S) est inutilisé et forcé à V<sub>CC</sub>. La sortie du premier inverseur attaque aussi l'entrée d'horloge de la seconde bascule.

La connexion de la sortie du second inverseur (IC1.F) est identique, à ceci près que les bascules IC2.A et IC2.B sont permutées. Voilà notre circuit.

Au repos, il ne se passe rien sur les sorties des bascules. Elles sont toutes les deux au niveau bas (les sorties sur K2 sont donc hautes). Si l'encodeur rotatif fait un pas, il fournit alors deux impulsions déphasées en fonction du sens de rotation. Voyons ce qui se passe en cas de rotation de l'encodeur vers la gauche.

### Rotation de l'encodeur

En cas de rotation vers la gauche, une impulsion (« FFA ») arrive dans le circuit par la ligne 1 de K1 (« FFA » de la **figure 2**) ; elle est suivie, après un quart de période, par une impulsion sur la ligne 3 (« FFB »). Cette première impulsion (active au niveau bas) (« FFA ») est inversée par IC1.A pour ensuite activer IC2.A (déblocage du *reset*). Comme il n'y a pas de signal d'horloge (pas d'impulsion sur la ligne 3 de K1 pour

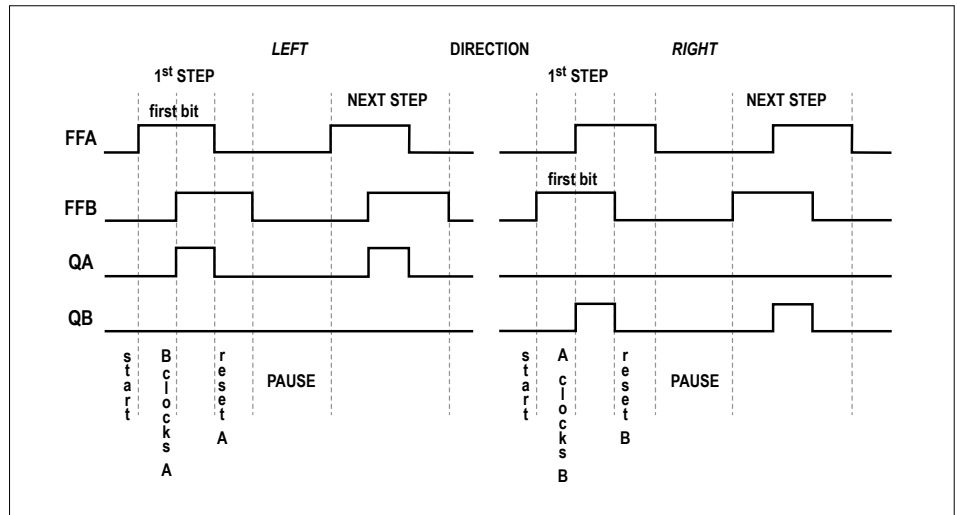


Figure 2. Le chronogramme montre comment l'électronique « traite » les deux sens de rotation.

l'instant), la sortie de IC2.A ne bascule pas encore au niveau haut et la sortie correspondante (active au niveau bas, broche 2 de K2) reste haute. IC2.B reçoit, elle, un signal d'horloge, sans effet sur la sortie d'IC2.B cependant, l'entrée D est au niveau bas.

Ensuite l'arrivée d'une impulsion (active au niveau bas) sur la ligne 3 de K1 fait passer la sortie d'IC1.F au niveau haut, IC2.A envoie alors le signal de son entrée D vers sa sortie. La ligne 2 de K2 est maintenant au niveau bas, ce qui indique une rotation vers la gauche. L'entrée D d'IC2.B est certes haute maintenant, mais comme que le signal à l'entrée d'horloge d'IC2.B était haut (et qu'il n'a pas *commuté* de bas vers haut), le signal n'est pas envoyé vers la sortie IC2.B et la ligne 4 de K2 reste haute.

Une fois l'impulsion sur la ligne 1 disparue (instant « reset A » de la figure 2), IC2.A est réinitialisé et la ligne 2 de K2 repasse au niveau haut. Il ne se passe rien non plus à la sortie d'IC2.B, puisque l'entrée d'horloge ne réagit qu'à un front montant.

La dernière étape du cycle est la disparition de l'impulsion sur la ligne 3 de K1 (« FFB »). Sur IC2.A, l'entrée d'horloge passe au niveau bas, sans que cela ne change la sortie (la réinitialisation était active). IC2.B est réinitialisé, mais comme

sa sortie était basse, rien ne change ici non plus.

Avec une rotation vers la droite, on a une séquence identique, à ceci près que c'est la sortie d'IC2.B qui change et que la sortie d'IC2.A reste basse.

### En conclusion

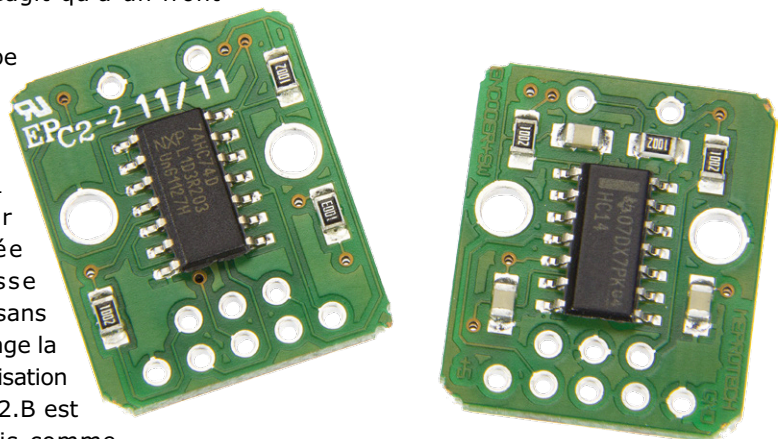
Nous remarquons que les impulsions à la sortie sont deux fois plus courtes que celles à l'entrée. La sortie du bouton-poussoir reste au niveau bas tant que l'on appuie sur le bouton. Le signal est simplement « tamponné » par deux inverseurs à *trigger* de Schmitt.

L'auteur propose des modules prêts à l'emploi (sans encodeur rotatif) [1]. ◀

(150657 – version française : Guy Raedersdorf)

### Lien

1. [mike.mes-engineering@web.de](mailto:mike.mes-engineering@web.de)







# bienvenue dans votre e-choppe

Elektor recommande



## TAPIR – détecteur d'électrosmog

TAPIR n'est pas seulement un *Totally Archaic but Practical Interceptor of Radiation* (intercepteur de radiations totalement archaïque, mais pratique), c'est aussi un projet facile et amusant à construire, qui sera peut-être l'occasion de souder vos premiers composants montés en surface. Aucune difficulté si vous suivez attentivement nos conseils ! Plus de 1000 kits déjà vendus, et ce sans aucune réclamation, alors lancez-vous !

Une fois l'assemblage terminé, vous aurez un détecteur d'électro-smog portatif, à la fois distrayant et instructif, pour détecter les champs électriques et magnétiques. Vous verrez (entendrez) que votre ordiphone ne dort pas vraiment et que votre ordinateur portable est bruyant. Ce détecteur sera aussi utile pour tester vos projets (professionnels), localiser les champs parasites et d'éventuels problèmes de CEM, ou débusquer l'appareil qui fausse vos mesures (HF).

Thijs Beckers  
rédacteur en chef Elektor (NL)

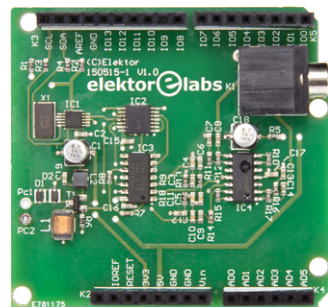
[www.elektor.fr/tapir](http://www.elektor.fr/tapir)



## Vos favoris :

### 1. SDR d'Elektor réinventé

[www.elektor.fr/sdr-reloaded](http://www.elektor.fr/sdr-reloaded)



### 2. DVD Elektor 2010-2014

[www.elektor.fr/dvd-elektor-2010-2014](http://www.elektor.fr/dvd-elektor-2010-2014)

### 3. Livre 36 Expériences de Physique avec Arduino

[www.elektor.fr/arduino-36-experiences](http://www.elektor.fr/arduino-36-experiences)

### 4. Elektor Uno R4

[www.elektor.fr/elektor-uno-r4](http://www.elektor.fr/elektor-uno-r4)

### 5. BBC Micro:bit

[www.elektor.fr/bbc-micro-bit](http://www.elektor.fr/bbc-micro-bit)

### 6. Livre Tuto Arduino Uno

[www.elektor.fr/tuto-arduino-uno](http://www.elektor.fr/tuto-arduino-uno)

## Domotique avec Zelio Logic



Le module programmable compact Zelio Logic avec douze entrées/sorties est une solution technique bon marché et facile à mettre en œuvre, dans un logement, pour automatiser l'éclairage, piloter le chauffage, optimiser la consommation d'électricité ou encore pour se protéger contre les intrusions. Ce livre montre comment exploiter Zelio Logic avec son outil de programmation graphique en LADDER ou FBD (logiciel pour PC Zelio Soft 2).



Prix (membres) : 41,85 €

[www.elektor.fr/domo-zelio](http://www.elektor.fr/domo-zelio)

## DVD Elektor 1990-1999



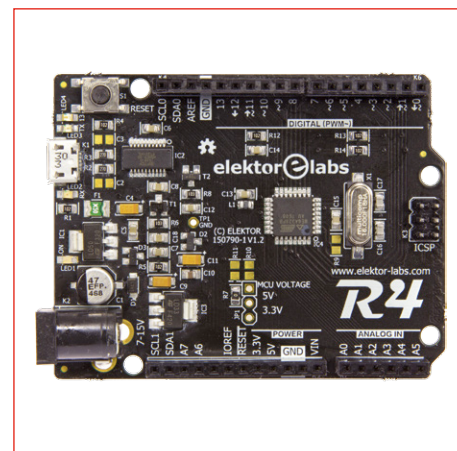
Ce DVD-ROM contient tous les numéros d'Elektor des années 1990 à 1999. Complétez votre schémathèque dans les domaines les plus divers (alimentation, audio, auto, domestique, hautes-fréquences, microcontrôleurs...) ! Les 2 200 articles d'Elektor réunis sont présentés par ordre de parution (mois/année), mais aussi classés par ordre alphabétique et par rubriques. Un index général permet d'effectuer des recherches dans tous les fichiers PDF.



Prix (membres) : 80,10 €

[www.elektor.fr/dvd-elektor-1990-1999-french](http://www.elektor.fr/dvd-elektor-1990-1999-french)

## Elektor UNO R4



La carte Elektor Uno R4 a les mêmes dimensions que la carte Arduino Uno R3, mais elle tourne avec un µC ATmega328PB-AU. C'est donc plus de possibilités. Elle est rétrocompatible avec la carte Arduino Uno R3. Nouveau : le convertisseur USB-série (puce FTDI) facilite la programmation (pilote, micrologiciel). L'alimentation est un peu plus coûteuse que celle de la Uno R3 et un connecteur permet d'accéder au port E de l'ATmega328PB.



Prix (membres) : 26,95 €

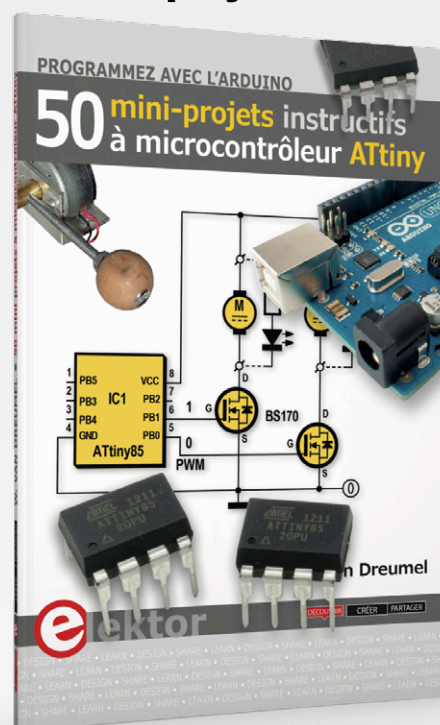
[www.elektor.fr/elektor-uno-r4](http://www.elektor.fr/elektor-uno-r4)





## programmer avec l'Arduino

### 50 mini-projets instructifs à microcontrôleur ATtiny



Prix (membres) : 21,40 €

[www.elektor.fr/50-mini-projets-attiny-arduino](http://www.elektor.fr/50-mini-projets-attiny-arduino)

Pour tester et mettre au point de petits montages à microcontrôleur, la carte Arduino est parfaite. Ensuite, on peut obtenir le même résultat avec un autre  $\mu$ C, plus petit et moins cher, comme l'octopède ATtiny. Ce livre pour les débutants montre comment faire à l'aide de 50 applications originales, instructives et astucieuses. La plupart des projets sont décrits en détail.

Dans ces pages, ni théorie ni mathématiques, que des considérations électroniques pratiques : un livre qui se lit le fer à souder à la main !

L'ATtiny est programmé avec une carte Arduino ; les croquis disponibles sur cette plateforme sont facilement transposables pour l'ATtiny, le livre explique comment.

## programmer avec l'Arduino

50 mini-projets instructifs à microcontrôleur ATtiny

## BBC Micro:bit

Facile à brancher et à coder, idéale pour s'initier à l'électronique programmée

## e-choppe Elektor en ligne

Votre panier d'achats pour l'électronique

## Raspberry Pi 3 Starter Kit (version Deluxe)



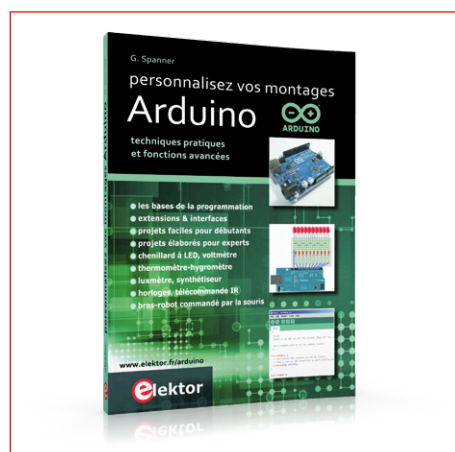
Le *Raspberry Pi 3 Starter Kit* inclut tout ce dont vous avez besoin pour démarrer le nano-ordinateur le plus populaire du monde ! Le kit comprend une carte Raspberry Pi 3 (modèle B), un luxueux boîtier en ABS pour la carte, une alimentation micro-USB pour Raspberry Pi 3 (5,1 V, 2,5 A), un câble HDMI haute vitesse (1 m), un câble Ethernet cat. 5e (2 m) et une carte micro-SD Transcend (16 Go, classe 10) avec adaptateur (avec NOOBS pré-installé).



Prix (membres) : 80,96 €

[www.elektor.fr/rpi-starter-kit-deluxe](http://www.elektor.fr/rpi-starter-kit-deluxe)

## Personnalisez vos montages Arduino



L'objectif de ce livre est de vous emmener à pas guidés vers la maîtrise d'Arduino. Les projets sont regroupés par thème, avec des bases théoriques. Vous apprendrez à exploiter des techniques essentielles (conversion analogique-numérique, modulation de largeur d'impulsion, pilotage de différents types d'afficheurs, interface I2C, interruptions).



Prix (membres) : 31,05 €

[www.elektor.fr/personnalisez-arduino](http://www.elektor.fr/personnalisez-arduino)

## Pro Tech Toolkit



Un kit d'outils aux talents multiples pour tout réparer.

Indispensable aux professionnels et amateurs

Tout pour réparer les appareils électroniques tournevis, pinces...

Kit totalement repensé



Prix (membres) : 58,46 €

[www.elektor.fr/all-new-pro-tech-toolkit](http://www.elektor.fr/all-new-pro-tech-toolkit)

# Rejoignez la communauté Elektor

## Devenez membre GOLD maintenant !



### formule GOLD

- ✓ 10x magazine imprimé
- ✓ 10x magazine numérique
- ✓ accès à l'archive d'Elektor (des milliers d'articles)
- ✓ accès à plus de 1 000 fichiers Gerber
- ✓ le DVD annuel d'Elektor
- ✓ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✓ des offres exclusives

### formule GREEN




- ✓ 10x magazine numérique
- ✓ accès à l'archive d'Elektor (des milliers d'articles)
- ✓ accès à plus de 1 000 fichiers Gerber
- ✓ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✓ des offres exclusives

**Également disponible**  
**abonnement « zéro papier » GREEN !**

**[www.elektor.fr/membres](http://www.elektor.fr/membres)**



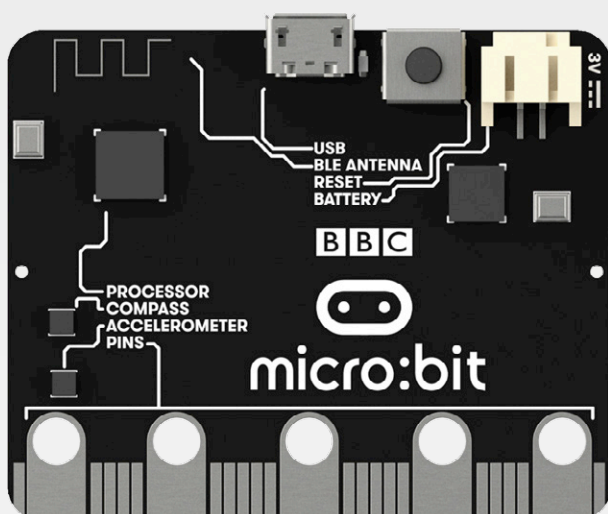
**layar**  
INTERACTIVE PRINT

- 1   
Téléchargez l'appli gratuite Layar
- 2   
Scannez cette page
- 3   
Découvrez le contenu interactif

## SCANNEZ CETTE PAGE ET REGARDEZ LA VIDÉO







## BBC Micro:bit

**Facile à brancher et à coder, idéale pour s'initier à l'électronique programmée**

micro:bit est une petite carte à microcontrôleur distribuée par la BBC et destinée à l'enseignement de la programmation auprès des élèves britanniques de 11 ans. Le cœur de la micro:bit est un processeur ARM Cortex-M0+ de Nordic doté d'un émetteur-récepteur Bluetooth BLE. La carte est bien équipée :

matrice de 25 LED, accéléromètre, magnétomètre et deux boutons-poussoirs. Un connecteur d'extension donne accès au bus I<sup>2</sup>C, aux poussoirs et à plusieurs broches GPIO. Le bas de la carte loge cinq larges plages de connexion accessibles par fiche banane : trois ports d'E/S, un port 3 V et un GND. La carte est compatible avec mbed et programmable avec plusieurs langages (Blockly, Python, C++).



**Prix (membres) : 15,26 €**

[www.elektor.fr/bbc-micro-bit](http://www.elektor.fr/bbc-micro-bit)

programmer  
avec l'Arduino

50 mini-projets  
instructifs  
à microcontrôleur  
ATtiny

## BBC Micro:bit

Facile à brancher  
et à coder,  
idéale pour s'initier  
à l'électronique  
programmée

e-choppe  
Elektor en  
ligne

Votre panier d'achats  
pour l'électronique

## Mooshimeter



Le Mooshimeter est un outil de mesure multivoie, relié par Bluetooth 4.0 à un écran graphique de haute résolution, à savoir un ordiphone ou une tablette. Il permet d'effectuer des mesures en toute sécurité jusqu'à 600 V et 10 A, avec une résolution de 24 bits, jusqu'à une distance de 40 m environ, et d'enregistrer des résultats sur une période de 6 mois.



**Prix (membres) : 121,46 €**

[www.elektor.fr/mooshimeter](http://www.elektor.fr/mooshimeter)

## DVD Elektor 2010-2014



Ce DVD-ROM contient tous les numéros d'Elektor des années 2010 à 2014. Elektor propose à ses lecteurs des montages électroniques de conception professionnelle et aisément reproductibles, dans les domaines de l'électronique et de l'informatique appliquées. Il leur apporte également des informations sur l'évolution technologique et les nouveaux produits.



**Prix (membres) : 62,10 €**

[www.elektor.fr/dvd-elektor-2010-2014](http://www.elektor.fr/dvd-elektor-2010-2014)

## Analyseur logique ScanaQuad SQ100



ScanaQuad (SQ) est une série d'analyseurs logiques à quatre canaux et de générateurs de signaux numériques. Ils vous seront d'une grande utilité lorsque vous travaillerez sur des protocoles série comme UART, SPI, I<sup>2</sup>C, 1-Wire, USB, I<sup>2</sup>S, CAN, LIN, RS232, RS485, etc. Avec les analyseurs logiques ScanaQuad, vous pouvez capturer des signaux et les analyser, ainsi que produire vos propres signaux de test !



**Prix (membres) : 128,66 €**

[www.elektor.fr/logic-analyzer-scanaquad](http://www.elektor.fr/logic-analyzer-scanaquad)



octobre 2016

◆ **11<sup>e</sup> édition du colloque international Brasage (interconnexion)**

**05 au 06/10 – Brest**

[afeit.asso.fr/brasage-com](http://afeit.asso.fr/brasage-com)

◆ **10<sup>e</sup> édition des Trophées CAP'TRONIC**

**06/10 – Paris**

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

Informations détaillées

également sur [www.elektormagazine.fr](http://www.elektormagazine.fr)



◆ **Festival SON & IMAGE**

**08 au 09/10 – Paris**

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

Trois salons : HiFi & Home cinéma, Home & Technologies, Connect & Play

◆ **Fête de l'énergie**

**08 au 11/10 –**

**partout en France**

[www.fete-de-lenergie.fr](http://www.fete-de-lenergie.fr)

Énergies renouvelables,

travaux de rénovation,

équipements électriques... :

quatre jours de conseils et

d'échanges sur les économies

d'énergie.



◆ **Rencontres européennes Mecatronic Connection**

**12 au 13/10 – Oyonnax**

[www.mecatronic-connection.com](http://www.mecatronic-connection.com)

◆ **Screen 4 all (forum des nouveaux écrans)**

**12 au 13/10 – Paris**

[www.screen4all.com](http://www.screen4all.com)

◆ **Semicon Europa & IoT Planet**

**25 au 27/10 – Grenoble**

[www.semicon.europa.org](http://www.semicon.europa.org) & [www.iot-planet.org](http://www.iot-planet.org)

◆ **Game Connection Europe (industrie du jeu vidéo)**

**26 au 28/10 – Paris**

[www.game-connection.com](http://www.game-connection.com)

Rencontres d'affaires de l'industrie du jeu vidéo. *Game*

*Connection* est l'endroit où les principaux acteurs de l'industrie

des jeux vidéo se rencontrent et font des affaires.

◆ **Robot 4 Manufacturing (robotique industrielle)**

**26 au 27/10 – La Roche-sur-Yon**

[www.robot4manufacturing.com/fr/](http://www.robot4manufacturing.com/fr/)

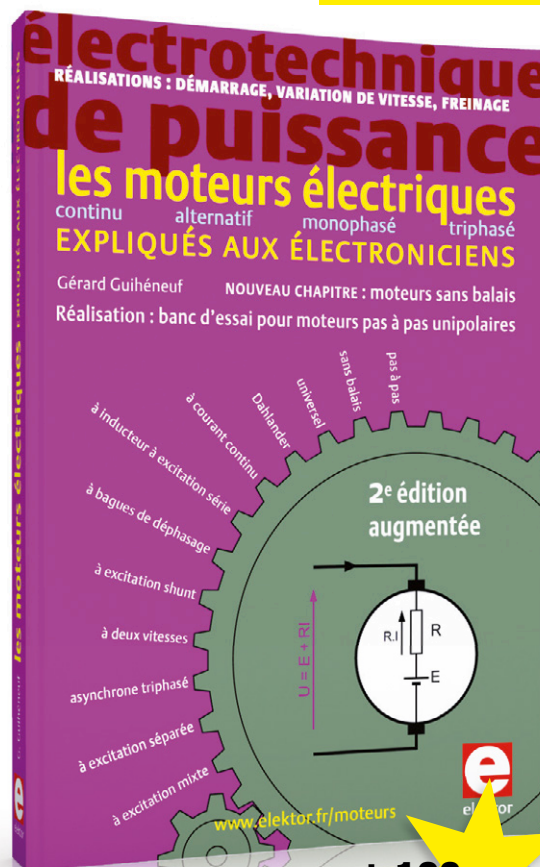
**Un événement oublié ?**

Vous organisez une conférence, un salon... ou bien vous participez à un séminaire ou tout autre événement qui aurait sa place ici, partagez cette information avec tous les lecteurs.

Envoyez-nous tous les détails à [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr).

# Nouvelle édition augmentée

**100 pages  
supplémentaires !**



## les moteurs électriques expliqués aux électroniciens

Ce livre en quatre chapitres offre une information accessible et digeste : constitution, fonctionnement, caractéristiques, domaines d'utilisation, pour proposer aussi des réalisations électroniques simples et concrètes. Le premier détaille les principes de variation de la vitesse des moteurs à courant continu. Les moteurs à alimentation alternative monophasée du 2<sup>e</sup> chapitre font appel à une électronique de puissance. Dans le 3<sup>e</sup> chapitre sont décrits les moteurs asynchrones triphasés, le moteur électrique le plus utilisé dans l'industrie.

Cette nouvelle édition s'enrichit d'un chapitre consacré aux moteurs sans balais (brushless), du moteur synchrone triphasé de plusieurs centaines de kW au moteur à courant continu de quelques centaines de watts, en passant par les moteurs pas à pas ou encore le surprenant moteur linéaire. Le lecteur découvrira leurs modes de commande : codeurs incrémentaux ou absolus associés à un onduleur commandé en courant ou en tension ou bien capteurs à effet Hall pour l'autopilotage, commande en pas entiers, demi-pas, micro-pas... L'auteur propose également de réaliser un banc d'essai pour moteurs pas à pas unipolaires.

ISBN 978-2-86661-194-1 – 432 pages – 46,50 €



[www.elektor.fr/moteurs](http://www.elektor.fr/moteurs)



bienvenue dans la section **PARTAGER**

Thijs Beckers (rédaction d'Elektor)

**un autre terrain d'expression**

Avec notre lettre d'information, l'« e-zine », nous essayons de vous tenir au courant des nouveautés et derniers développements en matière d'électronique (et ses domaines connexes). Pour ce faire, quelques rédacteurs gardent l'œil ouvert sur divers sites commerciaux et d'information, et épluchent courrier postal et courriel. Notre collègue René Bohne préfère lui aller aux nouvelles dans la communauté des faiseurs (*makers*).

Il a récemment tourné un petit film sur son lieu de travail, à savoir le FabLab (*fabrication laboratory*) de Berlin, où il a son propre bureau (*elektorien*). Il a une vue imprenable sur les allées et venues au sein

du FabLab, et se précipite dès qu'un quidam souhaite partager un projet, qu'il soit ingénieux, innovant, pratique, sympa, ou même inutile.

Ce n'est donc pas par hasard si René a dans ses attributions l'administration du canal YouTube de notre édition allemande. Nous y proposons entre autres un cours (gratuit) sur les circuits logiques programmables



(FPGA – *field-programmable gate array*) ; en allemand, bien sûr, mais si la langue de Goethe ne vous inspire pas, il y a toujours notre canal en anglais. Vous y trouverez des informations de base, un aperçu de nos projets (électroniques), des bancs d'essai, des interviews, et des séminaires ; et vous pouvez partager tout cela avec autrui.

En résumé : si le magazine et l'e-zine ne vous suffisent plus, rejoignez-nous sur YouTube ! ◀

FabLab Berlin : <https://fablab.berlin/en/>  
[https://www.youtube.com/results?search\\_query=P7aF0LD12Qw](https://www.youtube.com/results?search_query=P7aF0LD12Qw)

(160140 – version française : Jean-Louis Mehren)









# ensemble de tests audio sur mesure

cuvée 1969 de la



Dans les années d'après-guerre, la *Nederlandse Radio Unie*, qui deviendra l'actuelle NOS (*Nederlandse Omroep Stichting*, Fondation néerlandaise de diffusion), a été pionnière des enregistrements audio d'excellente facture et capable de les diffuser sans perte de qualité. Sa ligne de conduite était que, comme source de l'audio, aucune forme de **distorsion** n'était acceptable. Vous verrez ici avec quelle conscience professionnelle les ingénieurs de NRU/NOS ont travaillé à maintenir cette agaçante « **D** » aussi faible que possible.

**Theo Bouman** (Pays-Bas)

Ambitionner la plus faible distorsion, D ou non linéarité en jargon technique, suppose des vérifications régulières de la qualité des signaux enregistrés et émis. Mais il y faut des instruments de mesure à la hauteur, or ils n'étaient pas (encore) disponibles dans le commerce à l'époque.

Même les fabricants qui fournissaient les appareils à la NOS n'étaient pas en état de satisfaire aux exigences de la NOS. C'est ce qui a poussé plusieurs ingénieurs à concevoir eux-mêmes les instruments nécessaires. L'ensemble de tests décrit ici, développé entre 1966 et 1969, et produit dans les ateliers de la NOS, en est un bel exemple. Pour s'assurer de la qualité voulue, tous les composants ont été

mesurés et sélectionnés pour respecter une tolérance de moins de 0,5 %.

J'ai eu la chance de participer à la mise au point de cet ensemble de tests alors que je travaillais au département d'ingénierie de la NOS comme spécialiste en instrumentation et, maintenant à la retraite, je reste un enthousiaste de la rubrique *Rétro*n*ique* d'Elektor.







Figure 1. L'appareil de test pour émetteurs dans son boîtier d'origine.



Figure 2. L'appareil de test pour récepteurs, vu de face.



Figure 3. L'appareil pour émetteurs vu de dos : le tube en verre dans le coin inférieur droit du circuit imprimé contient la thermistance insérée dans la boucle de rétroaction.

## Le premier ensemble de tests à semi-conducteurs

En plus des studios d'Hilversum, la NOS a gardé plusieurs studios de radiodiffusion ailleurs aux Pays-Bas, comme au Concertgebouw d'Amsterdam, au studio de La Haye, au Kurhaus de Scheveningen (dans la province de Hollande-Méridionale) et les centres régionaux de Maastricht et Groningen. Pour aller mettre au point et mesurer les installations audio existantes et les nouvelles dans les différents studios, il fallait des appareils de test compacts et pratiques. Les instruments en usage jusqu'à la fin des années 1960 étaient encore à tubes, donc volumineux et très lourds, difficiles à transporter. Le nouvel ensemble de tests a été le premier à incorporer des semi-conducteurs, ce qui l'a considérablement allégé.

Il se compose d'un appareil de test pour émetteurs, d'un autre pour les récepteurs, d'un millivoltmètre alternatif et de ce que l'on appelait alors un oscillographe.

L'ensemble était hébergé dans quatre coffrets en bois, l'un pour les émetteurs (**figure 1**), un autre pour les récepteurs (**figure 2**), un coffre pour le millivoltmètre et l'oscilloscope, le dernier pour les accessoires, les câbles et les sondes, mais aussi deux boîtes de pièces de rechange, résistances et condensateurs pour rectifier les dérives observées lors des mesures. Les coffres mesuraient 42 × 27 cm pour une hauteur de 24 cm. Celui pour les émetteurs pesait 11,5 kg, l'autre 13,3 kg, une différence notable, plus de 50 % en comparaison des précédents. Je précise que l'oscilloscope de la photo n'est pas le modèle d'origine, il n'a malheureusement pas été possible de dénicher le vrai oscillographe, peut-être un Philips GM56xx ou PM32xx, même pas dans les caves du musée Vidéo et Audio, qui prétend pourtant avoir un exemplaire de tous les types d'appareils.

Un autre avantage très pratique de cet ensemble de tests audio était de combiner toutes les fonctions nécessaires à la vérification des systèmes audio : caractéristique de fréquence, gain, phase et équilibrage d'impédances.

## Caractéristiques techniques et fonctions

L'électronique de l'appareil pour émetteurs (**figure 3**) se compose d'un générateur d'ondes sinusoïdales dans la gamme de 15 Hz à 150 kHz, sur cinq plages, d'un oscillateur sinusoïdal à 100 Hz, d'un convertisseur de sinus à carré, d'un atténuateur précis à pas de -5 dB dans une gamme de 50 dB et d'un atténuateur fixe de 50 dB pour atteindre les 100 dB. Le réseau atténuateur est équilibré. Pour compenser le faible niveau de sortie du générateur de sinus et offrir une sortie équilibrée et adaptée en impédance, il dispose d'un amplificateur et d'un transformateur, comme sur le schéma de la **figure 4**. Le circuit de sortie comporte des impédances externes avec interrupteur pour sélectionner entre 10 Ω et 1 kΩ. Il y a aussi un réglage de « fuite » à deux niveaux. L'ensemble pour émetteurs a un indicateur de niveau de référence étalonné sur 0 dBm. Cet étalonnage était réalisé avec précision sur chaque ensemble en service.

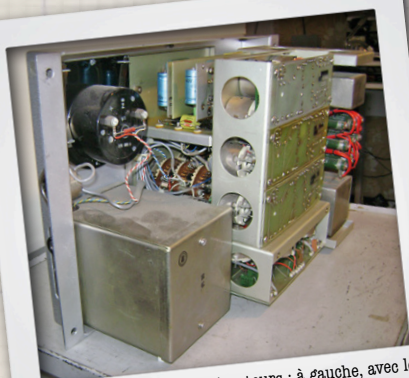
Les amplificateurs que les laboratoires de la NOS avaient construits se caractérisaient par une très faible distorsion. Pour la mesurer, il nous fallait évidemment un générateur sinusoïdal à plus faible distorsion encore. Après quelques expériences,



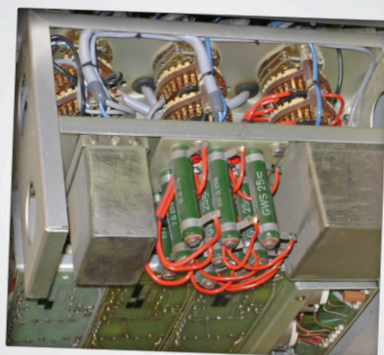
## Souvenirs de la construction des appareils chez NOS à partir de 1960

[Note de Jan Buiting] NOS est l'acronyme de Nederlandse Omroep Stichting, Fondation de diffusion néerlandaise. Cette série de photos montre le degré de professionnalisme en électronique et construction mécanique d'ingénieurs enthousiastes des laboratoires de la NOS aux Pays-Bas au début des années 60. Comme la NOS était une fondation, les budgets n'y étaient pas illimités, d'où la débrouille !

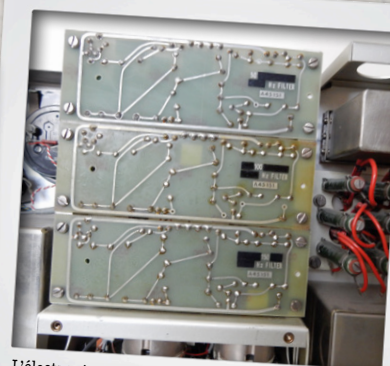
On remarque l'utilisation répétée de composants, spécialement les fameux électrolytiques bleus et les polyesters jaunes, série HiRel (haute fiabilité), très chers à l'époque, en provenance de Philips. Rien d'étonnant à cela, puisque la plupart des stations de radiodiffusion nationales étaient implantées avec la NOS dans une région de la Hollande appelée communément « Gooise Matras », où se trouvaient aussi les ateliers de Philips Telecommunication Industry à Hilversum et Huizen, dans le rayon d'action de tout cycliste. En revanche, les transistors dans les circuits sont généralement américains (MM, 2N3704/06 etc.) et les potentiomètres de précision venaient de Colvern au Royaume-Uni.



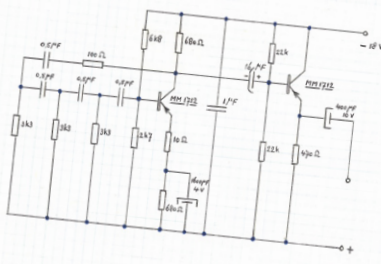
L'appareil de test pour récepteurs : à gauche, avec le transformateur de puissance blindé au mu-métal.



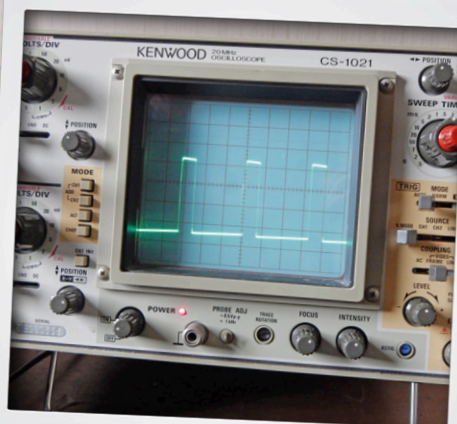
L'appareil de test pour récepteurs avec, tout en haut, les sélecteurs de fonctions à galettes.



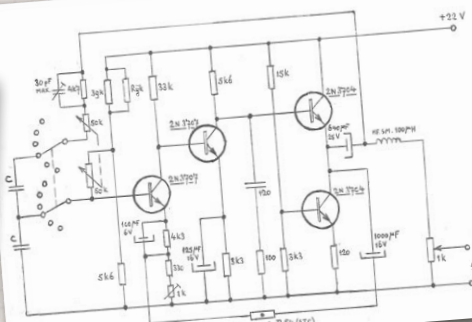
L'électronique pour les récepteurs : au milieu, les trois filtres de ronflement pour 50, 100 et 150 Hz.



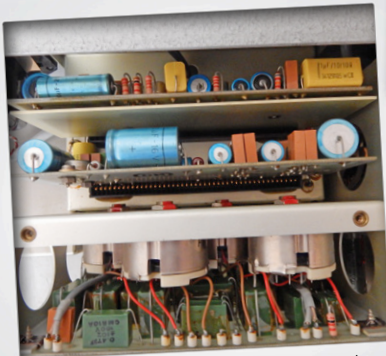
Le générateur à 100 Hz sert à la mesure du taux d'intermodulation (IM).



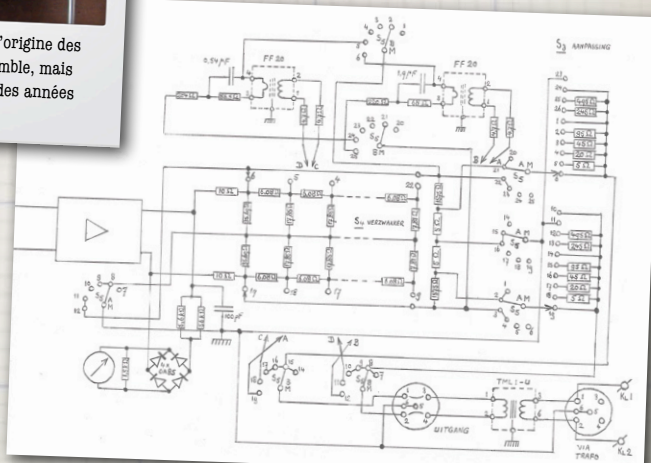
L'assortiment est dépareillé : l'oscilloscope d'origine des années 1960 manque cruellement à mon ensemble, mais cet oscilloscope analogique Kenwood de la fin des années 1980 en donne une image approchante !



Le schéma du générateur de signal. Insérée dans la boucle de rétroaction, (en dessous), la thermistance, mais pas n'importe laquelle : il fallait sélectionner spécialement celle qui produisait le minimum de distorsion.



L'électronique de l'appareil pour récepteurs est répartie sur plusieurs circuits imprimés.



Le schéma général du générateur de l'appareil de test. Remarquez le circuit parfaitement symétrique de l'atténuateur.



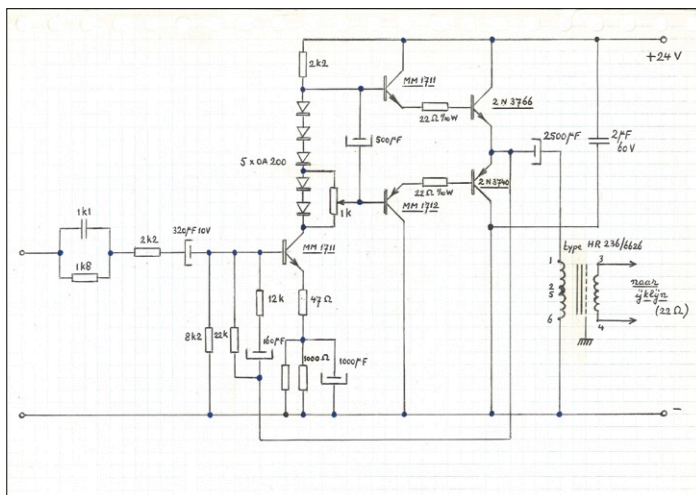


Figure 4. L'amplificateur du générateur de tonalité : un circuit spécial destiné à augmenter le signal du générateur au niveau voulu tout en convertissant l'impédance de sortie à une valeur suffisamment basse.

nous sommes parvenus à la réduire à environ 0,02 %, de quoi effectuer des mesures précises.

L'oscillateur sinus à 100 Hz, nous en avons besoin pour les mesures d'intermodulation, que l'on réalisait principalement sur des enregistreurs mécaniques à bande magnétique ou vinyle. La sinusoïde convertie en onde rectangulaire asymétrique, comme sur la photo ci-dessus, servait aux tests de phase, l'une des façons de vérifier la phase des connexions des microphones, des lignes d'entrée et de sortie. Pour tout cela, il faut une alimentation, entrée 220 V~ et sorties 18 V= et 24 V= (le schéma de la **figure 5**). Elle est richement entourée d'un boîtier en mu-métal pour bloquer le champ magnétique. L'atténuateur pas à pas profite aussi, entre autres, d'un blindage en mu-métal. Le générateur de signaux est doté d'une seconde sortie par transformateur d'isolement, nécessaire aux mesures sur circuits asymétriques.

L'appareil pour récepteurs a quatre entrées sur les douilles Tuchel (actuellement Amphenol) de la **figure 6**, pour recevoir les

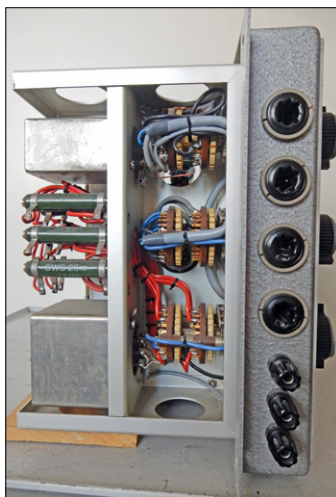


Figure 6. L'appareil pour récepteurs, vu de côté, avec les quatre entrées Tuchel.



Figure 7. Les fiches Tuchel.

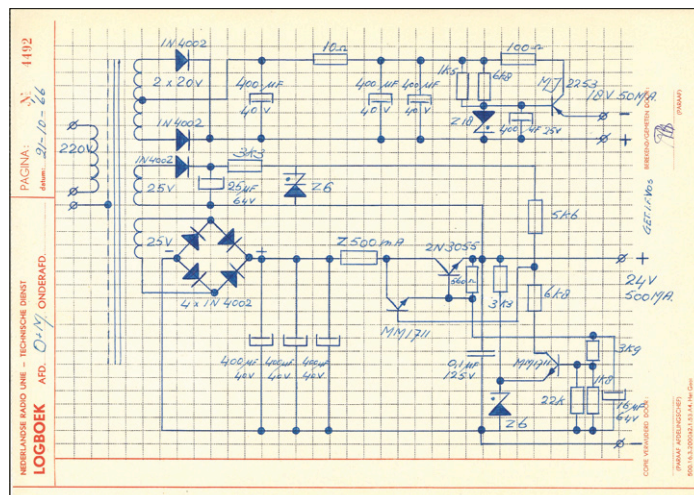


Figure 5. Ce schéma de l'alimentation pour l'appareil de mesure date de 1966, au tout début de la conception. On y reconnaît mon paraphe (M. B.) pour approbation.

fiches Tuchel de la **figure 7**, ainsi qu'un sélecteur à galettes pour des résistances de charge de 3, 5, 7, 15, 80, 200, 400, 500 Ω, 1 kΩ, ou infinie. On peut insérer un atténuateur à -30 dB pour les niveaux de sortie supérieurs à +20 dBm. Le premier sélecteur permet de mesurer des niveaux de bruit à 50 Hz, 100 Hz et 150 Hz. On peut aussi mesurer avec un filtre de pondération A, qui reproduit la caractéristique de perception de l'oreille humaine. Le deuxième sélecteur de fonctions (bouton de droite de la figure 2) a trois positions : plate, harmonique et intermodulation (IM). Le filtre de mesure de la distorsion harmonique est conçu pour la fréquence de 1 kHz et atténue le fondamental de 130 dB. L'appareil de mesure sert à l'étalonnage des mesures d'intermodulation.

### Millivolts et décibels

Nous prenons toutes les mesures avec le millivoltmètre Philips PM2454 AC et les inscrivons en décibels, donc par rapport au niveau de sortie. Par exemple, un niveau de sortie de +6 avec l'appareil en position « plate », correspond à une distorsion de -50, -60 ou -65 dB, selon que le niveau mesuré est de +6 ou +12 dB ou, dans le cas de l'amplificateur de puissance, de +42 dB. Pour l'évaluer en pourcentage, -40 dB représente 1 % ; -46 dB, c'est 0,5 %, etc.

### Les résultats

Vers 1969, on avait produit un total de vingt ensembles. Ils ont servi aussi au laboratoire de mesures audio du groupe de télédiffusion. Il y avait en plus des ensembles dans les différentes salles de mesures de la NOS, audio, radiodiffusion AM et FM, de sorte qu'il y avait des ensembles mobiles et des fixes. Tous mes collègues ingénieurs étaient très satisfaits de ces appareils, qui n'ont pratiquement jamais connu d'ennuis au cours des années d'utilisation entre 1969 et 1985.

L'ensemble représenté ici est apparemment l'un des derniers survivants de cette époque, mais il fonctionne encore à la perfection. ◀

(160032 - version française : Robert Grignard)



# DON'T WORRY **BE TEKKIE**

Tell us your story and explore how  
Conrad Tekkies gonna help you!

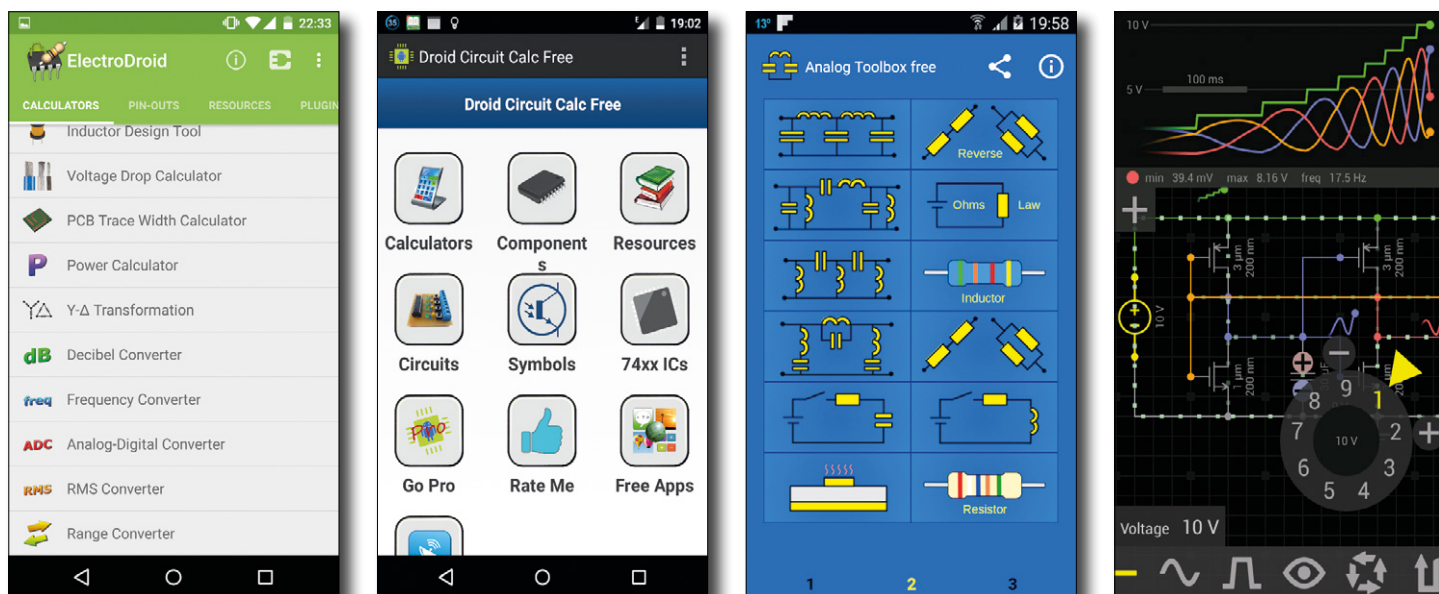
🌐 <http://electronica.conrad.de>

## **LET'S SHAPE THE FUTURE!**

08.-11.11.2016, hall A5, booth 462

 **electronica** 2016  
inside tomorrow

  
Business Supplies



# Android & électronique

## applis pratiques pour ordiphone ou tablette

De nos jours, qui n'a pas d'ordiphone ? On peut pratiquement tout faire avec cet appareil, et même pas mal d'électronique ! Nous avons déniché quelques applis d'électronique pour Android ; elles sont variées, des simples bases de données aux programmeurs.

**Harry Baggen** (labo d'Elektor)

On dit que les électroniciens préfèrent les téléphones Android aux iPhones, car il serait plus facile de les « hacker », mais je n'ai pas trouvé de statistiques qui corroborent cette affirmation. Le fait est qu'Android et iOS ont chacun leurs fervents défenseurs et détracteurs, et que l'offre en matière d'applis pour l'électronique varie fortement d'un système à l'autre. Nous nous limiterons aux applis pour Android dans cet article, et reviendrons à iOS une autre fois.

La plupart des applis présentées ici existent en version payante ou gratuite (avec pub) ; les versions payantes offrent en général quelques fonctions supplémentaires.

### Applis générales

Les applis qui fournissent des informations générales sur l'électronique, et permettent des calculs standard, sont extrêmement populaires. Une des plus complètes est *ElectroDroid* [1] ; on y retrouve les codes de couleur des composants pas-

sifs, les calculs de mise en série ou en parallèle, de décibels, de filtres ou de puissance, le brochage de divers connecteurs, une base de données de circuits intégrés, et bien d'autres choses. D'autres applis offrent des possibilités similaires, chacune a ses points forts. En sus des habituels calculateurs, infos et brochages, *Droid Circuit Calc* [2] propose une quarantaine de circuits. *Electronics Toolbox* [3] est axée sur les calculs de circuits simples, et *Electronic Toolbox* [4] (il y a une lettre en moins !) se spécialise dans les hautes fréquences et les micro-ondes.

### Applis pour la simulation

L'écran d'un ordiphone peut sembler un peu petit pour la simulation du fonctionnement des circuits, mais il y a tout de même quelques applis disponibles pour Android. Une tablette, dont l'écran est plus grand, est plus appropriée pour ces programmes. *EveryCircuit* [5] est sans doute l'appli de simulation pour Android la plus connue ; un banc d'essai de cette appli (c'est aussi un programme pouvant tourner dans le navigateur Chrome sur un ordinateur) est

paru dans Elektor [6]. Ce simulateur est interactif, et le fonctionnement des circuits électroniques y devient clair comme de l'eau de roche.

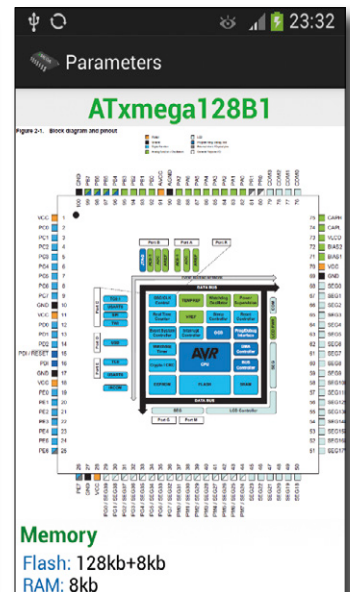
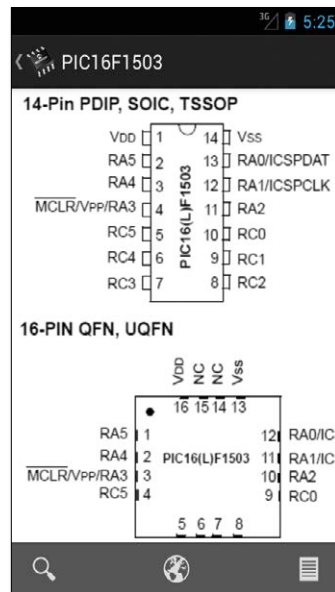
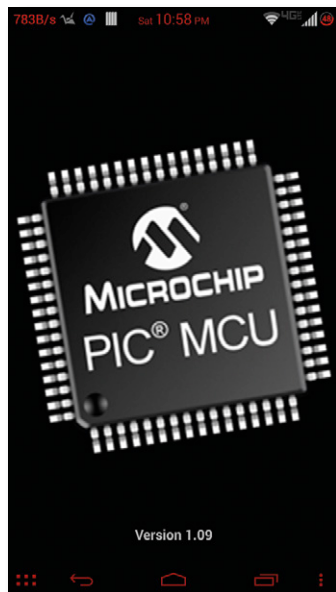
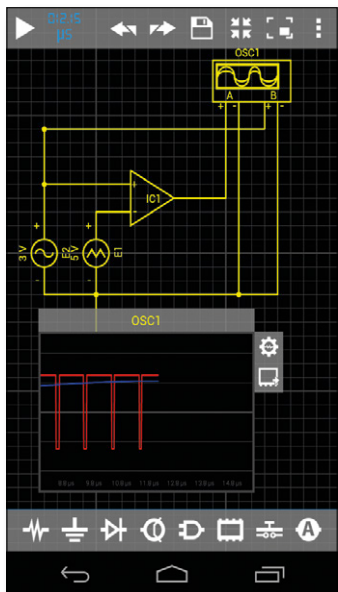
*Droid Tesla* [7] permet aussi la simulation de circuits. Cette appli ressemble plus aux programmes de simulation traditionnels pour ordinateur, mais un grand nombre de composants (par ex. les portes, le 555 et les transformateurs) ne sont disponibles que dans la version *Pro*, payante... Pour les circuits logiques, *Logic Simulator Pro* [8] est un bon choix. Ce simulateur est agréable et simple d'emploi, et les débutants pourront apprendre le fonctionnement des portes logiques (ET, OU, etc.), des bascules, ou des multiplexeurs.

### Applis pour les microcontrôleurs

Il y a bien entendu de nombreuses applis d'aide à la mise en œuvre des microcontrôleurs.

*PICmicro Calculator* [9], destiné comme son nom l'indique aux PIC, permet la mise au point des temporisateurs, des convertisseurs AN/NA, des circuits MLI, et d'autres modules. L'appli est pour le





moment limitée aux microcontrôleurs de la série 18F, mais son auteur compte bien l'étendre aux autres séries.

Si vous préférez la famille AVR d'Atmel, *AVR Calculator* [10] calculera pour vous la valeur de divers registres. L'appli comporte aussi un convertisseur hexadécimal-binaire-décimal, et un convertisseur AN/NA.

Des bases de données sont aussi disponibles pour les deux familles de microcontrôleurs. *PICmicro Database* [11] s'intègre de manière transparente à *ElectroDroid*, et propose les données relatives aux PIC, dsPIC et DSC. *Atmicro Database* [12], qui s'intègre également à *ElectroDroid*, reprend les données



Avec EveryCircuit, le fonctionnement des circuits devient clair comme de l'eau de roche

d'un grand nombre de produits d'Atmel, dont les AVR.

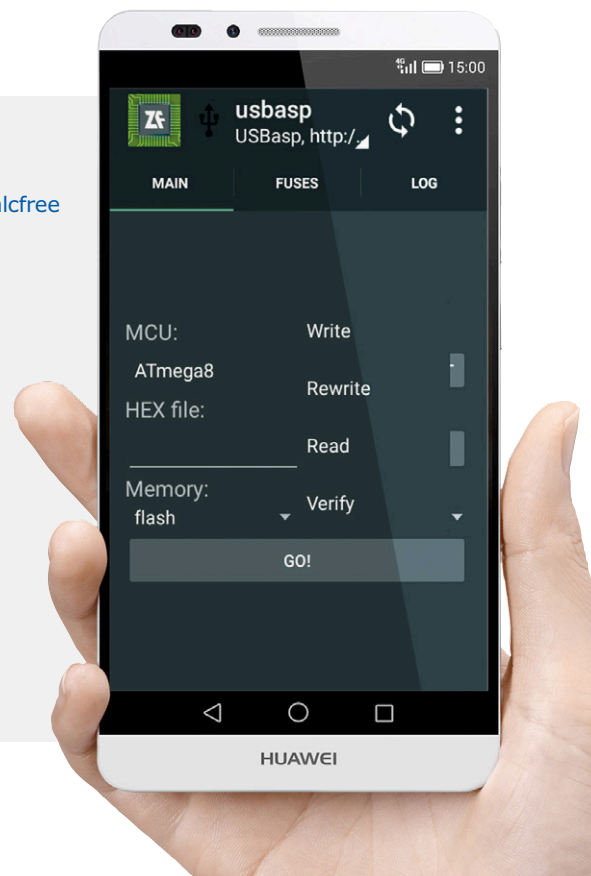
L'appli *AVR Atmega Pro Database* [13] comporte les caractéristiques (type et taille de la mémoire, brochage, consommation, vitesse et interfacement pour la programmation) de 53 microcontrôleurs ATmega. Avec *AVR Xmega Database* [14], du même auteur, ce sont des données de 48 microcontrôleurs Xmega dont vous disposerez. Et pour terminer, une appli quelque peu inattendue sur un appareil Android : un

programmeur pour microcontrôleurs AVR, *Zflasher AVR* [15]. Cette appli est basée sur *AVRDUDE*, un utilitaire pour la programmation des AVR, et utilise la fonction *USB Host* des appareils Android pour commander un programmeur. L'appli fonctionne pour le moment avec les programmeurs *USBasp*, *USBtiny* et *AVRISP mkII*.

(160087 – version française : Jean-Louis Mehren)

## Liens

- [1] <https://play.google.com/store/apps/details?id=it.android.demi.elettronica>
- [2] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ancientdevelopers.droidcircuitcalcfree>
- [3] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.peterhohsy.eecalculator>
- [4] [https://play.google.com/store/apps/details?id=mwave.electronic\\_toolbox\\_free](https://play.google.com/store/apps/details?id=mwave.electronic_toolbox_free)
- [5] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.everycircuit.free>
- [6] <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201501/27471>
- [7] <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.vlada.droidtesla>
- [8] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.KAJORY.Logicsimulatorpro>
- [9] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pictimercalculatorpro>
- [10] <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.chipenable.avrcalculator.free>
- [11] <https://play.google.com/store/apps/details?id=it.android.demi.elettronica.db.pic>
- [12] <https://play.google.com/store/apps/details?id=it.demi.elettronica.db.avr>
- [13] <https://play.google.com/store/apps/details?id=mobileroobots.pl.avratmegapro>
- [14] <https://play.google.com/store/apps/details?id=mobileroobots.pl.avrxmega&hl=en>
- [15] <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.zdevs.zflasheravr>



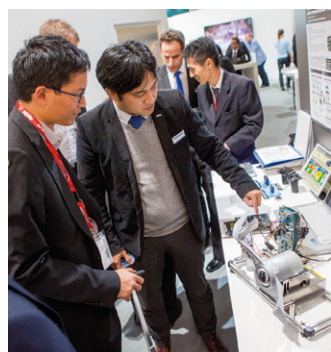
compilées par Robert van der Zwan



**Qu'est-ce que l'*electronica* Fast Forward Start-up Award ?**

Le *Fast Forward Start-up Award* est d'abord un partenariat entre Elektor et *electronica*, le célèbre salon international d'électronique de Munich. Pour vous, il s'agit surtout d'un prix prestigieux qui peut vous fournir l'occasion unique d'entrer de plain-pied dans le marché international de l'électronique. Le nom des gagnants sera annoncé en novembre lors du salon. Plus de 150 000 € de prix en services et outils de marketing sont à partager. Pour reprendre les mots de René Bohne, le directeur de campagne : « Nous réunirons tout le monde : les faiseurs, les amateurs, les ingénieurs et le monde des affaires. »

## Le tour de taille d'Elektor ? Planétaire !



René Bohne, directeur de campagne de l'*electronica* Fast Forward Start-up Award et également membre du jury, est déjà parvenu à une conclusion : professionnels, étudiants et autres amateurs (jeunes ou vétérans !) de tous pays savent où trouver Elektor. Le sens de cette conclusion ? Lisez la page suivante pour le savoir !

## Une autre façon de participer

Une entreprise peut-elle participer à l'*electronica* Fast Forward Start-up Award sans proposer d'idée, de prototype, ou même sans avoir le statut de jeune pousse ?

Bien sûr que oui ! Les entreprises bien établies peuvent s'impliquer dans le *Fast Forward Start-up Award* et en tirer bénéfice non seulement en suivant son déroulement jusqu'au salon *electronica* 2016, mais aussi en soutenant cette compétition d'envergure internationale.

C'est ce qu'on fait STMicroelectronics et Würth Elektronik, respectivement sponsors *platinum* et *gold*.

# Des prix d'une de plus de



L'initiative « *electronica* Fast Forward Start-up Award powered by Elektor » réunira pour la première fois les acteurs du marché international de l'électronique, les créateurs de technologies novatrices et une présence médiatique internationale. Autrement dit, les vainqueurs (peut-être vous) bénéficieront de la meilleure des tribunes possibles pour exposer leurs projets à des interlocuteurs de choix.

Tous les projets seront évalués par un jury composé de rédacteurs d'Elektor et d'ingénieurs du labo d'Elektor. Les auteurs des meilleures innovations des trois catégories (Idée, Prototype et Start-up) seront invités à présenter leur projet au public du salon *electronica* 2016, la grand-messe internationale des composants, systèmes et applications électroniques qui se tiendra à Munich (Allemagne). Le jury délibérera sur place pour décider du nom des trois vainqueurs.

Les finalistes des trois catégories Idée, Prototype et Start-up se verront offrir une occasion unique, celle de participer à la plateforme *electronica* Fast Forward.

Le 11 novembre 2016, *electronica* et Elektor remettront un « *electronica* Fast Forward Start-up Award » aux trois vain-

**INDISCRÉTIONS** • Outre son rôle de responsable de projet pour le salon *electronica* de Munich, Angela Fast Forward Start-up Award • Clemens Valens dirigera le jury Elektor pour l'*electronica* Fast Forward chaque membre de l'équipe Elektor exprime un jugement professionnellement objectif • Avant l'entrée ring de Munich, René Bohne aura fait tout son possible pour que la planète entière ait entendu parler de





## valeur 150 000 €



queurs désignés par le jury. Ces trois lauréats bénéficieront également de services internationaux de conseils, marketing et relations publiques d'une valeur (globale) de plus de 150.000 €. La visibilité de leur entreprise ou innovation sera en outre amplifiée par le réseau international d'Elektor, par ses différents supports numérique et papier et ses plus de 250.000 abonnés.

Les participants sélectionnés par le jury dans la catégorie Start-up s'engagent à être personnellement présents sur la plateforme *electronica Fast Forward* avec leur produit, contre une participation aux frais d'un montant maximum de 1.000 €. Tous les participants sélectionnés dans les catégories Idée et Prototype ont droit à un espace d'exposition gratuit.

La date limite d'inscription est le 4 octobre 2016.

Pour en participer ou en savoir plus, rendez-vous sur  
[www.elektormagazine.fr/contest/global-start-up-award-2016](http://www.elektormagazine.fr/contest/global-start-up-award-2016).

Marten coordonne tout ce qui a trait à l'*electronica* Start-up Award avec pour mandat de veiller à ce que (métaphoriquement parlant) des finalistes sur le *electronica Fast Forward Start-up Award* ... ..

## PROFIL D'EXPERT

Elektor est au cœur d'un réseau de plus de 1 000 experts et d'auteurs engagés dans la publication de livres, d'articles, de DVD, de webinaires et autres événements. Coup de projecteur !

Nom : **Clemens Valens**

Âge : **50 ans**

Formation : **licence en électronique, université de Groningen ; master en électronique et technologies de l'information, université technique d'Eindhoven**

Actuellement sur son agenda : **superviseur du jury de l'*electronica Fast Forward Start-up Award***



*Qui êtes-vous, Clemens Valens ?*

Quelqu'un qui aime ce qu'il fait : jouer avec l'électronique et en parler à travers tous les médias d'Elektor, dont le magazine bien sûr.

*Quel est le rôle du superviseur ?*

M'assurer que les candidatures parviennent jusqu'aux membres du jury et sont évaluées. Et oui, je fais également partie du jury.

*Êtes-vous impressionné par la quantité et la qualité des dossiers reçus jusqu'à présent ?*

Oui, mais je ne peux évidemment pas tout dévoiler pour l'instant. Ce qui me frappe le plus c'est la diversité des idées et des nationalités. L'*electronica Fast Forward Start-up Award* est en passe de devenir une véritable aventure planétaire !

*Que recherchez-vous dans les candidatures ?*

Cela dépend. Le potentiel commercial et la nouveauté sont des critères importants. La documentation aussi. Parfois j'ai l'impression qu'une idée n'a pas été suffisamment réfléchie alors qu'elle était bonne au départ. Je vois aussi des idées qui ont clairement dépassé le stade du concept et qui ont des chances d'être viables – si le marché le permet.

*Travaillez-vous seul ou en collaboration ?*

Je suis seul uniquement pour la phase de présélection. Ensuite je demande aux candidats de me fournir des informations supplémentaires dans un format cohérent. De cette façon les membres du jury – les rédacteurs spécialisés d'Elektor – peuvent noter les projets en connaissance de cause.

*Comment départagez-vous deux projets ayant reçu la même appréciation ?*

Ça se joue aux dés. Non, je plaisante. Dans ce cas, nous nous réunissons pour confronter nos arguments.

*Contactez-vous un inventeur si vous avez besoin d'informations complémentaires avant de pouvoir évaluer son projet ? Ou est-ce qu'une candidature qui laisse le jury avec un point d'interrogation est tout bonnement écartée ?*

Si un concepteur souhaite apporter des détails à son projet, il ne peut le faire qu'une fois, au moment où il envoie son dossier de candidature final. ◀

(160147 – version française : Hervé Moreau)

# Propulsez votre projet sur la voie du succès !

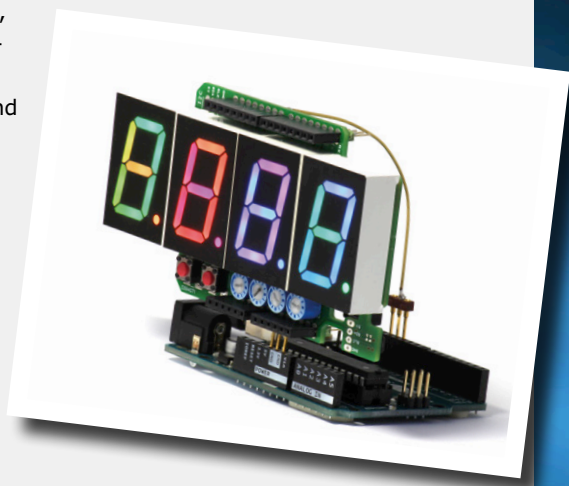
Elektor et le salon *electronica* qui se tiendra début novembre 2016 à Munich organisent un concours qui récompensera les projets les plus prometteurs des catégories Start-up, Prototype et Idée. Le concours est ouvert à tous et il reste un peu de temps pour participer ! D'ici là, voici un aperçu de quelques-uns des projets que nous avons reçus.



## Start-up – Afficheur à 7 segments polychrome

L'omniprésent afficheur à 7 segments se pare habituellement de rouge, vert, bleu, parfois de jaune. Or les LED actuelles peuvent reproduire toute la palette de l'arc-en-ciel. Alors pourquoi ne pas créer un afficheur à 7 segments polychrome ? L'inventeur du *RGBDigit* y est parvenu en contournant notamment l'écueil du grand nombre de connexions : 3 broches par LED RGB et 8 segments (en comptant le point décimal) représentent en effet pas moins de 24 broches à connecter. C'est en utilisant des LED RGB programmables en série que le concepteur a pu réduire à trois le nombre de broches nécessaires : *VCC*, *GND* et *données*. Il a utilisé trois broches supplémentaires, soit six au total, afin que plusieurs afficheurs puissent être reliés en série.

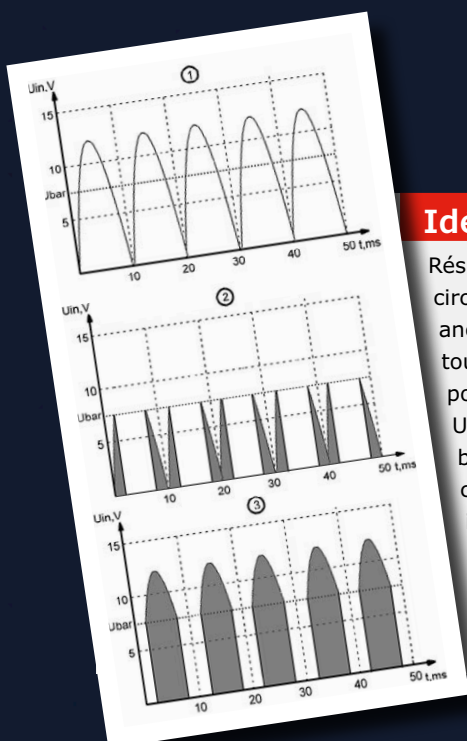
Construire un tel afficheur semble aisé, mais passer du prototype à un produit fiable destiné à être fabriqué en masse est une autre histoire. L'auteur a beaucoup travaillé ce point et surmonté la plupart des problèmes. Le *RGBDigit* est désormais prêt à conquérir le monde grâce à une jeune pousse récemment créée pour l'occasion.



Official Media Partner



electronica 2016  
inside tomorrow



## Idée – Baristor

Résistances, condensateurs, bobines, diodes et transistors sont les composants de base des circuits électroniques actuels. Même une puce capable d'étonnantes prouesses derrière un anodin boîtier est construite à partir de ces (milliers de) composants élémentaires. Encore et toujours les mêmes composants, n'est-ce pas un peu lassant ? Ne serait-il pas amusant de pouvoir jouer avec de nouveaux objets aux propriétés tout aussi nouvelles ?

Une équipe de scientifiques russes a justement conçu un nouveau composant électronique baptisé *baristor*, contraction de *barrier* et de *resistor*. L'objectif était de créer un composant capable d'améliorer l'efficacité de l'électronique de puissance en surmontant certains des inconvénients des thyristors et des TRIAC.

Le *baristor* peut changer brutalement de résistance en passant de l'état conducteur à l'état bloqué lorsque le signal d'entrée dépasse un seuil prédéfini, la barrière. Selon les modèles, le *baristor* peut être doté d'une ou de plusieurs sorties transmettant différents niveaux de signal.



## Start-up – Imprimante 3D de bureau pour circuits imprimés

Voilà un projet qui intéressera tous ceux qui construisent des prototypes et des appareils électroniques en petite quantité. Après avoir assemblé un circuit sur une plaque d'essai, on souhaite parfois le transposer sur un circuit imprimé. Il arrive aussi que l'assemblage d'un circuit sur une plaque d'essai soit impossible ou ne donne pas les résultats attendus, et que le seul support *ad hoc* soit un circuit imprimé. C'est ici que votre projet ralentit et que vous perdez votre élan. À moins d'être équipé d'outils de fabrication de CI, vous vous tournez alors vers un façonnier et attendez la livraison de

votre produit en rêvant d'une imprimante 3D pour CI...

Vous en rêviez, la jeune pousse *NextDynamics* l'a fait. Elle a mis au point une imprimante capable d'imprimer des circuits imprimés soudables dont les pistes ont une résistance très faible. Pour cela l'imprimante injecte sur la carte un mélange cuivre-argent via les 256 buses de sa tête d'impression. Elle peut aussi imprimer un matériau non-conducteur, un matériau de base, et même une circuiterie en trois dimensions du type CI multicouche, dont les *vias*. Aucun trou à percer !

Selon les concepteurs, un CI au format Eurocard de 10 x 16 cm peut être imprimé en un quart d'heure environ, le coût en matériau serait de moins de 1 €...

## Start-up – Projecteur textile souple

La lumière a toujours inspiré les créateurs. Certains ont ainsi mis au point des tapis lumineux souples combinant techniques textiles et techniques d'éclairage. Les concepteurs de la jeune pousse *Carpetlight* ont été encore plus loin dans l'innovation en créant des « tapis » lumineux pliables et enroulables. La possibilité de recouvrir pratiquement n'importe quel objet avec ces tapis autorise toutes sortes d'effets d'éclairage.

La lumière produite est homogène, ne vacille pas, et son intensité et sa nuance sont réglables. Le système est

donc adapté à une utilisation en studio photo

ou vidéo, mais peut aussi servir à éclairer des œuvres d'art, dans un musée par exemple. *Carpetlight* produit et vend déjà ses produits en ligne, mais participe néanmoins au *Fast Forward Award* dans l'espoir de lever des fonds et de gagner en notoriété.

## Prototype - ColorTheWorld23

*ColorTheWorld23* est un projet collaboratif à code source ouvert, articulé autour de deux composantes. La première est une lampe polychrome « magique » : elle émet la couleur qu'a le morceau de papier que vous lui présentez. La seconde met en jeu interaction sociale et communication. La couleur que vous avez choisie pour votre lampe ainsi que vos coordonnées géographiques sont envoyées dans le nuage. Le site web de *ColorTheWorld23* collecte ces données et les affiche sur une carte, qui se colore ainsi de milliers de couleurs. Les données permettent de créer des effets graphiques originaux. Les couleurs pourraient même rendre compte du degré de bonheur d'une région ou d'un pays.

La réussite du projet dépendait de sa simplicité et de sa nature *open source*, ce qui explique qu'il repose sur une carte Arduino simple et bon marché. Mais son succès dépendra aussi de la publicité qui en est faite !

Il est encore de temps de participer au *Fast Forward Award*. Vous avez une idée novatrice et rêvez de la commercialiser ? Vous ne savez pas comment trouver des partenaires ? Vous n'avez pas de budget marketing ? Décrivez votre projet à l'aide du formulaire de la page ci-dessous et impressionnez notre jury, nous vous aiderons à propulser votre projet sur les rails du succès !

[www.elektormagazine.fr/contest/global-start-up-award-2016](http://www.elektormagazine.fr/contest/global-start-up-award-2016)

(160128)

# hexadoku casse-tête pour elektorniciens

Raspberry Pi, Arduino, Lego, Red Pitaya, Bluetooth, papier électronique...

Et si on mettait tout cela de côté pour revenir au « vrai » papier. Éteignez votre fer à souder et vos instruments de mesure, quittez votre paillasse, et enfin taillez votre crayon, il est l'heure de remplir votre grille mensuelle d'hexadoku.

Une grille hexadoku est composée de chiffres du système hexadécimal, de 0 à F. Remplissez le diagramme de 16 x 16 cases de telle façon que **tous** les chiffres hexadécimaux de 0 à F (0 à 9 et A à F) n'apparaissent **qu'une seule et unique fois** dans chaque rangée, colonne et carré de 4 x 4 cases (délimités par un filet gras).

Certains chiffres, déjà placés dans la grille, en définissent la situation de départ.

Pour participer, inutile de nous envoyer toute la grille, il suffit de nous donner **la série de chiffres** sur fond grisé.



**Participez et gagnez !** Nous tirons au sort **trois** des réponses internationales correctes reçues dans les délais ; leurs auteurs recevront chacun un bon d'achat Elektor d'une valeur de **50 €**.

À vos crayons !

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé) avec vos coordonnées par courriel, avant le **28 octobre 2016** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

## Les gagnants

La solution de la grille du numéro de juillet-août est **D723E**

Les trois bons Elektor d'une valeur de 50 € vont à :

Alain **Dropsit** (France), Michael **Grape** (Allemagne), Edgar **Wolff** (Allemagne).

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

	7		0	4	8					D	2	6		E	
		6			E	5			F	0			C		
			1									A			
F	2			A						1				9	7
C	9	5					6	B					A	D	E
		A		E						F		2			
D					7	1			4	A					8
	F				A	3			0	C				B	
		B		3	0					5	E		1		
		8	C	5		F	D	6	2		3	9	E		
1	6	3				A			B				4	0	2
5	D			C	2					9	0			A	6
		D											5		
3		C			4	0			6	E			7		A
	1	2	B		5	E			D	F		0	9	3	
	0					7	8	2	C					6	

4	9	B	E	D	A	7	2	3	6	1	5	F	0	C	8
3	F	5	8	E	0	B	4	7	2	9	C	D	1	A	6
D	6	1	0	5	8	C	F	B	4	A	E	3	7	9	2
A	2	7	C	1	6	9	3	D	8	F	0	B	E	4	5
2	A	9	5	B	F	D	6	E	3	C	8	0	4	1	7
F	7	3	4	C	9	A	E	0	1	B	6	5	8	2	D
6	0	8	B	7	1	2	5	9	D	4	A	E	F	3	C
E	C	D	1	3	4	8	0	F	5	7	2	6	9	B	A
0	8	F	A	6	5	4	C	1	B	D	7	2	3	E	9
7	B	E	9	8	3	F	D	2	C	0	4	A	5	6	1
C	D	4	3	2	E	1	A	5	9	6	F	7	B	8	0
1	5	6	2	9	B	0	7	8	A	E	3	4	C	D	F
5	E	0	D	A	C	3	9	4	F	2	1	8	6	7	B
8	1	2	7	F	D	5	B	6	E	3	9	C	A	0	4
9	4	C	6	0	2	E	8	A	7	5	B	1	D	F	3
B	3	A	F	4	7	6	1	C	0	8	D	9	2	5	E

Tout recours est exclu, de même que le sont, de ce jeu, les personnels d'Elektor International Media et leur famille. Un seul gagnant par foyer.



- Plus de 45 ans d'expérience
- Envoi en 24 heures
- Plus de 60 000 produits

## CONNECTEURS

chez reichelt.fr ! ... prix très intéressants et livraison rapide !

### LE SPOT PUBLICITAIRE DE REICHEL



rch.it/vfr

FIND OUT MORE ►

ACHETER TOUT DE SUITE EN LIGNE TOUS LES ARTICLES DE CETTE ANNONCE !



rch.it/u0 ►

**NEUTRIK**

**ULTIMATE PLUG!**  
**ADAPTATEUR KLINKE 2 pôles 6,35 mm**

La prise ultimatePLUG met le câble d'instrument automatiquement en mode Muet, ce qui, sous tension, évite les craquements et crissements lors d'un changement de guitare.

- Trois caractéristiques de sonorité en plus
- Durée de vie de plus de 10 000 cycles de branchement

**ATTENTION !** Utilisez la prise mâle uniquement pour des instruments (guitare). Si vous branchez la prise ultimatePLUG sur une sortie d'amplificateur, vous risquez de l'abîmer.

KS ULTIMATE  
**24,33**



**NOUVEAU DANS LA GAMME :**

**PRISE MICROPHONE**  
**PRISES MÂLES XLR TINY**

à partir de **1,85**

REAN T3MC-B	3 pôles	1,85
REAN T4MC-B	4 pôles	2,27
REAN T5MC-B	5 pôles	2,51

**CONNECTEUR TINY XLR**

REAN BRT-L	4-5 mm	0,45
------------	--------	------

**PRISES FEMELLES XLR TINY**

à partir de **2,02**

REAN T3FC-B	3 pôles	2,02
REAN T4FC-B	4 pôles	2,40
REAN T5FC-B	5 pôles	2,73

Vous trouverez d'autres prises audio et vidéo professionnelles REAN sur le site Internet :



www.rch.it/rean

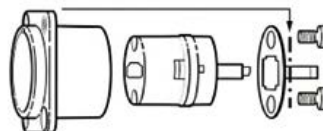


### MEILLEURE TRANSMISSION DES DONNÉES ! PRISE CHÂSSIS HDMI DE HAUTE QUALITÉ

dans un logement noir en forme de D pour la transmission des formats vidéo TV et PC numériques, avec HDTV.

- Étanche aux poussières et à l'eau conformément à la norme IP65
- Connexion de masse amovible

DF HDMI BU19 BK  
**10,17**



**ABONNEZ-VOUS DÈS MAINTENANT ET GAGNEZ !**

Nous offrons tous les mois par tirage au sort un super cadeau technique aux abonnés de notre Newsletter !

**En septembre, nous offrons une SSD 960 GB ultra rapide !**



http://rch.it/NEWSLETTER



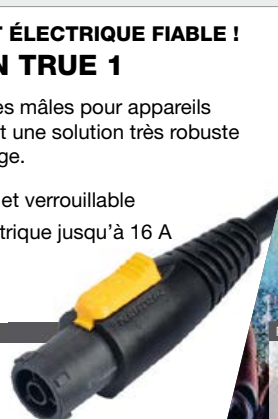
### BRANCHEMENT ÉLECTRIQUE FIABLE ! POWERCON TRUE 1

remplace les prises mâles pour appareils froids lorsqu'il faut une solution très robuste avec un verrouillage.

- Étanche à l'eau et verrouillable
- Résistance électrique jusqu'à 16 A

Câble de rallonge, 1,5 m  
PCON VL H071,5

**10,17**



Prise de courant encastrée pour appareils

PCON STD

**7,06**



Prix du jour! Prix à la date du: 23.08.2016

Prix en € hors T.V.A., frais de port en sus · reichelt elektronik, Elektroniking 1, 26452 Sande (Germany)

Les langues de notre boutique:

MODS DE PAIEMENT INTERNATIONAUX:



ACHETER EN LIGNE TOUT SIMPLEMENT !



**www.reichelt.fr**

ASSISTANCE TÉLÉPHONIQUE EN ANGLAIS: +49 (0)4422 955-360

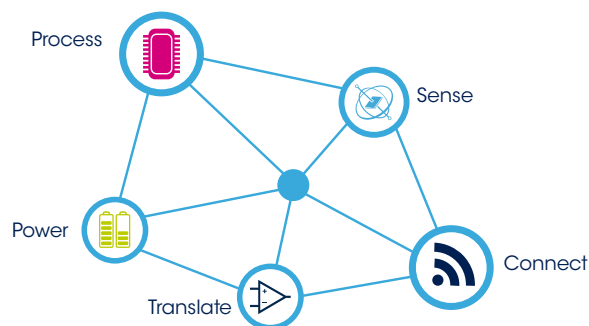


## ST est votre meilleur partenaire pour l'innovation

Découvrez comment les solutions de ST vous aident à développer, prototyper et faire de vos idées une réalité pour le prix «electronica Fast Forward»

ST offre la plus large gamme de composants électroniques de pointe et un ensemble complet d'outils de développement pour faciliter la conception de vos solutions technologiques :

- Microcontrôleurs STM32 à très faible consommation et haute performance
- Capteurs de mouvement, environnementaux et de distance
- Solutions de connectivité à faible consommation incluant Bluetooth Low Energy & NFC
- Solutions de gestion et de récupération de l'énergie
- Composants analogiques et solutions audio



Platinum-Sponsor



Plus d'informations sur  
<http://www.st.com>

