



elektor

DÉCOUVRIR

CRÉER

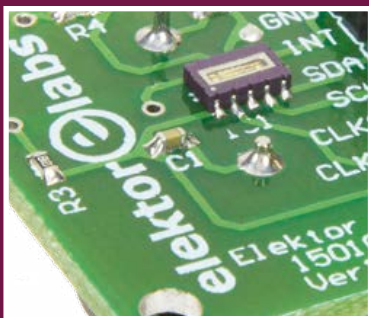
PARTAGER



ainsi soient les LED !
l'éclairage à LED
indétrônable



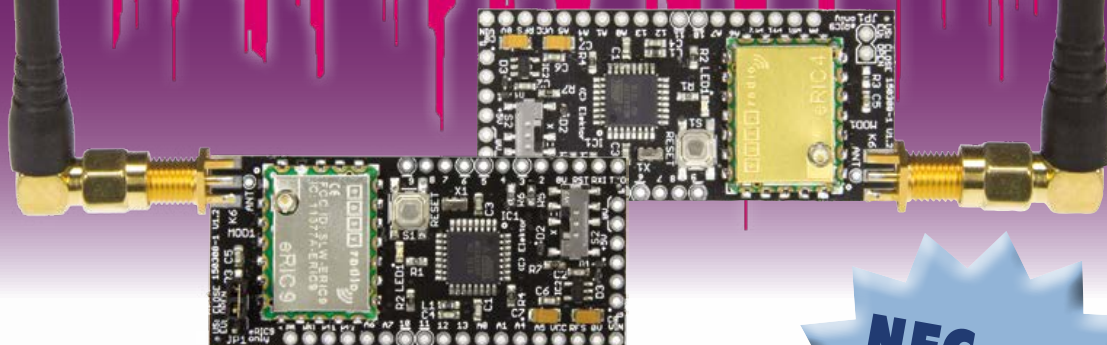
**filtre d'aiguillage
actif**
pour enceinte active

**RV-3029-C2**

un vrai coucou Suisse
sur bus I²C

passerelle radio raffinée

eRIC Nitro



**voici votre tag NFC —
gagnez l'un des 500 prix mis en jeu !**

**NFC avec
Elektor
et ST**

ESP8266 : WLAN pour microcontrôleurs • filtres FIR •
écoute de la radio en différé • (presque) tout savoir sur les
oscilloscopes • *shield* décodeur de morse • Windows sur la carte RPi (2) •
boutons radio RVB pour quiz • inductance saturable • planeur piloté par GPS
• Rétronique : oscilloscope Tektronix 503 • LED-Matrix-Player • gazouillis de
Cheepit • nouvelles applis pour Red Pitaya • anneau de LED programmable •
l'électronique de 2015 vue par nos experts • commande pour moteurs à courant
continu • circuit imprimé pour alimentation universelle • survolteur continu



FAÇONNONS ENSEMBLE L'INTERNET DES OBJETS

NIDays

Rejoignez plus de 1 200 innovateurs issus de secteurs industriels variés, venez échanger avec les équipes NI et découvrez comment les avancées technologiques convergent pour créer un monde plus intelligent et plus connecté, reposant sur des systèmes conçus par logiciel.

Paris, Palais des Congrès
Jeudi 10 mars 2016

Inscription gratuite sur ni.com/nidays.

Suivez-nous sur Twitter : @NIFrance et en live avec #NIDays.

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

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 | 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

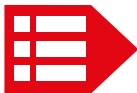
DROITS D'AUTEUR :

© 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 editrice 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 editrice. La Société editrice 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 editrice 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 editrice 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.



Imagination fertile

Ramasseuse à coton ♦ nouveau phonographe standard ♦ phonographe à manivelle ♦ nouvelle dynamo bon marché à vitesse lente ♦ nouvelle dynamo à expansion pyromagnétique ♦ appareil pour sourds ♦ piano électrique ♦ transmetteur téléphonique standard longue distance qui emploiera des éléments d'enregistrement du phonographe ♦ fil de téléphone en fer par télétransmission en paraffine ou autre isolant ♦ platine à pointe trans. utilisant les nouveaux éléments d'enregistrement phono ♦ batterie Gred pour téléphone ♦ pont magnétique amélioré pour travaux pratiques ♦ miroir motographe ♦ relais motographe ♦ téléphone pratique motographe ♦ câble artificiel ♦ moteur de téléphone pour travailler en 100 volts CKTS ♦ cylindres phono à duplication ♦ grosse machine d'isolation à mouture de minerai ♦ engin de maintien pour sable ferreux ♦ soie artificielle ♦ horloge phonographique ♦ relais quadriphonique neutre ♦ machine à alternateur + transformateur ♦ encre pour aveugles ♦ substitut pour caoutchouc dur ♦ voltmètre bon marché ♦ batterie craie ♦ phonographe à disque ♦ transformateur à condensation ♦ batterie + lampe mineurs ♦ ivoire végétal adouci en feuilles de presse ♦ brûleur de kérosène régénératif ♦ fil de bore...

Cette énumération n'est qu'un extrait de la « liste des choses en cours et à faire » de Thomas Edison, du 3 janvier 1888*. Les préoccupations de ce pionnier ne sont pas si éloignées de celles des électroniciens d'aujourd'hui. Cet inventeur et industriel prolifique s'intéresse entre autres à la production d'énergie, aux systèmes de communication et aux matériaux artificiels. À la page 120, vous trouverez de quoi commencer une « liste des choses en cours et à faire » en 2016. En effet nous avons demandé à différents collaborateurs d'Elektor de dresser un bilan de l'année électronique 2015 et de nous dire quelle technologie leur semblait la plus prometteuse pour 2016.

Et vous, quels projets avez-vous en tête ? Allez-vous concevoir une carte révolutionnaire ou écrire un logiciel sensationnel ? Trouver une utilisation inédite de composants existants ? En 2016, laissez-vous emporter par votre imagination comme M. Edison !

Je vous souhaite une année électronique créative et féconde.

Mariline Thiebaut-Brodier

* Source : *Au bonheur des listes, recueil de listes historiques inattendues et farfelues*, de Shaun Usher et Claire Debru, Éditions du Sous sol

Notre équipe

Rédactrice en chef :	Mariline Thiebaut-Brodier (redaction@elektor.fr)
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 :	Thierry Destinobles, Eric Dusart, Robert Grignard, Emilie Hentgens, Jean-Louis Mehren, Denis Meyer, Hervé Moreau, 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)
- 26 technologie NFC ST25TA de STMicroelectronics
- 30 NFC avec Elektor et ST voici votre tag NFC, gagnez l'un des 500 prix mis en jeu !
- 32 ElektorBusiness morceaux choisis – nouveaux µC AVR
- 79 agenda janvier/février 2016
- 104 l'e-shop d'Elektor
- 120 l'électronique de 2015 vue par nos experts
- 126 des nouvelles du monde d'elektor
- 130 hexadoku casse-tête pour elektorniciens

LEARN

DESIGN

SHARE

- 8 bienvenue dans la section DÉCOUVRIR
- 9 trucs et astuces réparer un STK600 défectueux
- 10 ainsi soient les LED ! les LED détrônent toutes les autres formes d'éclairage (ou presque)
- 16 Q&R (presque) tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur... les oscilloscopes
- 18 Windows sur la carte RPi (2) télécommande et afficheur à 7 segments
- 22 trucs & astuces pour Eagle (4) routage de signaux rapides
- 24 inductance saturable drôle de composant n°22

LEARN

DESIGN

SHARE

- 36 bienvenue dans la section CRÉER
- 37 WLAN pour microcontrôleurs avec la puce ESP8266
- 42 filtre d'aiguillage actif pour enceinte active flancs raides sur trois voies
- 48 écouter la radio en différé FM, j'te play plus, j'te rembobine



eRIC Nitro

passerelle radio raffinée



FILTRE D'AIGUILLAGE ACTIF

POUR ENCEINTE ACTIVE

42



Une enceinte active est nettement plus chère qu'une passive, c'est vrai, mais quelle différence de technique audio et de qualité de son ! Les amateurs de haute-fidélité le savent bien. Elektor a publié en mars 2014 mon projet d'ampli pour enceinte active, aujourd'hui, c'est au tour du filtre d'aiguillage actif de venir l'électrifier complètement.

- 52 shield décodeur de morse Arduino Uno comprend taah-ti- taah
- 56 boutons radio RVB pour quiz sans peur des coups, ni fil
- 60 planeur piloté par GPS vol autonome
- 64 RV-3029-C2, un vrai coucou Suisse horloge en temps réel avec calendrier, enfichable, ultra-précise, sur bus I²C et sans radio !
- 69 LED-Matrix-Player les LED font voir toutes leurs couleurs





eRIC À VOTRE SERVICE

La carte eRIC Nitro est une plateforme fantastique pour les projets Arduino qui ont besoin de liaisons sans fil. Internet regorge de capteurs, actionneurs et autres cartes de liaison Wi-Fi qui n'attendent que d'être reliés à cette carte. De plus vous pouvez aussi programmer le module eRIC dans son environnement natif. Alors, qu'allez-vous faire avec eRIC ?

80



AINSI SOIENT LES LED

LES LED DÉTRÔNENT TOUTES LES AUTRES FORMES D'ÉCLAIRAGE (OU PRESQUE)

Cela aura pris du temps, mais l'heure du changement a sonné. Les lampes à LED ont colonisé les rayons des GSB et le credo selon lequel les LED concourent aux économies d'énergie n'est plus du tout contesté. Même les élus locaux font figure d'éclairés en optant de plus en plus pour les semi-conducteurs dans l'éclairage public, que ce soit dans les grandes villes ou les petits villages. Découvrez pourquoi.

10

- 74 gazouillis de Cheepit**
ou comment programmer un μC avec un fichier audio
- 80 eRIC Nitro**
passerelle radio raffinée, à faible puissance
- 85 anneau de LED programmable**
compatible avec Arduino
- 88 commande pour moteurs à courant continu**
impulsions de rotation sous contrôle !
- 92 circuit imprimé pour alimentation universelle**
avec trois tensions de sortie au choix



- 95 survolteur continu**
haute tension à partir d'une alim de labo
- 98 hors-circuits avec R. Lacoste**
le filtrage numérique sans stress : les filtres FIR

LEARN**DESIGN****SHARE**

- 108 bienvenue dans la section PARTAGER**
- 109 des étincelles pour déclencher un dispositif**
- 110 de l'électronique à vapeur ?**
ce n'est qu'une question d'habillage
- 112 Rétronique : oscilloscope Tektronix 503**
qui fera mieux dans 55 ans ?
- 116 nouvelles applis pour Red Pitaya**
oscilloscope/générateur & analyseur de spectre
- 119 bruits de labo...**
pour résoudre les problèmes domestiques



bientôt sur ces pages

Platino – nouvelle version

Platino, la carte universelle d'Elektor compatible AVR pour les contrôleurs ATmega à 28 et 40 broches a été revue et passe à la version 1.4. Elle a été redessinée, elle présente maintenant un régulateur de 3,3 V et une meilleure accessibilité pour le second UART du contrôleur à 40 broches.

Analyseur de signal connecté

Cet instrument de mesure tout-en-un, avec générateur de signaux, fonctions d'oscilloscope et d'analyseur de spectre peut compter sur la puissance de calcul d'un PC pour traiter les données mesurées. C'est Ethernet qui assure la liaison avec le PC de commande.

Les secondes pour l'horloge Nixie à récepteur GPS

Une horloge aussi précise que celle à Nixie d'octobre 2014 mérite bien d'afficher les secondes. Cette évolution nécessite une mise à niveau du microcontrôleur, un PIC18F4420 prend la relève.

Sous réserve de modification.

Le numéro de janvier-février 2016 paraîtra le 29 décembre 2015.

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



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



Elektor PCB Service : gravure à la demande de vos circuits imprimés, en un ou plusieurs exemplaires. www.elektorpcbservice.com



Elektor GRATUIT & SANS PAPIERS : lettre d'information hebdomadaire à l'affût des nouveautés. Gratuite : www.elektor.fr/inscription



Elektor Academy : l'apprentissage par la pratique au travers de webinaires, séminaires, ateliers, DVD... www.elektor-academy.com



Elektor Boeken & DVD's: Arduino, Raspberry Pi, microcontrôleurs, Linux et bien d'autres. 10 % de remise pour les membres ! www.elektor.fr



Elektor TV : présentations, comptes-rendus, déballage et évaluation de produits. Pour y voir plus clair. 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.elektor-labs.com

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

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

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

78

pays

246853

membres actifs

1031

experts & auteurs

479

publications

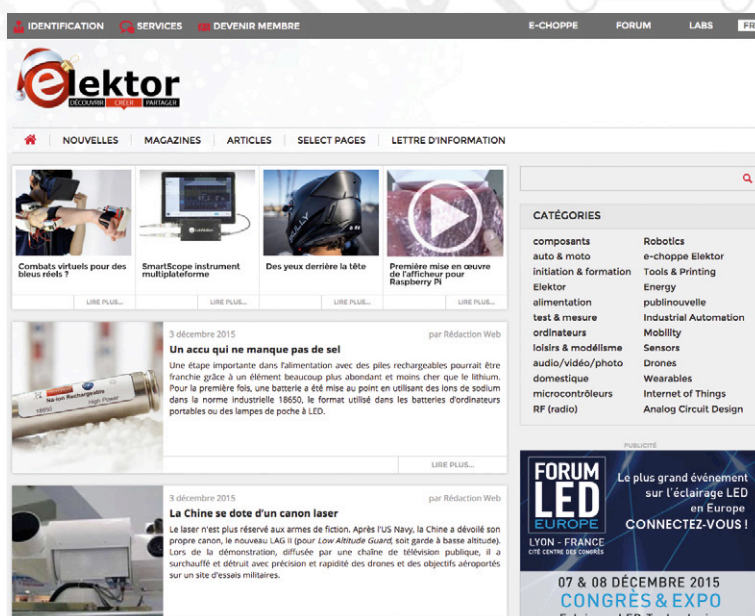
233628

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 hebdomadaire 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

Les lecteurs seront d'accord avec moi : l'électronique est un domaine trop vaste pour que nous soyons tous continuellement à la page.

Depuis environ deux mois, nous sommes sept collaborateurs chez Elektor à produire/éditer du contenu pour vous. Il ne s'agit pas uniquement des magazines et livres imprimés, mais également de contenus en ligne et de vidéos. Nous avons décidé de nous concentrer chacun sur un thème différent.

Nous affronterons donc le déluge de communiqués de presse, éplucherons toutes les sources possibles, garderons contact avec les entreprises, visiterons des salons et bien plus encore. Naturellement nous nous sommes réparti les domaines selon nos affinités et compétences. Pourtant, tout comme vous, nous ne cessons jamais d'apprendre. Si vous avez des suggestions/propositions d'articles et/ou de livres, ou si vous avez juste découvert quelque chose d'intéressant sur l'un de ces thèmes, écrivez-nous à redaction@elektor.fr.

Nous exercerons nos talents dans l'un des sept arts (heu ! non) domaines de prédilection suivants :



Clemens Valens

microcontrôleurs & cartes,
soudage &
circuits imprimés



Harry Baggen

mesure & test, simulation
& conception de circuits,
circuits audio



Thijs Beckers

automobile, LED & écrans,
ordinateurs & lecteurs
multimédias



Jan Buiting

alimentation, électronique
de puissance, HF,
rétro-électronique



Rolf Hähle

automatisation
(domotique),
électronique industrielle



Denis Meyer

électronique verte,
loisirs & modélisme,
musique



Jens Nickel

internet des objets &
systèmes connectés,
logiciels

Elektor thématique

En 2016, chaque numéro d'Elektor sera en grande partie consacré à un thème particulier. Ce numéro double vient réchauffer la froideur hivernale avec de la lumière puisqu'il a pour thème « LED et éclairage ». Vous trouverez dans la rubrique DÉCOUVRIR un article de fond sur ce sujet. Notre contributeur externe Thomas Scherer rappelle quelques connaissances de base sur les LED, résume leur histoire et parle des dernières nouveautés en matière d'éclairage à LED et OLED. ◀

(150557 - version française : Thierry Destinobles)



trucs et astuces

les lecteurs écrivent aux lecteurs

Encore des solutions futées qui facilitent la vie des électroniciens



Réparer un STK600 défectueux

Wolfram Pioch



La STK600 d'Atmel est une carte de développement puissante et flexible pour microcontrôleurs AVR au prix respectable de 300 €. Quelle déveine : après le câblage d'une STK600 avec les connecteurs pour LED de deux cartes STK500, le STK600 ne répond plus aux commandes sur le port USB ; la consommation de courant grimpe à plusieurs centaines de mA. Le courant doit être converti en cha- leur quelque part.

Avec mon doigt comme thermomètre, je découvre rapidement le composant concerné ; il est tout près du jack d'alimentation (cercle rouge, **fig. 1**).

Un petit tour sur Internet m'apprend que je ne suis pas le seul concerné par cette mésaventure. En [1], vous trouverez une vidéo qui montre comment remplacer le convertisseur CC/CC TPS62040 défectueux, un circuit intégré en boîtier MSOP-Powerpad avec Thermalpad sur le dessous [2]. Je ne suis toujours pas de meilleure humeur, car, sans parler de l'approvisionnement, le montage comporte certains risques.

Toutefois il y a plus facile et moins cher. Le régulateur du STK600 doit fournir 5 V à partir des 6,1 V à l'entrée. Un régulateur à faible tension de déchet comme le LM2940 (5 V), qui présente une plage de tension d'entrée plus large, peut aussi le faire [3]. Contrairement au régulateur à découpage, il supporte même 1 A.

Le déssoudage du circuit intégré défectueux à l'air chaud ne pose que peu de problèmes (la consommation de courant de la carte retombe alors à quelques mA).

Heureusement, les positions des condensateurs à l'entrée et la sortie du régulateur à découpage permettent de monter le régulateur linéaire de substitution. Comme le montre la **figure 2**, il faut, avant la mise en place, raccourcir légèrement les pattes du LM2940 et les replier. Pour la sécurité, on colle un coussinet isolant (matériau de platine sans cuivre) sur le dessous.

Sur la **figure 3**, on voit comment le régulateur est soudé aux condensateurs à côté du régulateur à découpage enlevé.

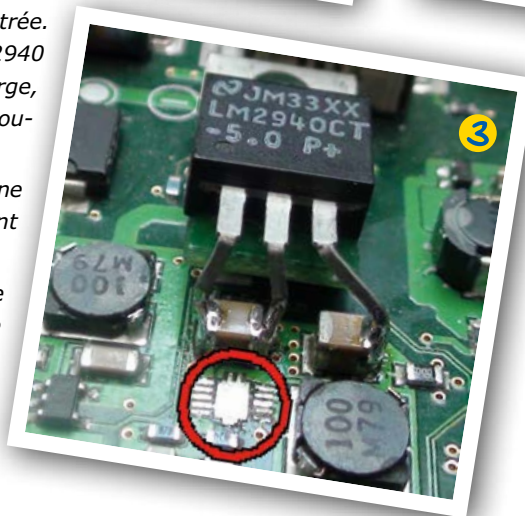
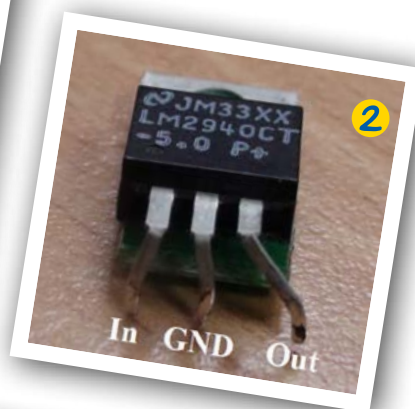
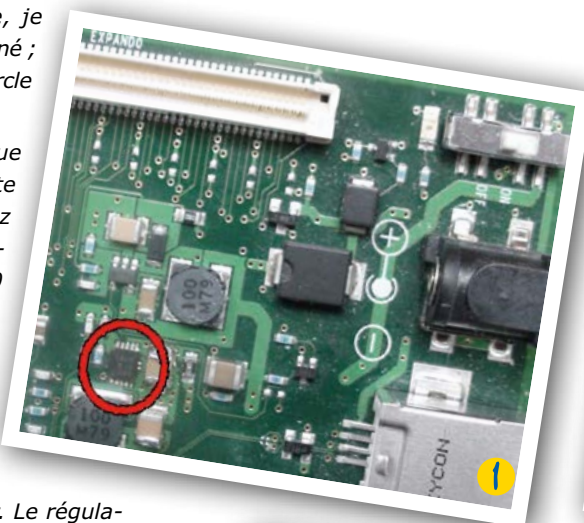
Résultat : le STK600 reprend du service.

(150562 - version française : Guy Raedersdorf)

[1] www.youtube.com/watch?v=Xr4maDazcWY

[2] www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62040.pdf

[3] www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2940-n.pdf



Vous avez une solution futée pour arranger une bricole... Une façon bien à vous d'utiliser un composant ou un outil... Vous savez comment résoudre un problème plus facilement ou mieux qu'avec la solution actuelle... Écrivez-nous – chaque astuce publiée vous rapportera 40 € !



ainsi soient les LED !

les LED détrônent toutes les autres formes d'éclairage (ou presque)

Thomas Scherer (Allemagne)



Cela aura pris du temps, mais l'heure du changement a sonné. Les lampes à LED ont colonisé les rayons des GSB et le credo selon lequel les LED concourent aux économies d'énergie n'est plus du tout contesté. Même les élus locaux font figure d'éclairés en optant de plus en plus pour les semi-conducteurs dans l'éclairage public, que ce soit dans les grandes villes ou les petits villages. Découvrez pourquoi.

L'histoire des LED remonte à fort longtemps. Il fallait d'abord découvrir l'effet diode des semi-conducteurs. Le physicien allemand Ferdinand Braun y parvient dès 1874 avec son détecteur à cristaux, une diode Schottky de fait. Ensuite Henry Joseph Round, le pionnier britannique de la radio, découvre en 1907 que les points de contact de ces diodes émettent de la lumière. Il décrit même l'apparition de diverses couleurs selon les matériaux, dans différentes configurations et sous plusieurs tensions.

Les premières LED

L'histoire ne commence vraiment que plusieurs années après, quand les semi-conducteurs, dont l'importance ne

cesse de croître, prennent le relais des tubes électroniques et que leur utilisation est maîtrisée tant sur le plan technologique qu'industriel. Les recherches se concentrent alors surtout sur les différents effets de divers semi-conducteurs. En 1955, Rubin Braunstein (RCA) met au point une première LED à base d'arséniure de gallium qui émet des infrarouges. Dans les années 1960, tout s'enchaîne : la LED IR est brevetée [1] par James Biard (**fig. 1**) et Texas Instruments parvient à la produire en série en 1962. La première LED commercialisée dans le monde est logée dans un boîtier métallique semblable au TO-18, doté d'une lentille. Avec un courant de 100 mA, elle émet une lumière IR de 1,5 mW, à 940 nm. Avec

son rendement alors de 1,1 %, elle n'a pas à rougir du tout !

La première LED à émettre une lumière visible rouge est aussi conçue en 1962, par Nick Holonyak (General Electric). L'un de ses étudiants, M. George Craford, invente la LED jaune dix ans plus tard et multiplie par dix l'efficacité énergétique des LED rouges. Ces dernières, au prix rapidement abordable, sont d'abord utilisées pour remplacer les voyants lumineux dotés de filaments à incandescence ou remplis de gaz rougeoyants. Dans les années 1970, vous avez peut-être arboré avec fierté une montre à afficheur à 7 segments de LED, que vous allumiez brièvement, consommation

électrique oblige. Pour les premières culottes aussi, les LED sont incontournables. D'ailleurs, RCA a déjà inventé les LED bleues à cette époque. Avec les LED rouges, jaunes, vertes et bleues, le spectre est alors complet. Comme les LED sont fiables et faciles à piloter avec une faible puissance, elles s'imposent dans les afficheurs. Pour l'éclairage cependant, leur rendement reste trop faible.

LED claires

Les nombreux avantages offerts par les lampes à LED par rapport aux lampes usuelles avec filament à incandescence ou remplies de gaz apparaissent rapidement. En premier lieu, il y a leur fiabilité et leur durée de vie longue, particulièrement intéressantes pour les frais de maintenance quand le remplacement s'avère fastidieux. À côté des lampes fluorescentes, encore plus efficaces à l'époque, elles se distinguent par leur grande résistance à l'allumage et la vitesse avec laquelle elles atteignent leur luminosité maximale. Malgré tout, il faut plus de lumière !

L'ingénieur américain Shuji Nakamura met au point les premières LED bleu clair, à base de nitrure de gallium. À partir de 1993, elles sont produites en série par Nichia (Japon). Avec les chercheurs japonais Samu Akasaki et Hiroshi Amano, Shuji Nakamura reçoit à ce titre le prix Nobel de physique en 2014, ce qui montre combien la lumière des LED est devenue importante. Cela se reflète également dans les chiffres d'affaires : en 2015, le marché mondial des LED représente un volume d'environ 16 milliards de dollars US, dont à peu près la moitié est consacrée à l'éclairage.

Enfin, Nichia obtient en 2006 un rendement surprenant de 22 % avec des LED bleues en laboratoire ! À comparer avec le rendement famélique des lampes à incandescence compris entre 3 % et 5 %... L'efficacité lumineuse atteint donc une valeur décente de 150 lm/W. Entretemps, Cree bat un record avec 300 lm/W ! Même si c'est en laboratoire, cette valeur est extraordinairement élevée. Pour la lumière blanche, la limite physique du rendement se situe autour de 350 lm/W pour une température de couleur de 6 600 K.

LED blanches

Il reste une question sans réponse : comment créer une lumière blanche avec

des semi-conducteurs ? Le blanc est un mélange de plusieurs couleurs que l'œil humain perçoit comme blanc. Petit rappel de physique : un prisme décompose la lumière du soleil en un superbe arc-en-ciel de couleurs spectrales. Un filament spiralé incandescent, utilisé comme source de rayonnement thermique, crée aussi un tel spectre, mais légèrement jaunâtre : la lumière bleue, à haute fréquence, émise par un filament chauffé à un peu plus de 2 000 K, est plus faible que pour la lumière du jour. La construction de LED blanches est désormais possible : combinez trois puces sur un support, chacune dotée d'une LED rouge, verte ou bleue ; le mélange additif des trois couleurs produit de la lumière blanche, comme sur un téléviseur. Ces LED RVB présentent un avantage : pouvoir faire varier la couleur de la lumière en commandant séparément chacune des trois puces. La LED Ostar (**fig. 2**) a été conçue pour ce type d'application. Avec quatre puces, l'ambiance lumineuse peut être réglée avec une grande précision, en particulier pour l'éclairage scénique.

Pour une utilisation normale, ces structures multi-puces sont trop sophistiquées et trop chères. Avec une découverte géniale, Jürgen Schneider apporte la solution en 1995 à l'institut Fraunhofer de physique du solide appliquée. Peu de temps avant son départ à la retraite, il réussit à développer une LED blanche mono-puce à l'aide d'une couche de phosphore pour la conversion des couleurs. Concrètement, la LED bleue est recouverte de phosphore. À l'image d'une lampe fluorescente, une partie de la lumière bleue est convertie en lumière jaune de fréquence plus basse. En principe, on a affaire au mélange de couleurs additif. On peut voir sur la **figure 3** le spectre qui en résulte (en bas), le pic du bleu originel et la bande spectrale relativement large du phosphore. Comme celle-ci n'est pas celle du jaune pur, on obtient du blanc avec seulement deux couleurs et un mélange spectral adapté. La **figure 4** montre une LED de haute puissance actuelle de Lumileds : la couche jaunâtre de phosphore recouvre toute la puce. Les LED témoin blanches, bon marché, de 5 mm (à 0,10 €), ont la même structure.

Les LED blanches non-RVB peu chères sont aujourd'hui la norme. On les trouve

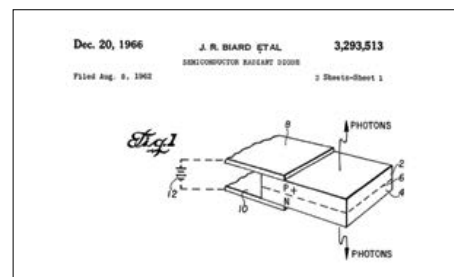


Figure 1. Schéma du brevet de la première LED appelée *Semiconductor Radiant Diode*.

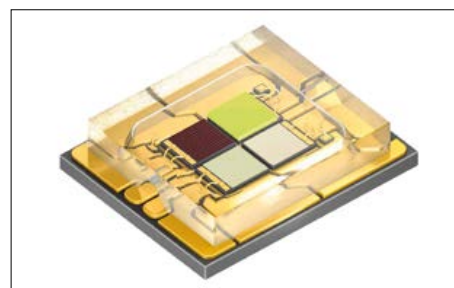


Figure 2. LED de haute puissance, multi-puces, de 30 W : *Ostar Stage* d'Osram. Une LED blanche est ajoutée aux LED rouge, verte et bleue. Elle est conçue principalement pour les projecteurs scéniques.

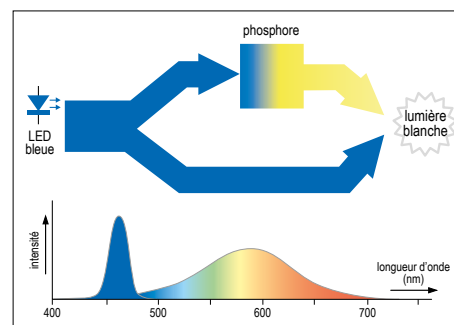


Figure 3. Principe de fonctionnement et spectre d'une LED blanche, mono-puce, recouverte d'une couche de phosphore pour la conversion et le mélange des couleurs.



Figure 4. LED d'ultra haute puissance actuelle, modèle *LUXEON CoB 1216*. Sur un support en céramique, de nombreuses LED bleues montées en série sont recouvertes d'une couche de phosphore commune. Les LED émettent un incroyable flux lumineux de 15 000 lm.

Efficacité énergétique et C^{ie}

En matière d'éclairage, l'efficacité lumineuse (lm/W) est un critère primordial, elle a une incidence économique (prix d'achat), mais aussi écologique. La durée de vie, et des facteurs spécifiques tels que la maintenance, se répercutent aussi sur les coûts. Les lampes à économie d'énergie par ex. ne sont pas du tout adaptées à l'éclairage des cages d'escalier parce qu'elles supportent mal les commutations fréquentes – contrairement aux LED et OLED qui excellent dans cette discipline. La qualité de la lumière est aussi un critère de sélection : les lampes à vapeur de sodium sont très efficaces et disponibles depuis longtemps déjà, mais leur lumière jaune à bande très étroite ne se prête pas à l'éclairage domestique ou à celui des bureaux. Le recyclage joue lui aussi un grand rôle : la teneur en mercure des lampes fluorescentes les classe automatiquement dans la catégorie des déchets dangereux. Grâce à la chute considérable des prix, leur efficacité accrue, l'interdiction des ampoules à incandescence (aussi en dehors de l'UE depuis quelque temps) et l'incroyable

diversité des modèles, les LED dominent aujourd'hui le marché de l'éclairage. D'ici à 2020, la part des LED devrait représenter 75 % du marché. Et à raison, puisqu'une lampe à LED de 10 W du commerce revient à 80 € au total, prix d'achat (5 €) et durée de vie de 30 000 h compris. L'équivalent de 30 lampes à incandescence de 60 W plus leur consommation électrique obligerait à dépenser six fois ce montant pour la même durée. Sans compter les émissions de dioxyde de carbone, nettement plus élevées. Certains types de lampes ne sont nécessaires que pour des applications particulières. Même les lampes à incandescence bénéficient encore d'exceptions : elles sont par ex. encore tout à fait adaptées à l'éclairage des fours à haute température. Les OLED quant à elles ont sans nul doute un énorme potentiel. Grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique, durée de vie et coût, l'éclairage non éblouissant des OLED pourrait envahir nos foyers et bureaux sous des formes esthétiques novatrices.

Tableau 1

type de lampe	application	qualité de la lumière	durée de vie (kh)	efficacité lumineuse (lm/W)	puissance (W)
Lampe à incandescence	générale	bonne/jaunâtre	1	10 à 16	jusqu'à 1 000
Lampe halogène	générale	très bonne	2	12 à 18	jusqu'à 2 000
Lampe fluocompacte	domestique	limitée/bonne	5 à 10	50 à 60	3 à 25
Tube fluo	bâtiments	limitée/bonne	5 à 15	60 à 100	10 à 60
LED (labo)	-	-	jusqu'à 100	> 300	< 1 à 50
Lampe à LED	générale	bonne	30	80 à 120	2 à 15
LED RVB	spéciale	très bonne	20 à 50	50 à 150	< 1 à 30
OLED	générale	bonne	> 10	40 à 60	< 20
Vapeur de sodium	voie publique	jaune / 590 nm	30	150	35 à 1 000
Vapeur de mercure	bâtiments	mauvaise	> 10	40 à 60	50 à 1 000

Unités relatives à la lumière

Le sujet est aussi « épineux » qu'en magnétisme, car ici aussi, les unités usuelles sont légion. Voici les plus importantes :

Flux lumineux : utilisé à des fins de comparaison dans les questions d'éclairage. Unité = lumen (lm). Il correspond à la quantité de lumière rayonnée par unité de temps. Une lumière vert clair (550 nm) émet une puissance de 1 W = 683 lm.

Intensité lumineuse : avant tout pour les petites LED témoin... dans la plage des mW. Unité = candela (cd). L'émission de 1 lm par stéradian (1 sr) correspond à l'angle solide avec une surface de 1 m² sur une boule d'un rayon de 1 m) équivalait à 1 cd.

Éclairement lumineux : ce que l'on désigne habituellement par la luminosité d'une surface éclairée. Unité = lux (lx). 1 lx correspond à l'éclairage de 1 m² avec 1 lm.



Efficacité lumineuse : mesure de l'efficacité de la conversion de l'énergie électrique en lumière, c'est un bon point de référence. Unité = lumen par watt (lm/W). La limite physique de l'efficacité énergétique des LED blanches est d'environ 50 % (= 350 lm/W) pour un spectre quelque peu irrégulier.

Indice de rendu de couleur : grandeur sans unité abrégée R_a ; c'est un pourcentage qui exprime la capacité de restitution fidèle des couleurs (un facteur de qualité de la lumière) par rapport à la lumière du soleil, mesurée avec huit couleurs de test. La lumière du soleil est donc caractérisée par un R_a de 100. Seules les lampes halogènes atteignent cette valeur. Les LED blanches affichent des pourcentages compris entre 75 et 95 %.



Figure 5. Les lampes à LED sont disponibles sous toutes sortes de formes, températures de couleur et variantes. Ici, un modèle classique de 10 W avec culot E27 et un petit spot de 4 W doté de trois LED et d'un socle GU10.



Figure 6. Éclairages de rue à LED récemment installés dans le village de l'auteur, de nuit.

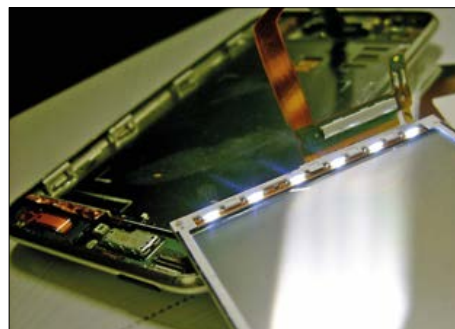


Figure 7. Rétroéclairage à LED de type « edge-lit » (périphérique) d'un iPod d'Apple (photo : ReTheCat, Wikimedia.org)

► Le principal avantage des OLED est le faible coût de leurs matériaux et leur technique de fabrication relativement simple.

dans presque toutes les lampes à LED domestiques (**fig. 5**), l'éclairage public (**fig. 6**), le rétroéclairage des écrans d'ordinateur, télévision et appareils mobiles (**fig. 7**) et même dans les phares avant de voiture depuis peu (**fig. 8**). En boîtier CMS 0201, elles fournissent une puissance de 50 mW, mais elles peuvent délivrer jusqu'à plusieurs centaines de watts dans des modules de la taille d'une main. Elles représentent la part du marché des LED à la croissance la plus rapide.

OLED

Par rapport aux LED anorganiques « normales », les OLED sont beaucoup plus récentes. Au début des années 1950, le physicien français André Bernanose observe des phénomènes d'électroluminescence sur des matériaux organiques. En 1965, Dow Chemical (États-Unis) dépose finalement un brevet sur des cellules électroluminescentes alimentées par des tensions alternatives élevées d'environ 1 kV, à une fréquence de plusieurs centaines de hertz. Avec la découverte de polymères lumineux en 1975, le physicien anglais Roger Partridge ouvre la voie aux OLED modernes. En 1987, Ching Tang et Steven Van Slyke (Kodak) créent des semi-conducteurs en polymère. Les OLED restent longtemps cantonnées à l'expérimentation, toutefois à partir de 2004, de plus en plus d'OLED à potentiel commercial sont développées. Aujourd'hui, Universal Display Corporation détient de très nombreux brevets

sur les OLED. Pour l'affichage, un grand fabricant coréen de téléviseurs et autres appareils électroménagers (LG) domine la concurrence.

Les cellules modernes sont constituées de deux couches (**fig. 9**) : sur un substrat en matière synthétique ou en verre, on dépose une anode fine faite d'un matériau conducteur, mais transparent tel que l'oxyde d'indium-étain (ITO). Sur l'anode vient ensuite la couche en polymère (couche de transport des trous, HTL) puis la couche d'émission (EL) qui contient les colorants. Enfin, la cathode en général métallique est appliquée. Les électrons et les trous se déplacent les uns vers les autres lorsqu'un courant circule puis se recombinent pour former des excitons. Selon la couleur, un photon est créé par ce biais, directement ou indirectement. Les OLED très efficaces sont constituées de complexes organométalliques.

Le principal avantage des OLED est le faible coût de leurs matériaux et de leur technique de fabrication : les couches de ces matériaux ne sont pas aussi fines que celles des semi-conducteurs anorganiques, n'exigent pas les conditions sévères des salles blanches. Les couches de polymère peuvent même être imprimées. Autre avantage : la flexibilité des couches. Les supports en matière synthétique permettent la fabrication d'OLED flexibles, et donc d'écrans flexibles. Avec différents colorants, les OLED de toutes les couleurs et même blanches

deviennent une réalité. Selon les structures, les OLED actuelles affichent des tensions directes de l'ordre de 3 à 6 V. Un inconvénient subsiste néanmoins, à savoir leur efficacité limitée, car elles ne font pas encore jeu égal avec les LED anorganiques. Ce qui vaut aussi pour la



Figure 8. Phare avant à LED d'une Mercedes Classe E (photo : A. Bailey).

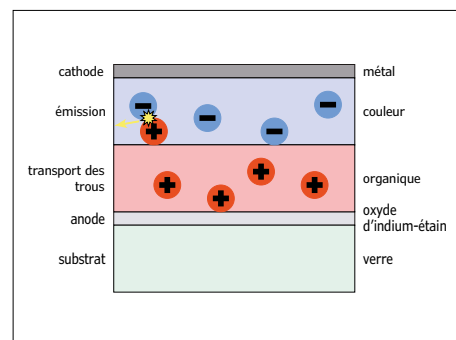


Figure 9. Structure typique en couches des OLED actuelles.

Attention aux lampes à LED !

Ces derniers temps, la part du marché des LED a non seulement considérablement progressé, mais l'offre est également devenue complètement illisible. Néanmoins, quelques règles générales et grands critères peuvent servir de référence :



- Variateur :** avant de l'acheter, vérifiez avec quel type de lampe vous l'utiliserez. Les lampes à LED adaptées à une utilisation avec variateur sont extrêmement chères. L'utilisation avec variateur doit être explicitement indiquée sur l'emballage, sous peine d'avoir dans le meilleur des cas une lumière vacillante, ou au pire une lampe hors service en peu de temps. L'éclairage à intensité variable s'est amélioré ces dernières années, mais n'a pas encore rattrapé les lampes à incandescence : pour les faibles intensités, il existe une luminosité de seuil en dessous de laquelle la lampe s'éteint. Une atténuation progressive d'une faible lumière n'est possible qu'en investissant dans des systèmes spéciaux, onéreux, dotés de lampes à LED commandées par MLI.
- Couleur de la lumière :** en règle générale, la température de couleur est indiquée pour les lampes à LED. Elle caractérise une lumière plutôt chaude ou jaune, ou au contraire plutôt froide ou bleue ; elle correspond au spectre d'une source de rayonnement thermique à une température donnée. Une température de couleur de 2 700 à 3 300 K émet une lumière chaude, privilégiée dans les foyers du Nord. Autour du bassin méditerranéen et à proximité de l'équateur en revanche, les températures de couleur supérieures à 4 000 K procurent un certain bien-être. Pour les postes de travail également, les tons moins chauds sont davantage indiqués. Les valeurs comprises entre 5 000 et 6 000 K correspondent à une lumière du jour blanche neutre. À 8 000 K environ, la lumière devient véritablement bleue. De telles valeurs ne sont pas du tout habituelles pour les lampes à LED.
- Lumière et puissance :** l'efficacité énergétique des lampes à LED s'améliore peu à peu, mais les produits du commerce affichent encore la plupart du temps une efficacité lumineuse de 80 lm/W seulement. Pour remplacer une lampe à incandescence de 60 W, il faut donc une lampe à LED de 10 W pour obtenir env. 800 lm. Les lampes à LED typiques de 3 W, disponibles surtout avec un culot E27 pour les modèles plus petits, font plutôt « loupiotes » avec leurs 250 lm, puisqu'elles correspondent à une lampe à incandescence de 20 W. Lors de l'achat de lampes à LED, il est recommandé de choisir un modèle plus puissant et de ne pas se tromper d'économies.
- Qualité :** soupçonner toutes les lampes LED produites en Chine d'être d'une moindre qualité est sans doute faux : que ce soit clair, presque toutes les lampes à LED (même très chères pour certaines) sont fabriquées en Asie. La qualité de la technique d'une lampe à LED se mesure avant tout par sa capacité à évacuer la chaleur. Car c'est d'elle que dépend la durée de vie. Même une lampe de 10 W produit 8 à 9 W de chaleur. Les ailettes de refroidissement visibles ne sont donc pas là pour rien. À cela s'ajoute le travail d'intégration de l'alimentation à découpage, toutefois impossible à juger de l'extérieur.
- Brebis galeuses :** la possibilité de faire de l'argent sur ce marché est telle, qu'ici aussi, les brebis galeuses se bousculent. Pour quelques deniers, l'auteur de ces lignes a commandé il y a deux ans « la bonne affaire » représentée à la **figure 12**. Il n'est pas facile d'y jeter un œil à l'intérieur habituellement, ou l'occasion ne se présente même pas. Mais un emballage de mauvaise qualité et quelques violentes turbulences pendant le transport ont eu raison de la lampe, trouvée béante dans l'emballage, et révélant ainsi sa pauvre vie intérieure : une électronique douteuse des plus sommaires en lieu et place d'une alimentation à découpage, et une résistance de protection pour la limitation des pics de courant à l'allumage manquait même à l'appel ! Par ailleurs, la lampe vantée pour sa puissance de 10 W ne délivrait concrètement que 7 W, comme le stipulaient les inscriptions sur le circuit imprimé de la LED, confirmées par une mesure. Le constat était là : « *vous en avez pour votre argent !* ». Malgré tout, elle fonctionne encore aujourd'hui...



Figure 10. OLED actuelles dans des carreaux lumineux de Philips (photo : Philips). Les installations de production des OLED ont été transmises entretemps à l'entreprise OLEDWorks.

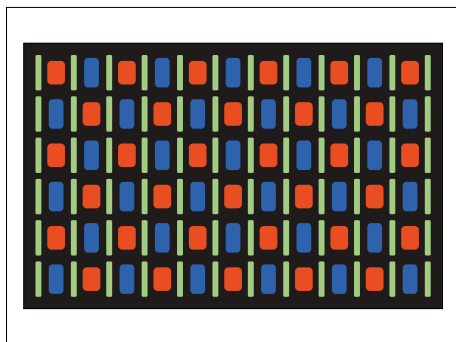


Figure 11. L'agencement typique des pixels d'un écran AMOLED sur un ordiphone Nexus de Samsung montre une nette différence par rapport aux LCD RVB.



Figure 12. Vie intérieure d'une lampe à LED bon marché : condensateur série, diode, condensateur de découplage et tube à décharge. L'inscription dit : 7 W seulement, au lieu des 10 W annoncés !

durée de vie, aujourd'hui env. 10 000 h. Mais il y a des progrès.

Leurs dimensions atypiques et la possibilité de les agencer en surfaces planes et simples permettent de créer une source de lumière qui semble plane elle aussi. Ainsi, il est possible de créer des sources lumineuses qui n'éblouissent pas, autres que des points. Actuellement, Osram, Philips ou OLEDWorks par ex. produisent des carreaux lumineux à OLED de 5 à 15 cm de côté, adaptés à l'éclairage (fig. 10).

2015 est l'année de la percée des OLED : même si les recherches vont encore bon train dans ce domaine, et que les lampes à OLED font encore figure d'avant-garde et sont donc très chères, les avantages de la simplicité de leur fabrication joueront en leur faveur. L'efficacité énergétique est le critère décisif. Jusqu'à présent, l'efficacité des OLED était de 15 à 20 lm/W, de quoi faire jeu égal avec les lampes à incandescence ; celle des OLED récentes atteint 50 à 60 lm/W, une valeur proche de celle des lampes fluocompactes. Avec les plus grands formats bientôt disponibles, on peut envisager le rétroéclairage direct des écrans LCD, pour éviter les problèmes de répartition inégale de la lumière. Mais pourquoi utiliser des écrans LCD alors que la lumière peut être émise directement ? Une première percée commerciale a déjà eu lieu de fait pour les écrans : alors que le prix des grands écrans à OLED est très élevé, et qu'il vient de passer sous la barre des 2 000 € pour les téléviseurs de 55", des centaines de modèles de tablettes et ordiphones

sont dotés d'un écran AMOLED (*Active Matrix OLED*, fig. 11). Même des caméras en sont équipées. Pour les petits écrans, l'image brillante et contrastée aux couleurs saturées et le grand angle de vue l'emportent sur les autres limites.

Perspectives

Comme les progrès techniques sont fulgurants (efficacité énergétique accrue, faible coût), on peut raisonnablement prédire que les lampes sans LED ne seront bientôt plus utilisées que dans des niches. Mais il n'y a aucun regret à avoir, notamment pour les lampes fluorescentes et le problème posé par leur recyclage. Toutefois, on oublie volontiers le côté obscur des lampes à LED en matière d'écologie. Même si ce ne sont pas les LED en soi qui sont dans le collimateur, mais toute

l'électronique requise située en amont sous la forme d'alimentations à découpage qui s'amoncellent avec les autres déchets électroniques en fin de vie.

Logées dans les phares automobiles, les LED offrent plus de luminosité, une durée de vie plus longue que celle de la voiture même, mais aussi une lumière intelligente, qui s'adapte à la circulation en sens inverse, et évite d'éblouir de nuit. Si l'amélioration des OLED se poursuit, l'éclairage non éblouissant sera complété par des systèmes originaux comme des luminaires transparents. Après les lampes fluorescentes, les LED anorganiques deviendront elles aussi superflues pour les écrans, puisque plus aucun rétroéclairage n'est requis pour les écrans OLED. ◀

(150577 – version française : Emilie Hentges)



Lien :

[1] Brevet américain de la première LED (PDF) : www.freepatentsonline.com/3293513.pdf

Q&R

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

les oscilloscopes

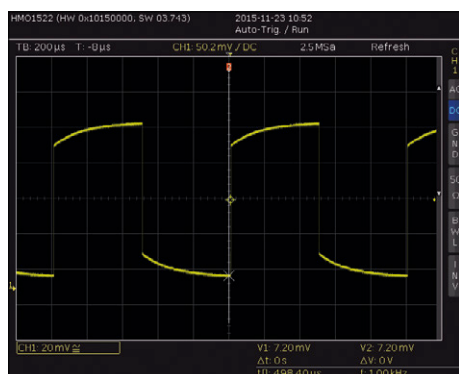
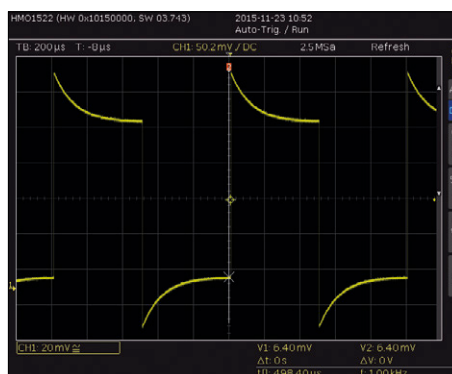
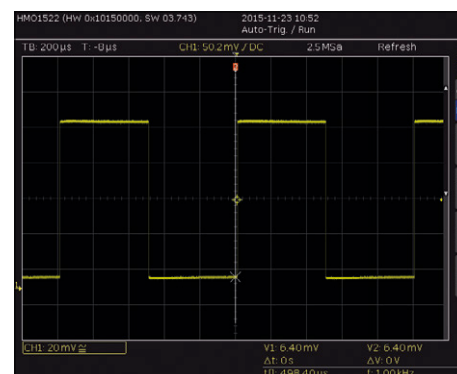


Figure 1. La sonde n'est pas correctement adaptée à l'oscilloscope...



... ainsi non plus...



... parfait !

Q Pour la mesure sur des appareils audio, à quoi dois-je faire attention ?

R La bande passante d'un oscilloscope n'est en principe pas un souci pour la mesure sur des appareils audio. La fréquence de la plupart des signaux reste bien en deçà des 100 kHz. Et même pour des étages de sortie à commutation (par exemple de classe D), les fréquences maximales dépassent rarement 1 MHz. Les oscillations parasites éventuelles n'atteignent généralement pas le MHz non plus.

Les tensions maximales à mesurer peuvent être relativement élevées, surtout pour les étages de sortie de forte puissance. Certains oscilloscopes USB bon marché ont une tension admissible en entrée limitée. Privilégiez un oscilloscope qui peut accepter des tensions d'au moins 100 V en entrée.

Quelques opérations mathématiques, telles qu'addition et soustraction, et la possibilité de calculer la transformée de Fourier rapide (*Fast Fourier Transform – FFT*) d'un signal sont un plus appréciable en mesure audio.

Q Pour la mesure sur des circuits numériques, à quoi dois-je faire attention ?

R Pour effectuer des mesures sur des circuits numériques, la bande passante est importante. Selon le théorème de Nyquist-Shannon [1], la fréquence d'échantillonnage f_s doit être au moins deux fois plus élevée que la fréquence f du signal à mesurer, afin que celui-ci soit correctement représenté. Sinon, nous aurons un repliement de spectre (*aliasing*) [2] : la fréquence se « replie » en quelque sorte autour d'une fréquence égale à la moitié de la fréquence d'échantillonnage, et le système rapporte un résultat égal à $|f_s - f|$. Il s'agit bien sûr d'une valeur théorique, et il vaut mieux choisir un oscilloscope avec une fréquence d'échantillonnage égale à au moins quatre fois celle du signal à mesurer.

Une fonction d'analyseur numérique est très intéressante. On pourra alors mesurer et visualiser plusieurs signaux numériques à la fois (en général 8 ou 16). Si l'oscilloscope est « intelligent » et se déclenche sur un code numérique donné à l'entrée, c'est encore mieux. L'idéal, c'est que ce soit combiné à une fonc-

tion « *sample and hold* » : l'oscilloscope fonctionnera comme une sorte de filtre et attendra jusqu'à ce que la combinaison présélectionnée se présente à l'entrée pour se déclencher. Avec la fonction « *hold* », les signaux restent à l'écran et on peut les étudier à loisir.

L'aide apportée par les fonctions de décodage pour des signaux numériques complexes est aussi la bienvenue, telle qu'une capacité de mémoire suffisante pour stocker les signaux et les restituer à une cadence plus faible, et ainsi permettre leur étude.

Q Pour la mesure sur des circuits à haute fréquence, à quoi dois-je faire attention ?

R Pour la mesure de signaux à haute fréquence (HF), il est indispensable que les sondes utilisées aient été calibrées et adaptées à l'oscilloscope. La capacité d'entrée de l'oscilloscope entraîne une déformation (visible) des signaux, surtout pour des signaux carrés (**figure 1**). Le calibrage est possible lorsque l'oscilloscope dispose de vis de calibrage, ce qui est le cas pour la plupart des oscilloscopes autonomes, mais pas nécessairement

Thijs Beckers (Rédaction des Pays-Bas)

L'oscilloscope, un instrument de mesure indispensable sur la paillasse de l'électronicien. Si vous n'en avez pas encore, ou s'il est temps de remplacer votre (peut-être plus très) fidèle serviteur, à quoi devez-vous faire attention pour l'achat ? Voici quelques conseils !

pour les oscilloscopes USB. Il va de soi que la bande passante est importante en HF. N'oubliez pas que les sondes ont une bande passante limitée (**figure 2**), et que cette limitation peut constituer un goulot d'étranglement lors des mesures. Lors de l'achat, veillez donc à ce que les sondes aient une bande passante suffisante.

Un autre point à prendre en compte est le temps de montée. On confond souvent cela avec la bande passante, mais il s'agit bien d'un autre sujet. Si le temps de montée n'est pas assez rapide, l'oscilloscope ne peut littéralement plus suivre le signal, et sur l'écran celui-ci semble varier plus lentement qu'il ne le fait en réalité.

Il existe deux familles d'oscilloscopes HF : les oscilloscopes à échantillonnage (*sampling*) et ceux en temps réel (*real time*). Un oscilloscope à échantillonnage effectue plusieurs mesures sur un signal répétitif et reconstitue le signal original par la suite. Ceci autorise la mesure de fréquences beaucoup plus élevées que celles en principe admises suivant le théorème de Nyquist-Shannon.

Q *Dois-je préférer un appareil autonome, ou un oscilloscope USB est-il suffisant ?*

R À caractéristiques équivalentes, les oscilloscopes USB sont meilleur marché que leurs « grands frères ». Autrement dit : à prix égal, vous en aurez plus avec un oscilloscope USB. Un inconvénient potentiel : la bande passante de la liaison USB est généralement trop faible pour une exploitation directe de données rapides à haute fréquence. La mise en mémoire du signal pour étude ultérieure n'est dès lors possible que si l'oscilloscope lui-même est pourvu de suffisamment de mémoire. C'est relativement cher, et c'est donc une des premières choses qui est « oubliée » sur les oscilloscopes USB bon marché.

Q *Que vient faire un connecteur USB sur un oscilloscope autonome ?*

R La connexion USB peut être maître ou esclave. Dans le premier cas, vous pourrez connecter une clé USB ou même une imprimante, et par exemple mettre une image de l'écran en mémoire ou l'imprimer directement. Dans le second cas, c'est en général pour piloter l'oscilloscope à l'aide d'un ordinateur.

Q *Analogique ou numérique, qu'est-ce qui est le mieux ?*

R Comme nous l'avons dit ci-devant, il est important pour un oscilloscope numérique que la fréquence d'échantillonnage soit un multiple de la fréquence du signal à mesurer. C'est quelque chose que vous devez connaître avec certitude, car vous ne pourrez pas le lire sur l'écran. Sur l'écran d'un oscilloscope analogique, le signal est projeté avec une telle densité que l'on n'arrive parfois plus à distinguer la forme d'onde. Nous avons une « bande » indistincte au lieu d'une ligne bien nette. Mais on voit bien qu'il s'agit d'un signal HF.



Figure 2. Ces sondes ont une bande passante maximale qui va de 2 à 300 MHz.

Les tubes cathodiques pour oscilloscopes ne sont plus produits de nos jours, et ce sera donc peut-être difficile de trouver un oscilloscope analogique répondant à vos souhaits. Mais si c'est ce que vous voulez, alors cherchez sur les sites de matériel d'occasion un Tektronix des séries 470 (bande passante de 200 MHz). De très beaux spécimens !

Q *Le type d'écran est-il encore important ?*

R Oh que oui ! Pour les oscilloscopes bon marché, les fabricants utilisent des écrans peu à très peu lisibles dès qu'on s'écarte de la verticale (**figure 3**). Les descriptifs des produits ne font (hélas !) pas souvent mention du type d'écran ou de son angle de vision.

Q *Existe-t-il « un oscilloscope pour remplacer tous les oscilloscopes » ?*

R Non ! Il n'y a pas de saint Graal. Il existe bien sûr des appareils magnifiques, de véritables bêtes de course ultra rapides, tant en version autonome qu'en USB, et qui peuvent coûter plus qu'une petite voiture. Le mieux est que vous recherchiez un compromis entre vitesse, possibilités et prix, en attribuant une pondération à chacune des caractéristiques. ◀

(150572 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liens

- [1] fr.wikipedia.org/wiki/Théorème_d%27échantillonnage_de_Nyquist-Shannon
- [2] fr.wikipedia.org/wiki/Repliement_de_spectre

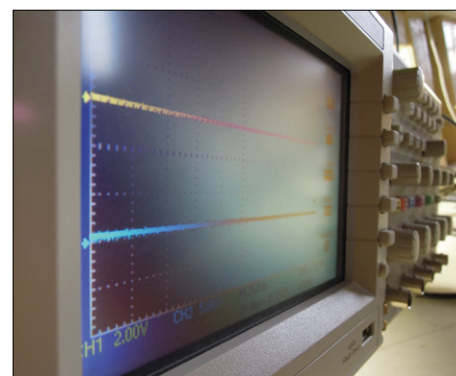


Figure 3. Certains écrans sont presque illisibles sous un certain angle (non, le voile sur la partie droite de l'écran n'est pas un reflet !).

Windows sur la carte RPi (2)

télécommande et afficheur à 7 segments

Tam Hanna

Le précédent article de cette série vous a permis de faire vos premiers pas. À présent, attaquons-nous à des tâches plus ardues. Nous vous proposons de réaliser une petite télécommande qui fonctionne sur le réseau. L'implémentation de la couche TCP/IP est l'un des problèmes les plus épineux dans les programmes embarqués. Heureusement, Windows 10 met à disposition une couche prête à l'emploi qui s'occupe de la communication pour nous. Ajoutons un petit afficheur à 7 segments pour vérifier si tout marche.

Nous utiliserons le circuit représenté sur la **figure 1** pour les étapes qui suivent. Les afficheurs à 7 segments étaient courants avant l'« ère du LCD » : il s'agit d'un groupe de LED qui peuvent être placées ensemble pour afficher des nombres (voir **figure 2**).

Notre application utilise la carte Raspberry Pi pour piloter un afficheur de ce type. Le chiffre à afficher est transmis par le réseau. Une application pratique pourrait être par exemple demander une quantité déterminée de marchandises dans une ligne de production.

Client Telnet

L'implémentation de systèmes connectés est particulièrement difficile, car le développeur doit résoudre une double énigme : il doit tenir compte tant du serveur que du client lors de la conception du protocole de communication.

Dans notre cas, le serveur est notre Raspberry Pi qui attend les commandes transmises par la couche TCP/IP. Maintenant nous pourrions programmer un client pour un calculateur, avec une version pour Linux et une autre pour Windows.

Mais il y a plus simple : Windows et Linux contiennent tous les deux des terminaux pour Telnet, un protocole conçu de manière simple qui permet d'échanger des informations textuelles entre les deux partenaires de communication.

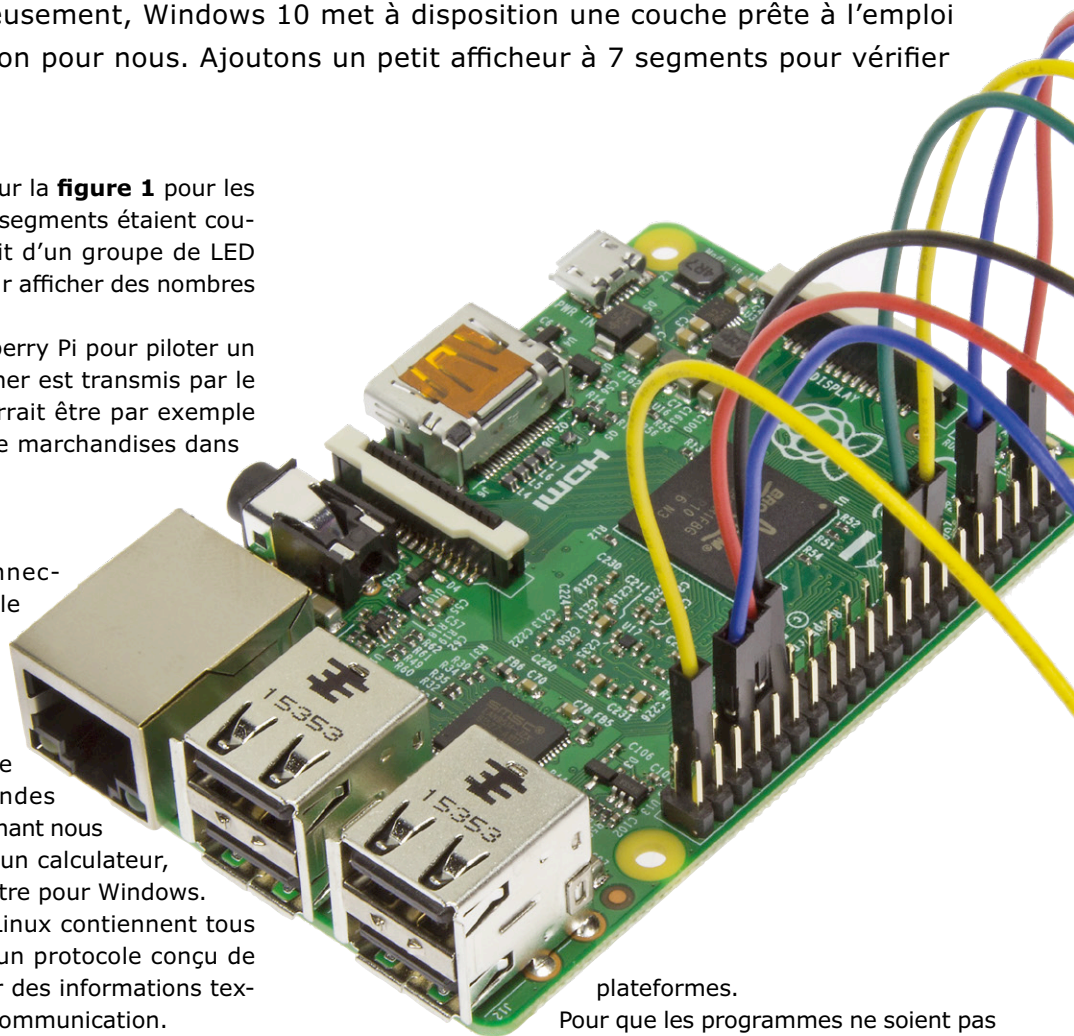
En principe, le client Telnet doit d'abord être activé sur les systèmes d'exploitation Microsoft ; la procédure pour Windows 7 est décrite en [1].

Vive l'asynchrone !

C# est un langage de programmation exécuté dans une sorte de machine virtuelle (VM). C'est particulièrement intéressant, car cette machine virtuelle est également disponible pour Windows (sur PC) et Windows Phone. Le code du serveur créé pour la carte Raspberry Pi peut donc être utilisé sur d'autres

plateformes.

Pour que les programmes ne soient pas bloqués par des boucles d'interrogation ou autres, Microsoft force les développeurs à la *programmation asynchrone*. Par exemple, si un serveur web doit recevoir des caractères via TCP, il faut lancer un *Listener* au début du programme qui attend des commandes entrantes. Après initialisation de l'objet *Listener*, nous lui assignons une fonction qui doit s'exécuter lorsqu'un client établit une connexion TCP et envoie une demande à notre serveur. Les commandes de traitement de la demande arrivent dans le gestionnaire d'événements (*EventHandler*, voir aussi la partie 1 [2]).



L'« écoute » est démarrée dans un fil séparé, une sorte de programme qui tourne en parallèle. Le programme principal n'attend donc pas l'arrivée d'une requête avant d'exécuter l'instruction suivante. Une telle *programmation synchrone* bloquerait toute l'appli.

Par commodité, nous lançons directement le *Listener* dans le constructeur de la *MainPage* (voir encore partie 1 [2]) :

```
public MainPage()
{
    this.InitializeComponent();

    ...

    mySocket = new StreamSocketListener();
    mySocket.ConnectionReceived +=
MySocket_ConnectionReceived;
    mySocket.BindServiceNameAsync("234");
}
```

Nous utilisons comme objet *Listener* *mySocket*, un type de *StreamSocketListener*. *MySocket_ConnectionReceived* est le gestionnaire d'événements appelé lors de l'établissement de la connexion TCP ; il faut encore l'implémenter. La méthode *BindServiceNameAsync* s'assure qu'un seul fil sera démarré pour attendre les requêtes. Nous pouvons référencer ce fil pour la suite de l'exécution du programme avec la clé « 234 ». Nous recommandons une nouvelle fois aux novices de copier intégralement les lignes de code pour commencer. Ils pourront plus tard tenter quelques modifications personnelles.

Les commandes à traiter arrivent maintenant dans le gestionnaire d'événements *MySocket_ConnectionReceived(...)*. Notre requête au serveur est composée de quelques caractères ; il ne s'agit donc pas d'un serveur web qui comprend le protocole *http*.

Suivant le client Telnet, il est possible de transmettre des caractères de contrôle en plus des chiffres. C'est pour cette raison que nous devons lire les caractères entrants pas à pas et vérifier s'il s'agit d'un caractère « normal » ou pas.

Le **listage 1** contient le code. Nous créons tout d'abord un objet *DataReader* à qui on attribue le caractère transmis par TCP.

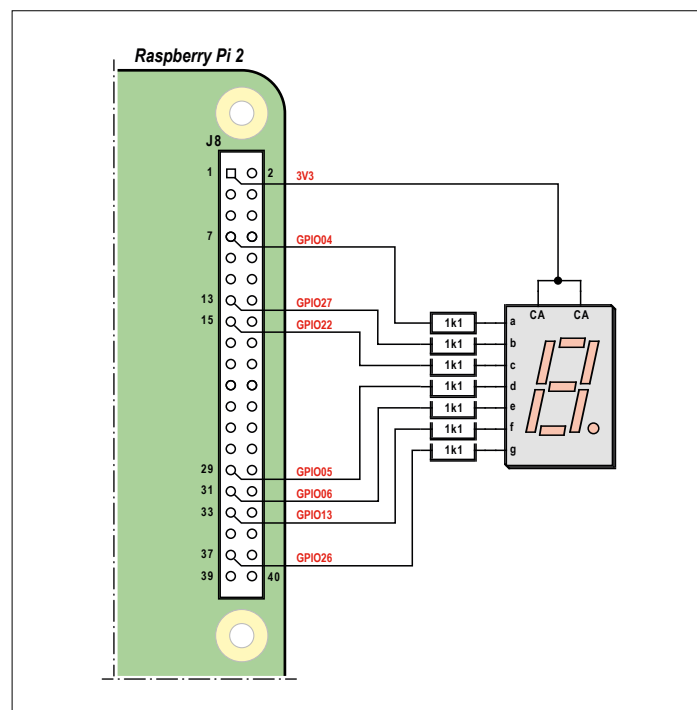


Figure 1. Notre circuit, simple, affiche les chiffres transmis par le réseau.

Avec la ligne

```
uint sizeFieldCount = await reader.
LoadAsync(sizeof(byte));
```

on attend jusqu'à ce qu'un caractère arrive (un caractère a la taille d'un octet). Les variables *sizeFieldCount* contiennent un 1 lorsqu'il s'agit d'un caractère valide (et pas un caractère de contrôle). On trouve au point (1) du listage la vérification mentionnée plus haut. S'il s'agit d'un caractère de contrôle, la commande *continue* renvoie au début de la boucle. Le code ASCII est enregistré dans la variable de type octet *what* et peut être utilisé par d'autres instructions.

Commande des LED

Nous utilisons une petite astuce de l'ingénierie des systèmes classique pour piloter notre afficheur à 7 segments. Une

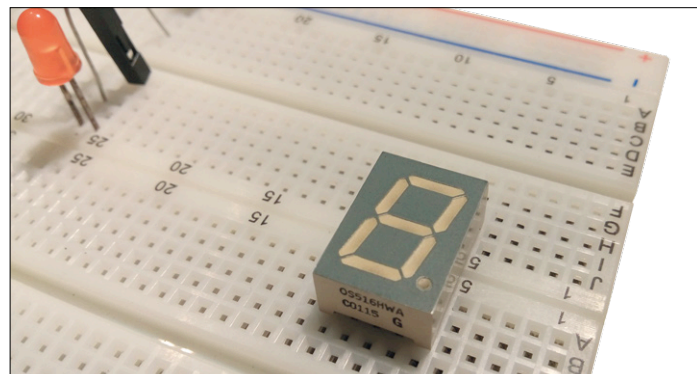


Figure 2. De nombreux électroniciens possèdent un tel afficheur à 7 segments dans leur boîte à outils.

Listage 1. Réception et vérification des caractères

```
private async void MySocket_
ConnectionReceived(StreamSocketListener sender,
StreamSocketListenerConnectionReceivedEventArgs
args)
{
    DataReader reader = new DataReader(args.
        Socket.InputStream);
    while (true)
    {
        reader.InputStreamOptions =
            InputStreamOptions.Partial;
        byte what;
        uint sizeFieldCount = await reader.
            LoadAsync(sizeof(byte));
        if (sizeFieldCount != sizeof(byte)) // (1)
        {
            continue;
        }

        what = reader.ReadByte();

        ... // Code pour traiter
            // un caractère reçu
            // Code ASCII dans what
    }
}
```

mémoire KV (mémoire *key-value* ou valeur-clé) est une sorte de tableau qui peut enregistrer des éléments de divers types. Nous pouvons donc y déposer des objets. On peut appeler les éléments avec une clé qui est elle-même de n'importe quel type. La méthode `configPin` peuple une telle structure de données avec les objets *Gpio-Pin* nécessaires (voir [2]) qui nous donnent accès aux broches de notre Raspi. Nous utilisons cette méthode pour chaque broche qui est reliée à l'une des LED de notre afficheur à 7 segments. Il faut transmettre à chaque fois le numéro de broche selon la numérotation standard de la Raspberry Pi et un caractère (a à g) qui représente la broche de LED. Voici le code de la fonction qui permet de déposer un objet *Gpio-Pin* dans la mémoire KV. Nous configurons également la broche en sortie.

```
private void configPin(int rpiPinNumber, char
ledSegmentChar)
{
    GpioPin workPin;
    workPin = myGPIO.OpenPin(rpiPinNumber);
    workPin.SetDriveMode(GpioPinDriveMode.Output);
    myKVStore.Add(ledSegmentChar, workPin);
}
```

Cela nous simplifie les choses pour plus tard : nous avons un objet *Gpio-Pin* prêt pour chaque segment de LED (a à g). Il ne manque plus qu'un sous-programme pour identifier les

segments de LED nécessaires en fonction du chiffre transmis par le réseau (0 à 9). À nouveau une petite astuce : nous représentons les segments de LED « a » à « g » qui doivent s'allumer sous forme d'une chaîne de caractères (*string*). Le sous-programme suivant permet d'allumer les LED concernées lorsqu'une telle chaîne est envoyée (par ex. « abde ») :

```
void setLeds(String activeSegmentsString)
{
    killLeds();

    for (int i = 0; i < activeSegmentsString.Length;
        i++)
    {
        myKVStore[activeSegmentsString[i]].
            Write(GpioPinValue.Low);
    }
}
```

Nous extrayons le caractère de la position *i* de la chaîne avec `activeSegmentsString[i]` et obtenons un caractère de segment (« a » à « g »). Grâce à la méthode `myKVStore[activeSegmentsString[i]]`, nous récupérons l'objet *Gpio-Pin* affecté à ce caractère. Nous passons cette broche sur *Low* et la LED correspondante s'allume. La routine `killLeds()` éteint toutes les LED au démarrage, elle fonctionne de manière similaire :

```
void killLeds()
{
    String darkSegmentsString = «abcdefg»;
    for (int i = 0; i < darkSegmentsString.Length;
        i++)
    {
        myKVStore[darkSegmentsString[i]].
            Write(GpioPinValue.High);
    }
}
```

Selon le chiffre réceptionné (0 à 9), il manque encore un appel de la fonction `setLEDs()` qui transmet la chaîne de caractères correspondante pour allumer les bonnes LED. Nous le faisons en utilisant une instruction `switch-case` (voir **listage 2**). Le code devrait être clair, nous débutons par une astuce ASCII qui transforme le code du caractère reçu en chiffre de 0 à 9.

De plus, nous n'avons pas de problème de vitesse lorsque nous effectuons l'allumage et l'extinction des différents segments avec des chaînes de caractère. La capacité de calcul de la carte RPi 2 est bien supérieure à celle d'un microcontrôleur standard. Comme nous l'avons déjà vu dans la première partie, le pilote d'entrée/sortie est de toute façon assez rapide. Vous pouvez télécharger le code au format « projet Visual Studio » sur le site d'Elektor [3].

Droits

Pour que l'appli fonctionne, il faut encore lui accorder les droits nécessaires dans Visual Studio. Microsoft protège ses applis par

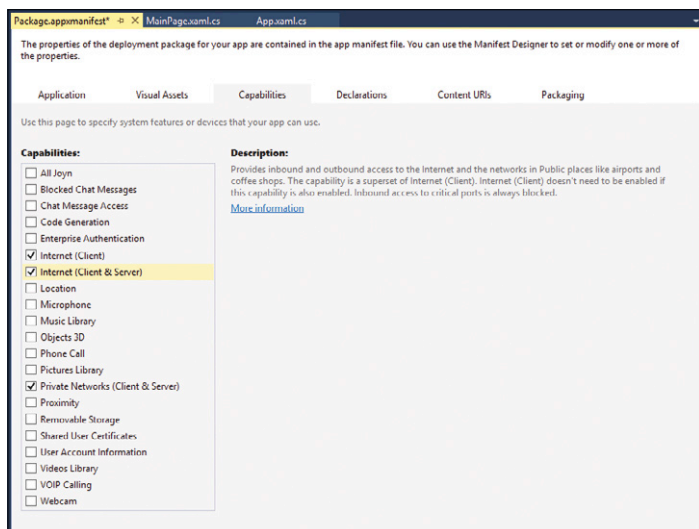


Figure 3. Il faut accorder les droits nécessaires pour que l'appli fonctionne.

un système de permissions : les développeurs doivent annoncer à l'avance quelles sont les fonctions système utilisées par leur programme. Cliquez sur le fichier *Package.appxmanifest* et allez dans la rubrique *Capabilities*. Cochez ensuite les trois paramètres indiqués dans la **figure 3**.

Le travail est terminé, pour l'instant. Démarrez le programme sur la Raspberry Pi et connectez-vous à la machine par Telnet. Envoyez ensuite des chiffres isolés, et ils devraient apparaître sur l'afficheur à 7 segments.

En résumé

Des ordinateurs monocartes comme Arduino sont des machines MCR (Mesure – Commande – Régulation) : elles sont optimisées pour la surveillance très rapide de processus. La « communication extérieure » est peu importante. Si vous vous êtes déjà battu avec un *shield* Ethernet ou l'effrayante bibliothèque *Bridge* de la carte Arduino Yun, vous êtes vacciné.

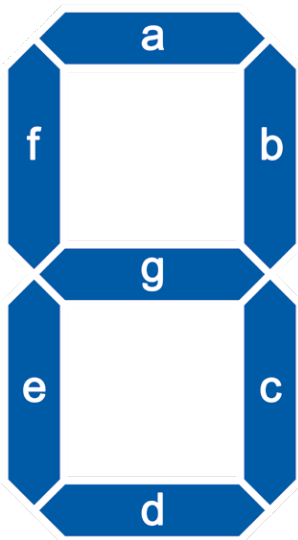
Windows 10 aborde ce problème de façon inverse. Le système est optimisé pour une communication efficace entre l'utilisateur et d'autres ordinateurs : on pourrait utiliser cette programmation avec des *sockets* sur une station de travail normale ou un Windows Phone. Le prix à payer est une efficacité en temps réel inférieure à celle de Linux.

Il est possible de contourner ce problème en connectant des capteurs dédiés ou un deuxième calculateur industriel. Nous présenterons dans le prochain numéro les interfaces de programmation adaptées à cela. D'ici là, je vous souhaite beaucoup de plaisir dans vos expérimentations ! ◀

(150519 – version française : Thierry Destinobles)

Listage 2. Allumer les segments correspondants

```
what = reader.ReadByte();
if (what >= 48 && what <= 57)
{
    switch (what-48)
    {
        case 0:
            setLeds("abcdef");
            break;
        case 1:
            setLeds("bc");
            break;
        case 2:
            setLeds("abged");
            break;
        case 3:
            setLeds("abgcd");
            break;
        case 4:
            setLeds("fgcb");
            break;
        case 5:
            setLeds("afgcd");
            break;
        case 6:
            setLeds("afgedc");
            break;
        case 7:
            setLeds("abc");
            break;
        case 8:
            setLeds("abcdefg");
            break;
        case 9:
            setLeds("abcdfg");
            break;
    }
}
```



Liens

- [1] <https://support.microsoft.com/de-de/kb/978779>
- [2] www.elektormagazine.fr/150465
- [3] www.elektormagazine.fr/150519

Tracasseries avec certains routeurs

Les cartes Raspberry Pi 2 qui tournent sous Windows 10 posent problème à certains routeurs : un Asus RT-N12E de l'auteur a connu des latences de ping d'environ 10 s. Pour éviter ce problème, ajoutez un deuxième routeur, derrière le premier, qui connecte aussi bien les stations de travail que les ordinateurs monocartes.

trucs & astuces pour Eagle (4)

routage de signaux rapides



Neil Gruending (Canada)

Au menu : classes de signaux, règles de conception et méandres.

Eagle peut aussi servir à dessiner des circuits à signaux rapides, en particulier à router des paires différentielles de même longueur au moyen de classes, de règles et de... méandres.

Classes de signaux

Eagle permet de regrouper des signaux dans une même classe afin de les associer à des contraintes et règles de conception communes. Ces classes de signaux (*net classes*) se définissent dans la fenêtre *Net classes*, accessible depuis le menu *Edit* (**fig. 1**).

La fenêtre montre qu'une classe « net » est définie par cinq paramètres. *Nr* (numéro de 0 à 15) et *Name* (nom) permettent de retrouver la classe facilement ; *Width* (largeur de piste), *Drill* (diamètre du via) et *Clearance* (isolement de la trace) définissent quant à eux les valeurs qu'Eagle utilisera lors du routage des signaux. Ici la classe « default » utilisera une largeur de trace de 0,15 mm, des vias de 0,3 mm, et un isolement inter pistes de 0,15 mm. Le bouton >> affiche la « *Clearance Matrix* », matrice qui permet de définir les distances d'isolement entre les pistes des différentes classes *net*.

Les classes de signaux trouvent tout leur intérêt avec les signaux rapides tels que les traces différentielles, car ces traces ont souvent des règles de largeur et d'isolement différentes pour satisfaire l'adaptation d'impédance. Remplir la matrice *Clearance* permet aussi de s'assurer que les signaux rapides et le reste du circuit seront suffisamment isolés pour éviter toute diaphonie.

On associe un signal à une classe *net* dans la fenêtre *Properties* (**fig. 2**), à laquelle on accède via l'outil *Info* et un clic droit sur le signal.

Règles de conception

Eagle permet également d'appliquer des règles de conception à un circuit. Ces *design rules* définissent les critères physiques d'une carte tels que l'empilage des couches, les isolements ou encore les largeurs minimales. La **figure 3** montre les règles de la catégorie « Misc » (divers) affectant le routage des signaux différentiels.

C'est dans cet onglet que l'on spécifie la différence maximale entre les longueurs de pistes des signaux différentiels ainsi que le facteur d'écart (*gap factor*) à utiliser en cas de piste sinueuse, autrement dit en cas de trace dont la longueur a été augmentée par ajout de méandres (cf. ci-après). Eagle multiplie ces deux valeurs pour déterminer la distance entre les méandres ajoutés.

La documentation d'Eagle explique comment définir les autres règles de conception.

Paires différentielles

Eagle appelle paire différentielle tout couple de signaux partageant la même base de nom suivie de *_P* ou *_N*, p. ex. *USB_P* et *USB_N*. Normalement le signal positif porte le suffixe *_P*, le négatif le suffixe *_N*. Lorsqu'on clique sur une paire différentielle pour la router, Eagle route les deux signaux ensemble

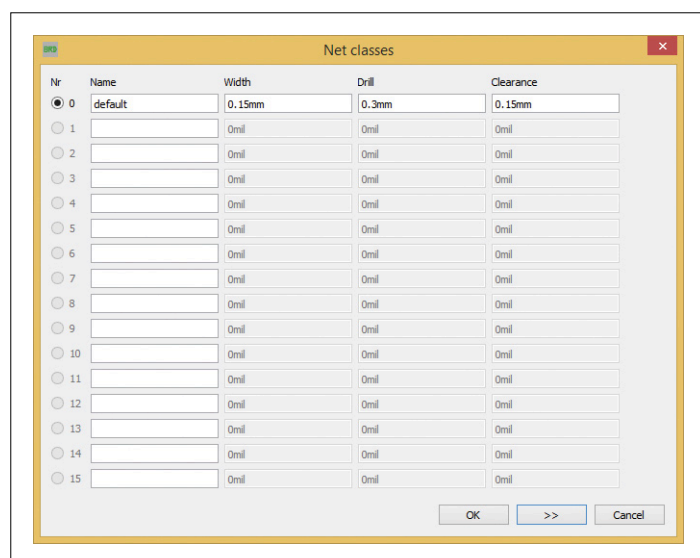


Figure 1. La fenêtre *Net classes*.

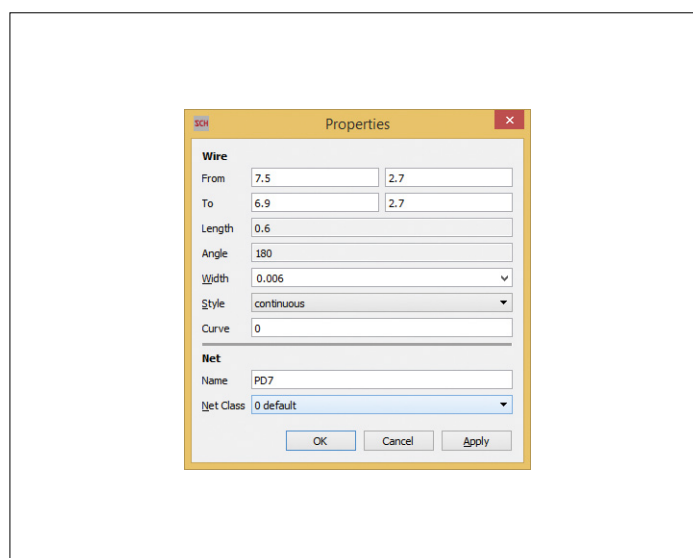


Figure 2. La fenêtre *Properties*.

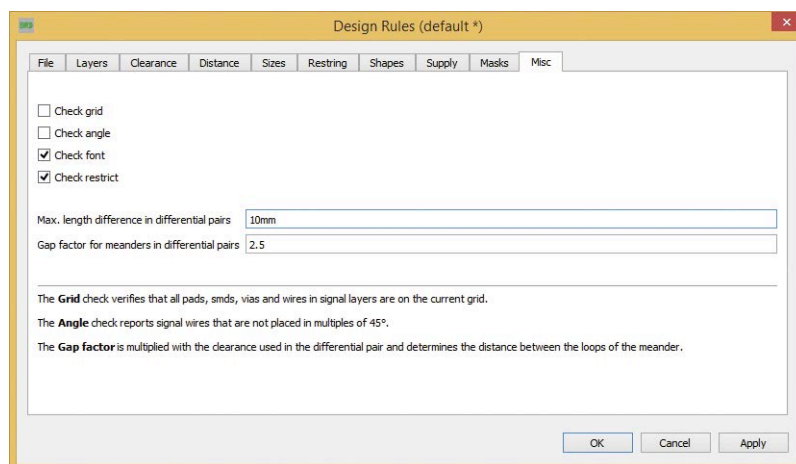


Figure 3. La fenêtre *Design Rules*.

(fig. 4) en utilisant pour le fil et le via les règles de leur classe. Mais comment Eagle sait-il où démarrer le tracé en parallèle des traces différentielles ? Que se passe-t-il quand l'écart entre les broches d'un boîtier excède la distance interpistes souhaitée ? C'est en fait l'endroit du fil non connecté (*airwire*) où vous avez cliqué qui sert de point de départ à Eagle pour router les traces en parallèle. Eagle dessine aussi les traces allant des plus proches pastilles au point de départ en utilisant le style de « fil courbé » en cours.

Choisissez soigneusement le point de départ, car il arrive que les traces dessinées se croisent ou violent d'autres règles de conception. Pensez donc à lancer ultérieurement une vérification DRC (*Design Rule Check*) pour vous assurer que tout s'est bien déroulé.

Lors du routage de traces différentielles, il est impératif que les deux signaux aient une longueur aussi identique que possible. Pour cela l'outil *Meander* est votre allié puisqu'il

permet de sélectionner une trace routée et d'y insérer des méandres (fig. 5).

Lorsqu'on clique sur la trace à allonger, *Meander* augmente la taille des méandres à mesure qu'on éloigne la souris de la trace ; en même temps sont indiquées les longueurs des traces ainsi que leur différence de longueur en pourcent, une indication fort utile. On peut appeler *Meander* autant de fois que nécessaire pour atteindre la longueur souhaitée.

Autre propriété appréciable de *Meander*, il permet de contrôler la longueur totale d'une trace. Sélectionnez *Meander*, entrez dans la ligne de commande la longueur de trace souhaitée, et *Meander* ajoutera de lui-même les méandres nécessaires. Si la trace fait partie d'une paire différentielle, Eagle fera « serpenter » les deux traces ; sinon il ne traitera que la trace solitaire. Router des paires différentielles sous Eagle demande un peu de travail, mais l'outil *Meander* facilite grandement la tâche. Essayez, vous verrez !

(150535 – version française : Hervé Moreau)

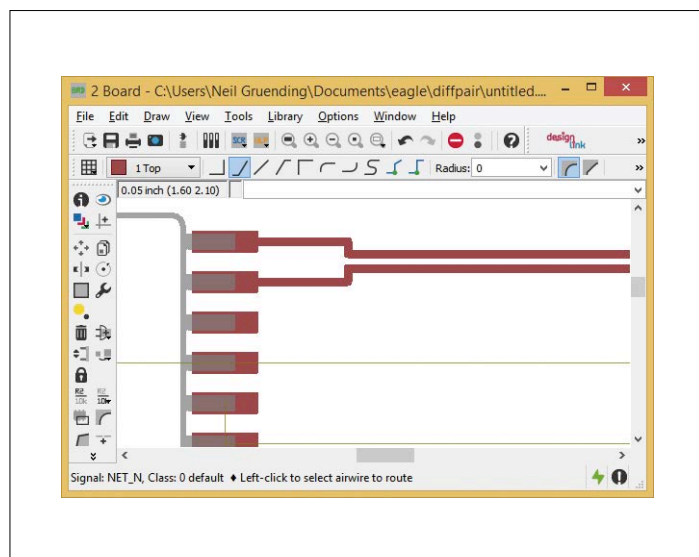


Figure 4. Routage d'une trace différentielle.

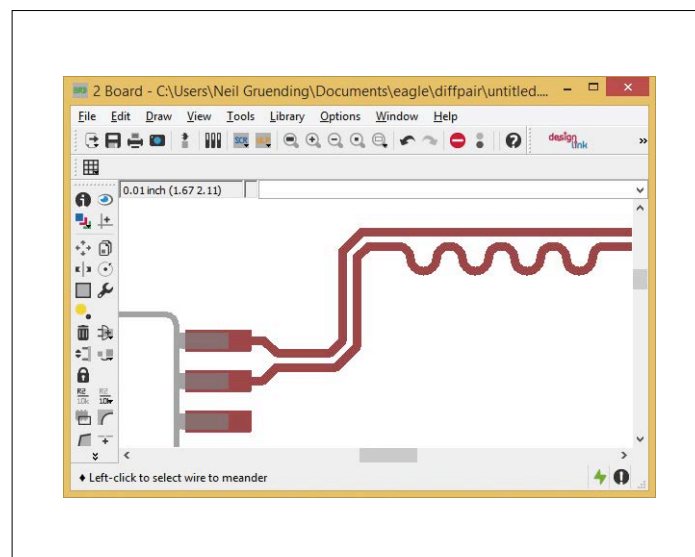


Figure 5. L'outil *Meander*.

inductance saturable

drôle de composant n°22

Neil Gruending (Canada)

La documentation des vieux oscilloscopes Tektronix est agrémentée de schémas clairs et d'explications détaillées sur leur fonctionnement. Parfois je tombe même sur quelque chose que je n'avais encore jamais vu. C'est le cas du schéma de la **figure 1**, extrait du manuel de l'imposant oscilloscope 555 de Tektronix. Cela dit, ce T750 n'est rien d'autre que le transformateur de chauffage de 6,3 V de l'instrument. Il ressemble à un transformateur ordinaire, sauf qu'il possède en plus un élément inductif, une inductance saturable (*saturable reactor*) reliée à l'une des connexions de l'alimentation. La circuiterie de commande qui y est reliée m'a encore plus dérouté. Il fallait que je comprenne tout ça.

Lorsque vous utilisez un transformateur classique, l'inductance varie peu et la tension de sortie doit être un peu plus élevée que nécessaire de façon à pouvoir ajouter un régulateur qui délivrera la valeur souhaitée. Vous avez aussi besoin de cette marge, car la tension de sortie variera légèrement en fonction de la charge. Une autre règle est de ne jamais saturer le transformateur, car la saturation correspond au flux magnétique maximal qu'il peut produire. Dépassez cette valeur et la tension de sortie chutera. Une inductance saturable possède un enroulement de commande supplémentaire qui sert à saturer son noyau. L'application d'un courant CC sur cet enroulement augmente le flux magnétique appliqué sur le noyau et l'amène à saturation, ce qui entraîne une baisse de l'inductance et une augmentation du courant de charge disponible. Il est recommandé d'exploiter une inductance saturable en régime de saturation de façon à réduire

la distorsion du signal de sortie.

Ici le 555 recourt à un relais thermique V799 pour échantillonner la tension de sortie du transfo, tension ensuite amplifiée pour commander la tension du primaire. De cette façon toutes les alimentations sont régulées ensemble et ont moins de chaleur à dissiper. Cependant vous verrez sur le schéma que le circuit utilise deux bobines de commande : chaque bobine agit comme un redresseur mono-alternance en raison de la tension CC qui lui est appliquée et ne sature donc que le courant allant dans un sens. Avec deux bobines, l'enroulement peut opérer dans les deux sens.

Trouver un Tektronix 555 est devenu difficile, et dans beaucoup d'applications les inductances saturables ont été rempla-

cées par des semi-conducteurs, des thyristors ou des SCR p. ex. En cherchant bien, vous verrez que ces inductances commandent encore des charges CA considérables et difficiles. Elles sont parfois appelées amplificateurs magnétiques (pour petits signaux). Qu'importe leur nom, elles sont surtout intéressantes !

(150567 - version française : Hervé Moreau)

Lien

[1] http://w140.com/tekwiki/images/d/d6/Tek_555_lvreg.png



Envoyez-moi vos idées en quelques lignes ou sous forme d'un article déjà rédigé : neil@gruending.net

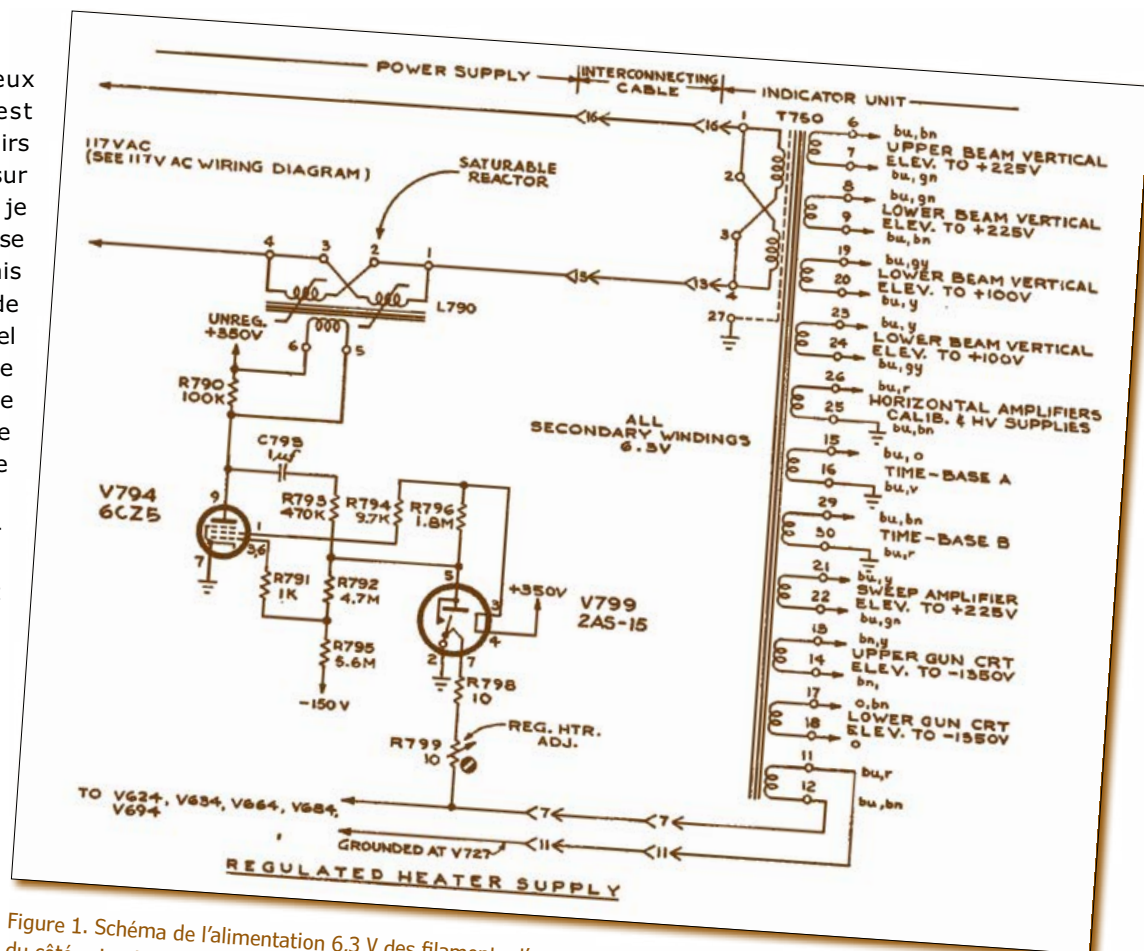


Figure 1. Schéma de l'alimentation 6,3 V des filaments d'un oscilloscope Tektronix 555 [1]. La régulation se fait du côté primaire du T750 avec l'inductance saturable L790 et divers éléments de commande. V799 est un relais thermique dont le filament est entre les broches 2 et 7.

(re)découvrez la collection MICROCONTRÔLEURS

Microcontrôleurs PIC

Un PIC est capable de prouesses

Les microcontrôleurs PIC pour les débutants qui veulent programmer sans patauger avec mikroPascal

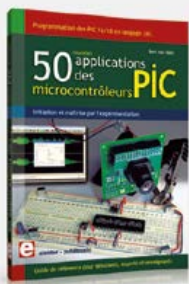


Rémy fait la part belle aux « petits » microcontrôleurs 8 bits, bon marché et faciles à trouver. Les réalisations proposées vont bien au-delà du simple chenillard à LED : interfaçage de capteurs, acquisition/stockage de données, liaison USB ou Ethernet... Le logiciel est codé en langage mikroPascal (EDI de MikroElektronika). La version gratuite offre toutes les fonctions de la version payante. Seule la taille du code est limitée à 2 Ko, suffisants pour la plupart des projets du livre. Pour transférer votre code dans le PIC, vous avez le choix du programmeur (MikroElektronika ou autre).

ISBN 978-2-86661-193-4

Un ouvrage récréatif et pédagogique

Programmation des PIC 16 et 18 en langage JAL : 50 nouvelles applications des microcontrôleurs PIC



De la simple LED clignotante à la vision artificielle, de l'alarme laser à la souris USB taquine, de l'indicateur de niveau capacitif au gradateur de lumière, les projets de ce livre sont instructifs et distrayants. Chacun fournit le prétexte d'étudier des techniques universelles : commande d'un relais, traitement des signaux émis par divers capteurs (y compris codeur rotatif), communication avec les bus I2C, SPI, RS232, USB, afficheurs à 7 segments, bus CAN... On y apprend à pratiquer la commande de largeur d'impulsion, la conversion analogique-numérique et inversement, le traitement des interruptions, et bien des astuces.

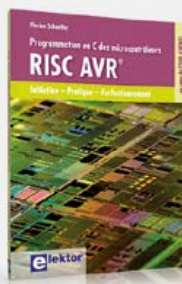
ISBN 978-2-86661-177-4

Microcontrôleurs AVR

Véritable boîte à outils

pour les microcontrôleurs ATmega8 et ATmega16 d'Atmel

Programmation en C des microcontrôleurs RISC AVR® (initiation, pratique, perfectionnement)



L'auteur met son expertise au service du débutant comme du professionnel confirmé et les guide dans la découverte des microcontrôleurs AVR.

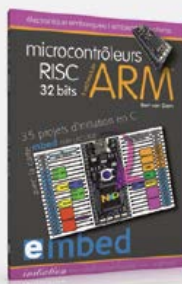
Après introduction et présentation de l'environnement de développement nécessaire, le livre décrit pas à pas des projets variés. La plupart reposent sur la platine Mini-Mega (050176-1) décrite dans nos colonnes, d'où la réalisation sans difficulté des projets présentés. Naturellement, l'utilisation de plates-formes matérielles personnelles est possible. Elle est même recommandée, puisque le but affiché du livre est d'amener le lecteur au point où il pourra, finalement, concevoir et réaliser ses propres applications.

ISBN 978-2-86661-169-9

Microcontrôleurs ARM

35 projets d'initiation en C avec la carte mbed NXP LPC 1768

Microcontrôleurs RISC 32 bits à architecture ARM®



La plate-forme *mbed* et son microcontrôleur ARM, le NXP LPC1768, sont conçus pour l'informatique en nuage ou *cloud computing* : aucune installation de logiciel spécifique ! Il suffit d'un navigateur Internet et d'un port USB. Programmez à l'aide de votre navigateur, stockez vos résultats sur l'internet pour y accéder depuis n'importe quel PC. Grâce aux explications sur les instructions du langage C, à la description des bibliothèques *mbed*, aux exemples et à son index, ce livre vous servira également de référence : traitement de signaux analogiques, capteurs, moteurs et servo-moteurs, interrupteurs et LED bleues !

ISBN 978-2-86661-178-1



L'intelligence, c'est contagieux, laissez-vous contaminer !

Intelligence artificielle : 23 projets ludiques et instructifs à construire soi-même - imitation du comportement animal par des robots à microcontrôleurs PIC

Ce livre ne traite pas de théories abstraites, mais de pratique. Il s'adresse à vous, passionné d'électronique et de micro-informatique appliquée, et propose des circuits et des programmes simples. Expérimentez le **biomimétisme** sur vos propres robots mobiles, construits avec des pièces de Lego !

Il y est donc question de microcontrôleurs PIC, de programmation, de capteurs, de moteurs... mais aussi de mormions, de fourmis, de gnous, de vers, et d'autres bestioles « naturellement géniales ».

Vous y croirez des robots joueurs, un robot chasseur par devant et vagabond par derrière. En vous familiarisant avec des robots à apprentissage autonome, pour éviter par exemple des obstacles, ou pour apprendre à se nourrir, c'est vous aussi qui apprendrez à apprendre.

Dans ce livre, tout est intelligence et élégance, même les vers de terre ; la mécanique, et quelle mécanique, avec par exemple un train à double différentiel ; les algorithmes génétiques ; les chromosomes et bien davantage de modèles vivants à étudier et à imiter.

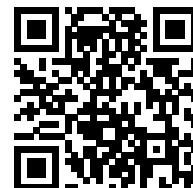
ISBN 978-2-86661-179-8



e-choppe

Retrouvez tous ces ouvrages (sommaire, extrait...) ici :

www.elektor.fr/livres/microcontroleurs



technologie NFC ST25TA de STMicroelectronics

Martin Cooke (Royaume-Uni)

La communication en champ proche (NFC) est une technologie standard de communication sans fil à courte portée, typiquement 10 cm ou moins. Elle utilise l'interface RF ISO/CEI 14443 type A pour communiquer à 13,56 MHz et 106 Kbit/s. Nous présentons ici la nouvelle balise NFC ST25TA de STMicroelectronics. Cette version améliorée offre de nombreuses fonctions supplémentaires qui devraient intéresser l'électronicien.

Les derniers ordiphones et tablettes sont équipés en standard de fonctions NFC. Les appareils Android à NFC peuvent utiliser le système de paiement Google Wallet, mais également libérer leur interface NFC pour lire des balises ou communiquer de pair à pair. Les iPhones d'Apple peuvent communiquer par NFC, mais exclusivement pour utiliser le service de paiement Apple Pay, et sont donc pour l'instant incapables de lire une balise NFC conventionnelle.

Nous ne considérons ici que les messages NFC entre appareils actifs et balises passives. Lors d'une communication NFC, l'appareil actif, ou initiateur, produit un champ RF qui interroge la balise NFC tout en lui transférant suffisamment d'énergie pour l'alimenter. La balise (*tag*) s'active et envoie l'information stockée dans sa mémoire. Les balises sont peu chères et ne nécessitent aucune alimentation externe. Elles sont si petites qu'elles peuvent être logées dans des cartes de visite, autocollants, porte-clés, etc.

Nouvelles balises NFC ST25TA de STMicroelectronics

STMicroelectronics a récemment ajouté à sa gamme de dispositifs NFC une famille de cinq balises NFC/RFID à interface RF ISO/CEI 14443 type A, mémoire NDEF et protection par mot de passe de 128 bits : ST25TA. Cette nouvelle famille (**fig. 1**) est conforme à l'interface RF *NFC Forum Type-4* et prend en charge le format d'échange NDEF (*NFC Data Exchange Format*). Il y a actuellement cinq produits différents avec une mémoire EEPROM dont la capacité va de 512 bits à 64 Kbits.

Applications

Les ordiphones et tablettes capables de communiquer par NFC deviennent banals, la technologie NFC va sans aucun doute encore se répandre. Voici quelques domaines où les balises NFC fournissent déjà des solutions fiables et économiques :

Appariement sans fil. Procéder à l'appariement d'un téléphone (ou tablette) avec un dispositif afin d'établir entre eux une liaison Wi-Fi ou Bluetooth peut s'avérer délicat. Une balise NFC permet de réduire ce processus pénible à une simple approche de l'appareil contre la balise. Pour cela, l'adresse du disposi-

tif Bluetooth est d'abord écrite dans la balise NFC. Lorsque le téléphone est placé contre la balise, il agit comme un gestionnaire d'identification de réseau : il lit les informations stockées dans la balise et s'en sert pour paramétrer automatiquement la connexion. Les balises ST25TA02K-P et ST25TA02-D ont un détecteur de signal RF dont le signal de sortie peut réveiller un processeur hôte lorsque la balise est activée. Le même principe peut servir à paramétrer une balise NFC pour fournir un accès


	ST25TA16K ST25TA64K	ST25TA512 ST25TA02K	ST25TA02K-P ST25TA02K-D
Contactless Interface	ISO14443A, NFC Forum Type 4		
RF range	Short range, up to 10cm		
RF speed	106kbps		
Memory format	EEPROM preformatted NDEF file		
Memory size	16 / 64-kbit	512-bit / 2-kbit	2-kbit
Data protection	128-bit password		
Digital output (for MCU wake-up)	NA		Field detect CMOS_P or Open-drain
Counter	NA	20-bit counter	
RF tuning capacitor	25pF	50pF	
Temperature range	-40°C to +85°C		
Retention & cycling	200 years data retention, 1Million write/erase cycles		
Package	Die (SBN12)*		DFN5 / DFN8 / Die (SBN12)*

Figure 1. Aperçu de la famille ST25TA.

direct, par simple présentation de l'appareil devant la balise, à un réseau Wi-Fi sécurisé. La portée très limitée des communications NFC dote le système d'une relative sécurité intégrée.

Authentification de produit. Les articles haut de gamme sont souvent la cible de contrefacteurs. L'utilisation de balises scannées par le client au moyen d'un téléphone à NFC peut fournir une garantie de l'authenticité d'un produit, et être l'occasion pour le fabricant de proposer des offres à ses clients ou de leur annoncer la sortie de nouveaux produits.



Cartes de visite. Les cartes de visite avec balises intégrées permettent de stocker des coordonnées professionnelles ainsi que des liens dirigeant un navigateur vers un site web, une boutique en ligne ou une application à télécharger lorsqu'un ordiphone à NFC entre en contact avec la carte.

Affiches à NFC. Les balises implantées dans les affiches fonctionnent de façon très similaire aux codes QR imprimés utilisés pour diriger un navigateur vers une URL. La lecture d'un code QR nécessite la pré-installation et le lancement d'une appli. Un appareil à NFC n'a en revanche besoin que d'être placé devant le symbole de la balise de l'affiche pour que le navigateur soit dirigé vers l'URL d'une vidéo ou affiche des informations reliées au contenu de l'affiche, p. ex. une liste de points de vente ou des offres promotionnelles.

Identification industrielle. Les balises n'ont pas besoin d'alimentation indépendante et peuvent être entièrement encapsulées, ce qui les rend plus durables et robustes pour une utilisation en environnement industriel. Avec leur connectivité intégrée, leurs GPS et leur coût relativement faible, les ordiphones et tablettes à NFC sont un bon choix d'interface utilisateur NFC pour de nombreuses applications industrielles. Le développement d'applis est une technologie relativement mûre, au savoir-faire établi et servie par un large éventail d'environnements de conception. Parmi les applications industrielles qui bénéficient actuellement des balises NFC, citons la maintenance, la réparation, l'identification de composants, le contrôle de fabrication, les systèmes d'inventaire, la gestion de location de matériel et l'étiquetage des lieux de stockage.

Jeux vidéo. Une application intéressante des balises NFC se trouve dans le casque de réalité virtuelle en carton de Google. Une balise y active le téléphone Android du casque pour télécharger et lancer l'appli 3D appropriée. Les balises peuvent aussi être incorporées dans des figurines associées à un jeu vidéo. Il suffit d'emporter la figurine avec soi lorsqu'on va jouer chez un ami. Les lecteurs NFC des consoles de jeu lisent la balise pour améliorer l'interactivité du joueur avec le jeu. En fonction des données lues, le joueur sera autorisé à prendre

part à une action ou à débloquer certaines fonctions du jeu ; il peut aussi sauvegarder des données comme ses points, son niveau et ses préférences de jeu.

Caractéristiques communes de la famille ST25TA

La mémoire interne de la famille de balises NFC ST25TA est organisée pour stocker trois fichiers. Les applications NFC utilisent les données stockées dans la région NDEF de la mémoire interne de la balise. La mémoire stocke aussi le fichier *Capability Container* (CC) et un système de fichiers de STMicroelectronics. La quantité de mémoire spécifiée pour une balise est celle de l'espace disponible pour la région NDEF. Le fichier CC et le système de fichiers sont stockés ailleurs, seront lus et modifiés à l'aide de l'appli Android *ST25 Demo App*. Pour des raisons de sécurité, la communication NFC ne sera établie qu'avec une plateforme Android dont l'écran est allumé et déverrouillé.

Les opérations de lecture et d'écriture sur le fichier NDEF peuvent être protégées à l'aide de mots de passe de 128 bits. Un mot de passe peut être utilisé comme protection contre les opérations de lecture non autorisées, un autre pour protéger le fichier contre les opérations d'écriture. Deux octets du fichier CC contiennent des informations sur l'état verrouillé ou déverrouillé. Les données de la balise sont verrouillables de façon à interdire en permanence tout accès en lecture ou écriture.

Balises Low Density

ST25TA512 et ST25TA02K sont des balises dites *Low Density* et ne diffèrent que par la taille de leurs EEPROM, 512 bits et 2 Kbits. Les ST25TA02K-P et -D sont aussi des balises *Low Density* et ont une broche de sortie numérique pouvant réveiller un μ C externe ou une puce BT ou Wi-Fi. Les puces 02K-P et 02K-D sont aussi les seules versions disponibles aussi bien en boîtiers UDFPN à 5 ou 8 broches que SBN12 (puces à bosses découpées en dés à partir de galettes de 120 μ m), le boîtier de toutes les autres puces.

Ces balises ont un compteur interne à 20 bits (**fig. 2**), configurable pour enregistrer le nombre de fois où le fichier NDEF a été lu ou écrit (pratique pour connaître le nombre de lecture dans un lieu public). La valeur du compteur est stockée

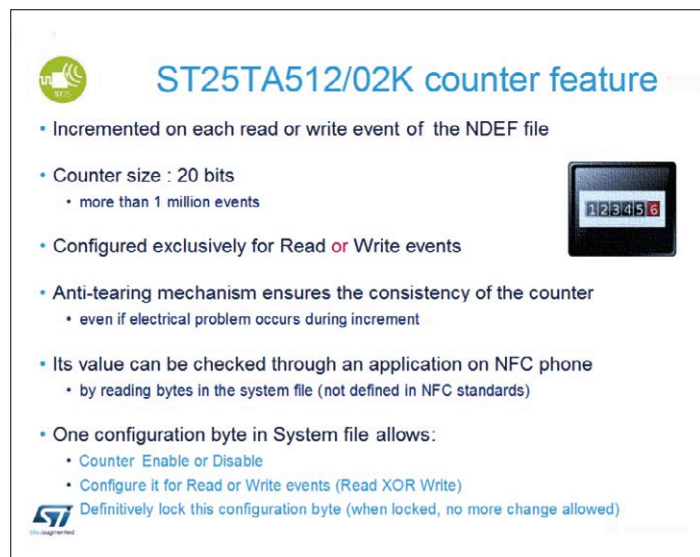


Figure 2. Les balises *Low Density* ont un compteur.

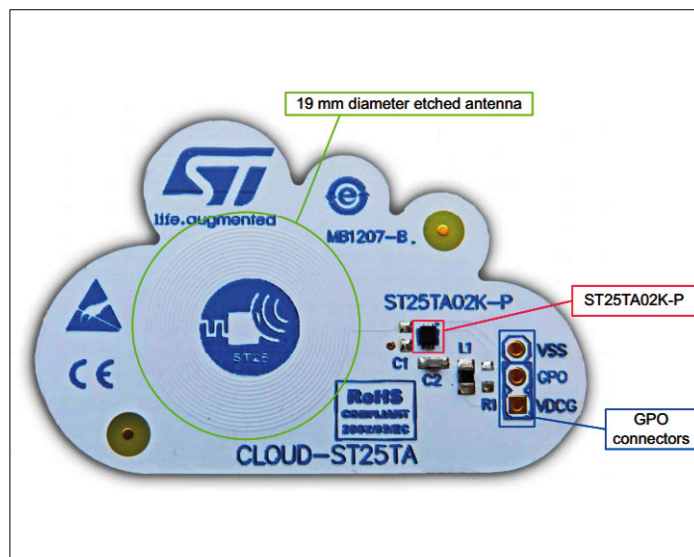


Figure 3. La carte d'évaluation CLOUD-ST25TA.

► Les balises ST25TA02K-P et ST25TA02-D ont un détecteur de signal RF dont le signal de sortie peut réveiller un processeur hôte lorsque la balise est activée.

à un emplacement du système de fichiers accessible via un lecteur NFC. La désactivation du compteur remet sa valeur à zéro. Un mécanisme anti-rupture assure que cette valeur ne sera pas corrompue si le champ RF disparaît durant la mise à jour du compteur.

Les balises *Low Density* ont un condensateur d'antenne intégré de 50 pF qui permet d'utiliser un bobinage d'antenne plus petit et de plus faible inductance. Il garantit la compatibilité de la balise avec les antennes préexistantes de 50 pF.



Voici quelques applications des balises *Low Density* :

- étiquettes NFC
- jetons NFC
- porte-clés NFC
- affiches intelligentes
- figurines de jeu vidéo
- cartes de visite NFC (cartes virtuelles avec photo d'identité ou contenu numérique).

Balises *High Density*

Les balises *High Density* ST25TA16K et ST25TA64K ont une EEPROM de 16 kbits et 64 kbits. Cette plus grande capacité autorise le stockage de fichiers plus volumineux tels que des photos d'identité. Les balises *High Density* ne disposent pas de compteur interne gardant trace des opérations de lecture/écriture. Le condensateur interne d'antenne a une capacité de 25 pF, la moitié de celle des balises *Low Density*, ce qui signifie qu'un bobinage d'adaptation est nécessaire pour obtenir une inductance plus grande.

Quelques applications des balises *High Density* :

- affiches intelligentes
- figurines de jeu vidéo
- étiquettes, jetons ou porte-clés NFC
- cartes de visite NFC (cartes virtuelles avec photo d'identité, badges)

Carte d'évaluation CLOUD-ST25TA

La carte d'évaluation CLOUD-ST25TA (**fig. 3**) est une petite carte peu onéreuse en forme de nuage sur laquelle est montée une balise NFC ST25TA02K-P en boîtier UDFPN5 ECOPACK2. Elle illustre une des façons dont une puce NFC pourrait être intégrée

dans un produit fini tel qu'une carte ou une étiquette intelligente. L'antenne se présente sous la forme d'un bobinage imprimé de douze enroulements et de diamètre maximal d'environ 18 mm. La puce NFC de la carte a une sortie GPO active au niveau haut, configurée par défaut pour produire un front montant lorsque le champ RF créé par un hôte RF NFC est à portée.

La sortie GPO peut être configurée pour indiquer :

- *Session open* : une session RF est en cours.
- *MIP (NDEF Message update In Progress)* : l'hôte RF écrit un message NDEF de longueur non nulle. Indique que l'hôte modifie le message NDEF tel que défini par le NFC Forum.
- *WIP (Write In Progress)* : le ST25TA02K-P effectue une opération d'écriture.
- *INT (Interrupt)* : l'hôte RF peut forcer le ST25TA02K-P à envoyer une impulsion sur la broche GPO.
- *State mode* : l'hôte RF peut commander l'état de la sortie de la broche GPO durant la session.
- *RF busy* : un hôte RF communique avec le ST25TA02K-P.
- *Field Detection* : l'intensité du champ RF reçue est suffisante pour communiquer avec le ST25TA02K-P.

La broche VSS de la carte est reliée à la masse, la broche VDCG à l'alimentation VCC du circuit local, tension comprise entre 1,65 V et 5 V. La broche VCDG met le signal GPO au niveau haut, ce qui réduit la consommation, et le signal d'interruption GPO est actif au niveau haut (front montant), ce qui est unique sur le marché des composants externes. L'EEPROM de 2 Kbits de la puce prend en charge les fichiers au format standard NDEF (*NFC Data Exchange Format*). La mémoire est alimentée par l'énergie du champ RF externe et son accès n'est possible que via l'interface RF. Le ST25TA02K-P est compatible avec les spécifications *NFC Forum Type-4* et supporte toutes les commandes associées.

Appli ST25

L'appli Android de STMicroelectronics appelée *ST25 Demo App* [1] permet de lire le contenu des fichiers stockés en mémoire (exécutable STSW-ST25001, code source STSW-ST25002), et d'y écrire un fichier NDEF (**fig. 4**) définissant les actions que la balise exécutera lorsqu'elle sera lue par un ordiphone ou une tablette. L'appli permet de lire les fichiers des balises STMicroelectronics, le fichier NDEF p. ex. (**fig. 5**) ; si vous savez convertir de l'hexa en ASCII, vous saurez lire les données utiles du court message que j'ai écrit sur ma carte. En faisant défiler l'écran, on trouve ensuite l'info TAG indiquant l'UID de 14 caractères (56 bits) de la balise et la taille de sa mémoire. Il est possible de verrouiller l'accès en lecture/écriture de la balise depuis la page *Tools*. D'autres options, applicables uniquement à la carte CLOUD-ST25TA, permettent de définir le niveau de sortie GPO, d'effacer les données du NDEF et de configurer le compteur de lecture/écriture.

Le contenu des fichiers CC et SYSTEM est également affiché. Outre l'appli ST25 Demo App [1], vous pouvez télécharger son code source, les fichiers Gerber de la carte d'évaluation CLOUD-ST25TA et sa nomenclature complète. ◀

(150472 – version française : Hervé Moreau)

Lien

[1] www.st.com/st25apk

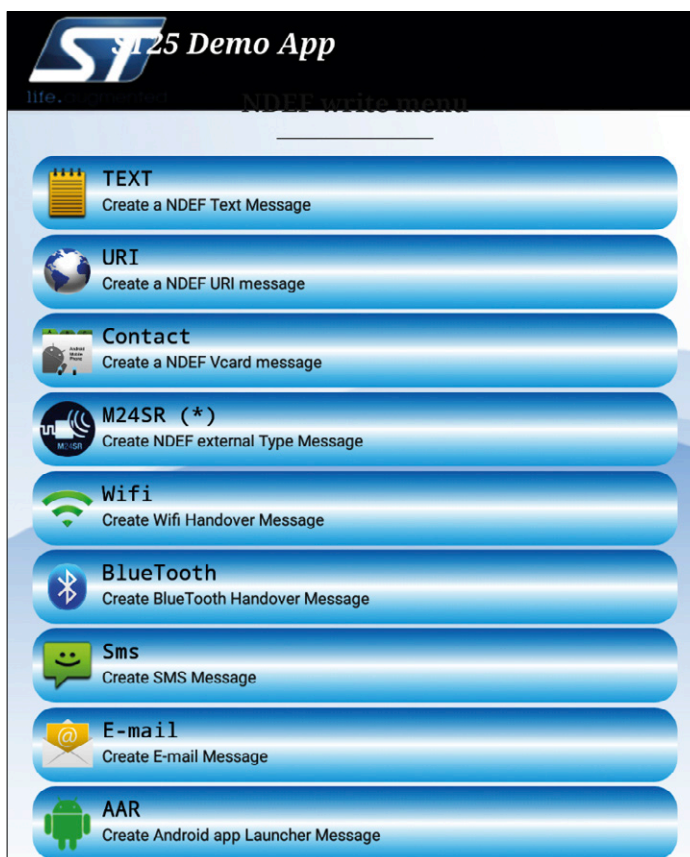


Figure 4. Composez votre message NDEF.

▶ Essayez de décoder le message ASCII de la figure 5 !

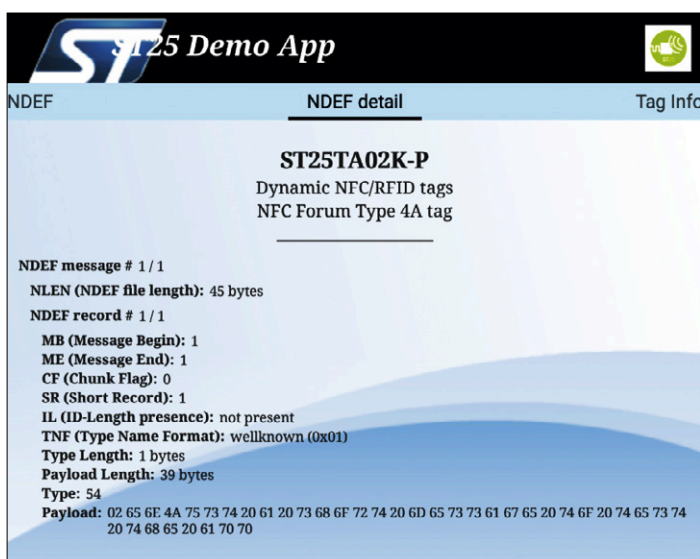
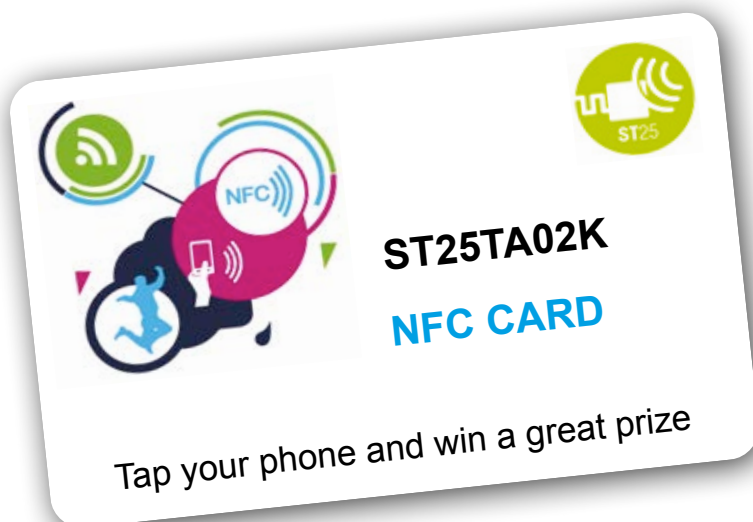


Figure 5. Lecture du contenu NDEF (pouvez-vous lire le message ?)

NFC avec Elektor et ST



**voici votre tag NFC,
gagnez l'un des
500 prix mis en jeu !**

La communication en champ proche (*Near Field Communication*, NFC) permet de payer sans contact, de s'identifier ou d'échanger de petits paquets de données comme des messages de texte, des liens web, etc.

Des fabricants de semi-conducteurs connus comme STMicroelectronics proposent des puces NFC, dont des modèles économes en énergie pour stocker des données. Elles tirent leur énergie du champ électromagnétique créé par la com-

munication. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'avoir une pile ou une autre source d'alimentation. Les puces peuvent être logées dans des balises compactes et solides, par exemple sous la forme d'une pièce de monnaie ou d'une carte de crédit.

Balise gratuite pour tous les abonnés GOLD

Nos abonnés GOLD* trouveront avec ce numéro une balise NFC (*tag*) avec une puce ST25TA02K de STMicroelectronics, il s'agit d'un échantillon offert par le fabricant. La balise au format d'une carte de crédit est très plate ; elle rentre donc parfaitement dans un portefeuille et peut servir de carte de visite électronique. Un ordiphone compatible NFC et l'une des nombreuses applications gratuites permettent d'écrire et de lire sur la balise des données telles qu'une adresse postale et une adresse mail. La mémoire de la puce ST25TA02K a une capacité de 256 octets ; un article de ce numéro vous en apprendra plus sur la technologie de cette puce et sur la norme NFC.

Plus de 500 prix à gagner !

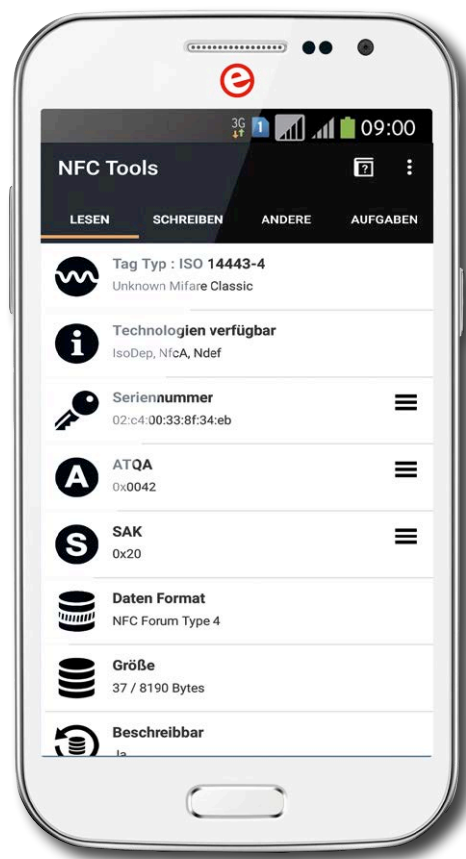
Bien sûr, les électroniciens pragmatiques seront impatients de réaliser des expériences avec la balise. Mais attention : vous devriez tout d'abord participer à notre concours. Voici la marche à suivre : tenez la balise devant un ordiphone compatible NFC dont vous avez préalablement activé la fonction « NFC ». Vous serez automatiquement, donc avec ou sans appli installée, dirigé vers la page internet qu'Elektor a spécialement préparée pour ce projet.



**demandez
votre balise
en ligne**

Si vous êtes membre GREEN, demandez votre balise en ligne : www.elektormagazine.fr/stmicro-nfc.
Si vous n'êtes pas encore abonné à Elektor, vous trouverez une offre intéressante d'abonnement d'essai en ligne : www.elektor.fr/membres.

Cette fonction (atteindre directement un lien web) est l'une des possibilités offertes par la communication NFC que l'on peut mettre à profit (pour ses relations publiques) : une balise (ou plusieurs) avec un lien vers un site web professionnel ou privé sur l'électronique sera du plus bel effet sur le stand d'un salon, c'est assurément une façon de se démarquer !



Lire le numéro

Il est à présent temps d'utiliser une appli NFC pour découvrir quelles autres données se cachent dans la balise. Nous avons testé le tout avec deux applis Android que l'on peut télécharger gratuitement sur Google Play (voir ci-dessous). Ouvrez l'appli et lisez la balise en cliquant d'abord sur l'option « Lire » ou une option similaire, puis maintenez la carte de crédit proche de l'ordiphone. La copie d'écran montre ce qui apparaît à l'écran, si l'on utilise par ex. l'appli populaire « NFC Tools ».

Nous avons besoin de l'« UID »/« numéro de série ». Ce numéro unique (code hexadécimal) est enregistré en usine sur chaque balise et ne peut être modifié par la suite. Idéal à des fins d'identification !

Vous avez ainsi la possibilité de gagner l'un des plus des 500 prix attrayants mis à disposition par STMicroelectronics :

- **3 casques Bluetooth Bose® Soundlink Around Ear**
(avec une balise NFC ST25TA pour un appariement Bluetooth particulièrement facile)
- **100 kits de découverte NFC de STMicroelectronics**
(chacun contient deux cartes d'évaluation NFC)
- **400 cartes Cloud STMicroelectronics avec la puce ST25TA02K-P**



Allez maintenant sur le site NFC d'Elektor que vous avez déjà visité et inscrivez-vous au concours. Vous devrez indiquer l'« UID » de votre balise ainsi que l'adresse à laquelle nous enverrons peut-être l'un des prix mentionnés ci-dessus. Toutefois vous devez également répondre à une petite énigme.

Vous pouvez participer jusqu'au 31 mars 2016.

Après cette date, nous désignerons et contacterons les gagnants. Naturellement les dernières nouvelles sur ce concours seront publiées dans notre lettre d'information hebdomadaire.

Nous souhaitons bonne chance et beaucoup de plaisir dans vos expérimentations. ◀

(150593 – version française : Thierry Destinobles)

Applis Android gratuites pour lire le numéro de série :

- [1] NFC Tools :
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wakdev.wdnfc&hl=de>
- [2] ST25 NFC Demo :
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.st.demo&hl=de>

Rendez-vous au salon Embedded World 2016 !

Elektor International Media sera présent au salon *Embedded World* qui se tiendra à Nuremberg (Allemagne), du 23 au 25 février 2016. *Embedded Word* couvre la sécurité des systèmes électroniques, l'intelligence distribuée, l'Internet des Objets, l'écomobilité, et bien sûr le secteur en plein essor des systèmes embarqués.

Éditeurs, rédacteurs et ingénieurs du labo Elektor vous accueilleront sur

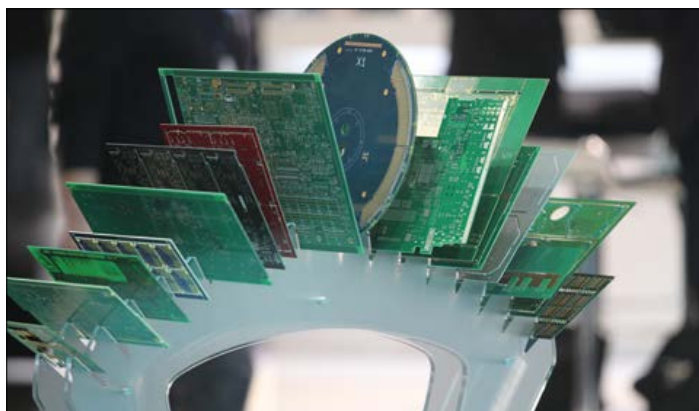


Photo : NürnbergMesse / Frank Boxler (2015)



notre stand de 35 m² (**4A-518**). Vous pourrez y découvrir des projets récents comme la lampe **Lumina**, les **boutons sans-fil pour quiz**, l'**horloge Nixie à six chiffres**, le **générateur de fonctions par DDS** et la carte **eRIC Nitro**. Les stylos et caméras d'**Elektor Business** et d'**Elektor TV** seront également à l'affût pour vous rendre compte des sujets d'actualité les plus intéressants.

Dans notre lettre hebdomadaire Elektor.Post, nous publierons des informations sur les offres spéciales ainsi que l'agenda de nos activités et démonstrations sur le salon.

Date : **du 23 au 25 février 2016.**

Lieu : **Messezentrum de Nuremberg, hall 4A, stand 518.**

Pour obtenir votre billet d'entrée gratuit au salon, allez sur www.embedded-world.de/voucher et saisissez le code **B319128**.



EAGLE Version 7.5

La version 7.5 d'EAGLE de CadSoft est sortie fin 2015 avec son lot de nouveautés, améliorations mineures et corrections. L'intégration de l'outil Fusion 360 d'Autodesk permet à l'utilisateur de passer de la CAO électrique à la CAO mécanique depuis le même écosystème. La v7.5 inclut aussi PCBSim de Felicitas, un simulateur et analyseur d'intégrité du signal. Parmi les améliorations : import des fichiers Gerber ; import/export des fichiers DXF ; intégration d'ULP populaires au menu standard ; icônes modifiables pour les écrans à très haute résolution ; possibilité de verrouiller les fichiers.

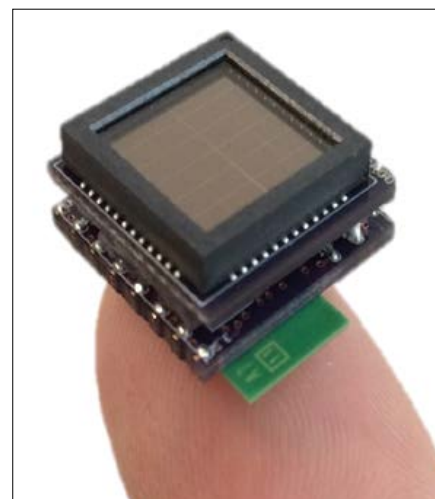
www.cadsoftusa.com (150568-3)

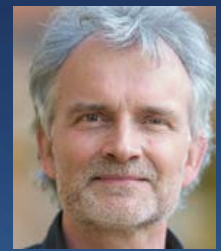
L'IdO prend le soleil avec les PMIC de récupération d'énergie

La nouvelle famille de PMIC (**Power Management Integrated Circuits**), circuits intégrés de gestion d'énergie, de Cypress Semiconductor permet d'alimenter par énergie solaire des mini-capteurs sans fil pour l'Internet des Objets (IdO). Cypress affirme que ses puces ont la plus faible consommation au monde et peuvent être utilisées avec des cellules solaires aussi petites que 1 cm². Ces PMIC sont totalement intégrés, donc idéals pour des nœuds de capteurs sans fil et sans pile surveillant les conditions environnementales de maisons, usines et autres infrastructures « intelligentes ». Cypress propose une solution complète de récupération d'énergie sans pile sous la forme d'un kit à 49 \$ réunissant

le PMIC S6AE101A (première des puces de la nouvelle famille), le module compact et entièrement certifié EZ-BLE™ ProC™ de connexion Bluetooth® Low Energy, et un logiciel associé. Avec une puissance d'amorçage de 1,2 µW – quatre fois moins que le concurrent principal – et une consommation de seulement 250 nA, les nouveaux PMIC maximisent la puissance disponible pour les fonctions de traitement, détection et communication de l'application cible. Associés au EZ-BLE ProC, ils forment une solution de récupération d'énergie facile à utiliser et de faible consommation.

www.cypress.com (150568-1)

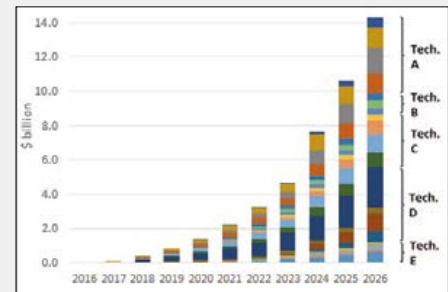




Un marché de 14 milliards de \$ pour les batteries « post Li-ion »

Les batteries reposant sur les technologies actuelles, p. ex. lithium-ion et plomb, domineront encore le marché dans les dix ans à venir. Si les conditions sont réunies, les batteries post-Li-ion et de nouvelle génération pourraient toutefois gagner 10 % de parts de marché d'ici 2026. Certaines d'entre elles sont en effet déjà utilisées dans des segments de niche dont la croissance devrait s'accroître dans les dix prochaines années. Le potentiel de ces batteries est estimé à 14 milliards de dollars en 2026. Ces prévisions et leur analyse figurent dans le rapport *Advanced and Post Lithium-ion Batteries 2016-2026: Technologies, Markets, Forecasts* publié par IDTechEx.

Ces technologies se développent en suivant un schéma intéressant : elles cherchent à pénétrer les marchés de niche émergents plutôt que les marchés d'utilisation finale, le secteur automobile p. ex. Bien que l'automobile reste l'un des principaux marchés des batteries, 2015 aura en effet été une année d'émergence et de consolidation pour les marchés de niche des batteries de nouvelle génération, des niches où elles ne sont pas soumises à la féroce compétition des technologies et compagnies déjà établies. Ces segments de niche permettront donc aux technologies émergentes de parvenir à maturation, et aux entreprises concernées de répondre aux exigences d'échelle et de



sécurité d'approvisionnement qu'attendent les secteurs de l'automobile et de l'électronique grand public.

www.IDTechEx.com (150541-1)

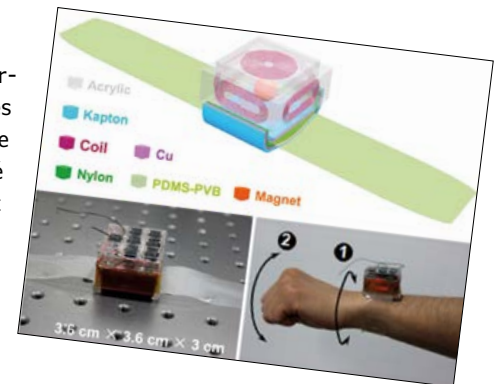
Nano-générateur hybride pour e-montres

Les montres intelligentes sont de plus en plus populaires. Toutefois elles présentent un inconvénient majeur : leur courte durée de fonctionnement. Leur petit boîtier laisse peu de place à l'accu, c'est pourquoi il faut les recharger presque tous les jours. Des chercheurs américains et chinois ont conçu un nano-générateur hybride qui convertit en énergie les mouvements du porteur de la montre.

Les scientifiques du *Institute of Nanoenergy and Nanosystems* (Chine) et du *Georgia Institute of Technology* (États-Unis) ont développé un générateur miniature avec deux mécanismes de conversion d'énergie : électromagnétique et triboélectrique. Ainsi le générateur délivre beaucoup d'énergie.

Le prototype est composé d'une petite boîte de 3,6 x 3,6 x 3 cm, dotée sur toutes ses faces de bobines électriques. La boîte contient une bille mise en mouvement par le porteur de la montre. L'énergie mécanique

de la bille est convertie en électricité par les bobines. Le bracelet de la montre est composé d'une couche de nylon et d'une autre en composite polymère. Lorsque la bille roule dans la boîte, elle appuie sur le bracelet, cela provoque des effets triboélectriques qui produisent un courant sur les électrodes du bracelet.



<http://goo.gl/z9qU6W>

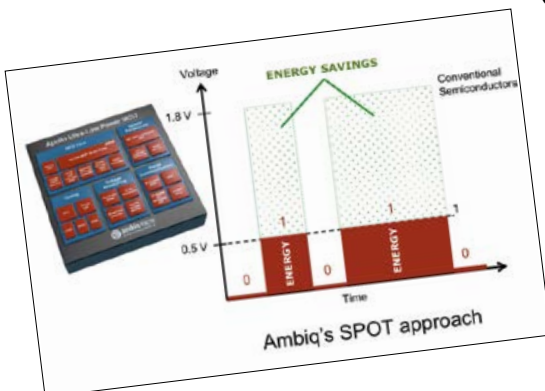
Contrôleur Cortex-M4 à consommation ultra-faible

La demande en contrôleurs économes en énergie pour les appareils mobiles est particulièrement forte, en effet changer une batterie est cher et fastidieux pour l'utilisateur final. C'est pourquoi les fabricants de semi-conducteurs avec des microcontrôleurs peu énergivores peuvent se démarquer de la concurrence. Dans le cas des contrôleurs de type ARM Cortex-M pour des applications avec une puissance de calcul limitée, c'est particulièrement pertinent.

Le fabricant étasunien Ambiq Micro pré-

sente son « Apollo MCU » comme le microcontrôleur le moins gourmand de sa branche. En effet ses caractéristiques sont impressionnantes : le contrôleur basé sur le Cortex-M4F consomme 34 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ si des instructions sont exécutées depuis la flash. À 16 MHz, cela donne à peine 0,5 mA. La consommation en mode *sleep* est inférieure à 150 nA. Ce contrôleur est disponible avec une mémoire flash embarquée de 64 à 512 Ko, en grandes séries.

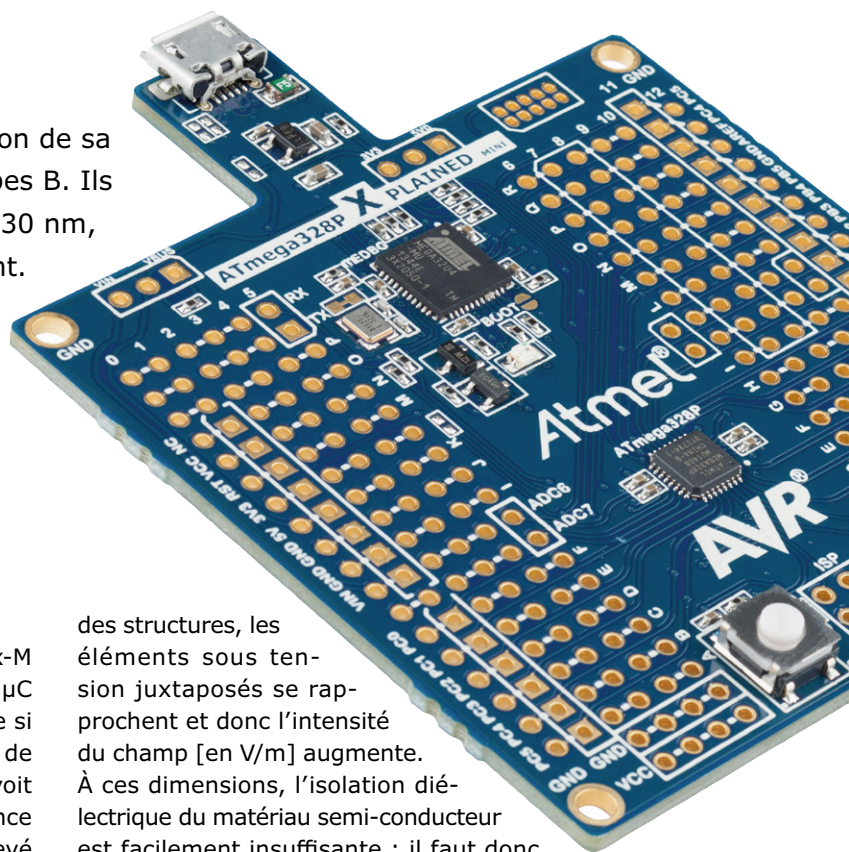
<http://goo.gl/UWwnyy>



nouveaux μ C AVR

Andreas Riedenauer (Ineltek Mitte GmbH)

Début 2015, Atmel a présenté une nouvelle version de sa famille émérite de microcontrôleurs AVR – les types B. Ils sont fabriqués selon un procédé propriétaire en 130 nm, au lieu de la gravure à 350 nm utilisée auparavant. La production de masse de l'ATmega168PB, premier représentant de cette nouvelle technologie, a démarré. Cet article évoque les raisons du choix de ce nouveau procédé et les améliorations qui en découlent.



Le marché des microcontrôleurs à 8 bits

La disponibilité de μ C à 32 bits très bon marché (μ C Cortex-M de nombreux fabricants par ex.) a pu faire penser que les μ C à 8 bits étaient en voie d'extinction. On se trompe : même si le marché des μ C à 32 bits connaît bien un pourcentage de croissance largement supérieur à celui des 8 bits, on prévoit pour les 8 bits avec mémoire Flash de 32 Ko une croissance de 6 à 8% par an – et cela à un niveau nettement plus élevé en chiffres absolus. Dans certaines applications, qui requièrent une grosse puissance de calcul, les μ C à 32 bits remplacent les 8 bits, mais il y a de plus en plus de nouvelles applications pour ces derniers. S'il est une tendance indéniable, c'est bien celle de la poursuite sur la voie du moindre coût. Et il existe, pour ne pas quitter cette voie, une méthode éprouvée : la réduction de la surface nécessaire par puce, ce que l'on appelle le « *die-shrink* ». La taille de structure des puces semi-conductrices peut être comparée à la résolution des images – un procédé aux structures élémentaires plus petites permet d'intégrer plus de détails sur la même surface. Le résultat : plus de puces par galette (*wafer*), mais aussi un meilleur rendement en pourcentage, car le nombre absolu de défauts par galette ne change pratiquement pas. Lors du remplacement des μ C AT90Sxxx par les ATtiny et ATmega, Atmel avait déjà fait un pas dans cette direction en passant du procédé de production de 500 nm d'origine à 350 nm, ce qui réduisait l'encombrement d'un peu plus de la moitié (le pourcentage de rétrécissement est proportionnel au carré du côté). Il y eut, lors de l'introduction des μ C XMega, une autre réduction de près de la moitié de la surface requise, ceux-ci étant fabriqués en 250 nm. De ce fait, les XMega sont, en dépit de l'ajout de nombreuses fonctions, généralement, à taille de Flash égale, moins chers que les AVR classiques correspondants.

Toujours plus petits ?

Sachant qu'il y a encore bien plus petit – pourquoi alors ne pas passer directement au 18 nm, puisque c'est possible techniquement ? Eh bien, tout a son prix. Lors de la miniaturisation

des structures, les éléments sous tension juxtaposés se rapprochent et donc l'intensité du champ [en V/m] augmente. À ces dimensions, l'isolation diélectrique du matériau semi-conducteur est facilement insuffisante ; il faut donc travailler à des tensions plus faibles. Résultat : une diminution du rapport signal/bruit et des composants plus sensibles aux tensions parasites (CEM). De plus, comme il faut travailler en externe à des tensions plus élevées, des régulateurs internes doivent réduire la tension (= consommation de courant). L'utilisation de convertisseurs CC/CC plus efficaces produit des parasites gênants. Le XMega n'a pas de tels convertisseurs ; la tension de fonctionnement (V_{cc}) est de ce fait limitée à 3,6 V seulement et non pas à 5,5 V comme avec les AVR classiques. Il y a une autre raison qui fait qu'un « *die-shrink* » peut entraîner une consommation plus élevée : lorsque, pour des raisons d'économie, le circuit passe beaucoup de temps en mode veille (enregistreur de données, systèmes d'accès, circuits d'alarme...), on a des courants de fuite plus intenses, dus à la réduction des distances d'isolement. *Last but not least*, la miniaturisation extrême est néfaste pour la fiabilité à long terme des cellules Flash.

Atmel utilise un nouveau procédé de fabrication qui permet d'exploiter de manière optimale les avantages des petites structures, sans subir ces inconvénients. Les options offertes par la réduction de surface permise par le procédé à 130 nm ne sont donc pas poussées aux limites. Les couches isolantes sont plus épaisses, et là où il le faut on implante des éléments individuels de plus grande taille.

Garantir la compatibilité ascendante est en effet impératif : les types B sont compatibles, logiquement et électriquement, avec leurs prédécesseurs. Donc si on remplace le ATmega168PA utilisé sur une carte par un ATmega168PB, il n'y a rien à changer : tension de service, calcul de puissance, horloge et prog-

ciel. Et cela devrait fonctionner. Devrait ? Oui, mais seulement si l'on a, lors de la programmation tenu compte du précepte universel : « *Never change unused addresses and bits!* ». Les types B vont au-delà des économies de coûts – ils possèdent également de nouvelles fonctions.

De nouvelles fonctions pour les types B

À l'image de ce qui s'est passé lors de l'arrivée des types A il y a quelques années, les types B ont eux aussi subi une modernisation (fig. 1).

Les **oscillateurs RC** internes ont maintenant, à la sortie d'usine, une précision de $\pm 2\%$ sur l'ensemble des plages de tension de service et de température ($\pm 1,5\%$ dans la plage de 0 à 70 °C) ; c'est important pour la communication série asynchrone des circuits sans quartz.

Comme avec les Xmega, la sortie du **comparateur analogique** peut être mise directement sur une broche d'E/S. Le décalage (*offset*) petits signaux a été réduit et on peut travailler en « *rail-to-rail* ».

Même l'UART a évolué. En mode de mise en sommeil (*Power-Down*), le μC peut être réveillé par des signaux entrants, sans qu'il y ait besoin d'une interruption produite par un changement d'état de broche (*Interrupt-on-Pin-Change*). En outre, les données entrantes sont enregistrées, pendant le démarrage de la CPU, ce qui évite ainsi la perte des premiers bits.

Comme dans le cas des Xmega, on peut, depuis l'application, lire le **numéro de série** inaltérable et donc l'utiliser pour le contrôle de qualité, la logistique, voire comme adresse pour une personnalisation du code ou à d'autres fins.

Ajoutons qu'il y a des **broches d'entrée/sortie** supplémentaires. Nombre d'AVR disposent de plusieurs broches Vcc et GND. Les ATmega48/88/168/328PB perdent les broches Vcc 6 et GND 3 ; celles-ci peuvent maintenant servir d'E/S supplémentaires (cf. fig. 2). De plus, les broches 19 et 22 utilisées jusqu'à présent uniquement comme entrées analogiques peuvent maintenant aussi servir d'E/S numériques.

Matériel Capacitive Touch

L'ATmega328PB est le premier AVR à avoir un « PTC » (*Peripheral Touch Controller*, CTP = Contrôleur Tactile Périphérique), déjà classique sur les dérivés Cortex-M0+ d'Atmel. Comparé à une solution logicielle, le CTP épaulé par la bibliothèque Qtouch non seulement soulage la CPU et la Flash, mais il est aussi plus facile à configurer, plus économe en énergie ; on peut donc, dans bien des cas, se passer d'interrupteur marche/arrêt. Il devient possible de réaliser un *Wake Up On Touch* qui consomme moins de 5 μA en moyenne – soit 50% environ de l'autodécharge d'une pile AA standard.

Nouveaux ATtiny

S'il n'est pas prévu, en principe, de nouveaux μC ATmega et Xmega, la famille de l'ATtiny s'enrichit, elle. Atmel prévoit une très forte demande pour des contrôleurs à très faible coût ; cependant, ces « tiny », fabriqués en 130 nm, ne sont plus, cette fois, des AVR au rabais ; au contraire, ils ont de nouvelles fonctions dont seuls, jusqu'à présent, disposaient les ATmega, voire Xmega. Notons un CA/N à 10 bits, un temporisateur

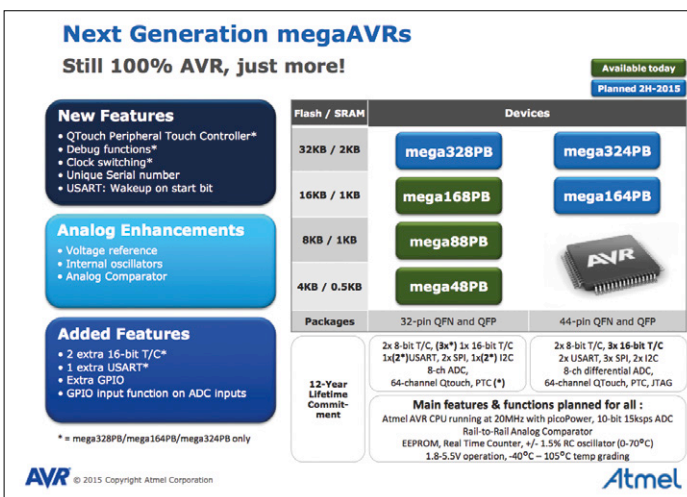


Figure 1. Les ATmega de types B ont été dotés d'un certain nombre de nouvelles fonctions (source du graphique : Atmel).

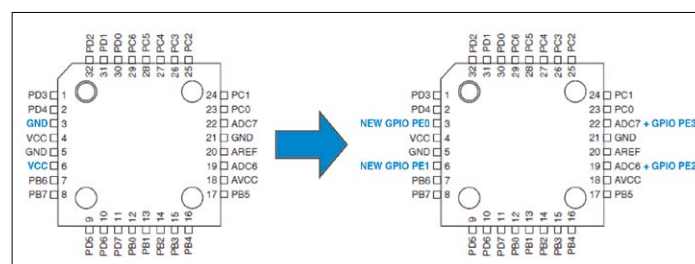


Figure 2. Les nouveaux ATmega mettent maintenant à disposition quatre E/S numériques supplémentaires (source : Atmel).

à 16 bits aux nombreuses fonctions et de vraies interfaces matérielles remplaçant l'USI classique. Les ATtiny102 à 8 broches et ATtiny104 à 14 broches en sont les premiers membres.

Fin des boîtiers DIL

En prenant la décision non seulement de poursuivre le développement des μC Cortex, mais aussi de moderniser la famille AVR qui a fait ses preuves, Atmel est sur la bonne voie. Les premières réactions des clients le prouvent. L'amateur verra sans doute une larme : pour les nouveaux circuits, plus de bons vieux boîtiers DIL. ◀

(150126 – version française : Guy Raedersdorf)

Nouveaux outils

Parallèlement au lancement des types B, un nouveau kit d'évaluation très bon marché, le « Xplained Mini », a été présenté. Ses caractéristiques remarquables :

- Débogueur embarqué (*On-board-Debugger*)
- Reconnaissance automatique sous Atmel Studio
- Exemples de projets spécifiques dans Atmel Studio
- Zone de prototypage avec accès à tous les signaux de la MCU
- Brochage Arduino pour la connexion de shields
- Prix inférieur à 10 €

bienvenue dans la section **CRÉER**

Clemens Valens, labo d'Elektor



La fourche – aussi outil du diable

L'*open source*, c'est formidable. Ces dernières années, ce sont d'innombrables logiciels – et matériels – qui ont été créés et dont les sources publiques ont pu être utilisées, étudiées ou modifiées par tout un chacun. Le mouvement *open source* a indéniablement fait progresser l'électronique en rendant la technologie accessible au plus grand nombre, et c'est fantastique. Mais on pou-

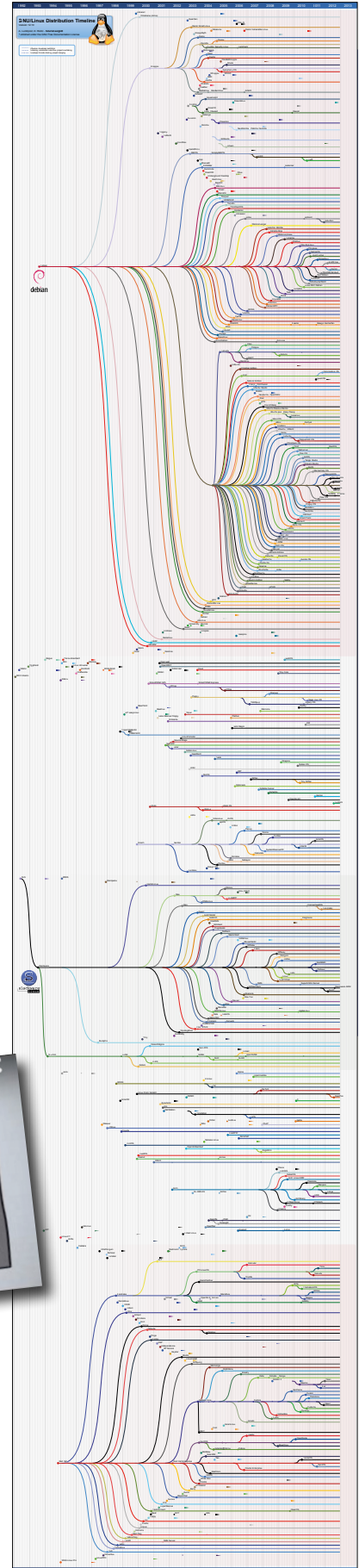
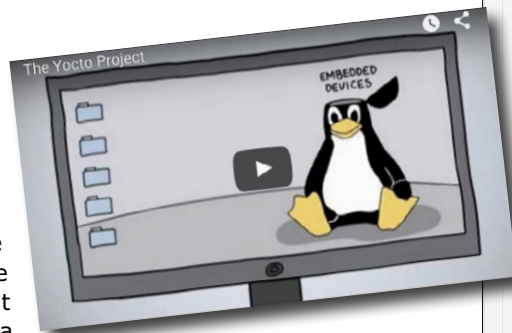
vait espérer beaucoup mieux. Le diagramme de droite montre les « fourches » (*forks*, branches) de Linux apparues entre 1992 et 2012. Toutes ces variantes ont été créées par des gens qui pensaient que Linux pouvait être meilleur que ce qu'il était. Le temps et l'énergie dépensés à leurs entretien et amélioration sont stupéfiants. S'ils avaient été consacrés à une seule distribution, Linux aurait été LE système d'exploitation de l'univers. Preuve de son âge vénérable, l'histoire de Linux est relatée dans l'Ancien Testament. En ces temps-là, la plateforme Linux s'appelait Babel et nombreux étaient ceux qui contribuaient à son édification. Mais le jour où elle permit enfin d'atteindre les sommets de l'Utilité, Dieu décida de la désunir. À coups de fourche. L'épisode s'est répété en 2015 avec la bifurcation d'Arduino en arduino.cc et arduino.org. Là aussi il suffit d'ouvrir la Bible pour deviner la suite : *alors Dieu les dispersa sur toute la surface de la Terre, et ils cessèrent la construction du système.*

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Fork \(développement_logiciel\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fork_(développement_logiciel))

10⁻²⁴ Linux

Lasse de toutes ces fourches linuxiennes, l'industrie a fait ce qu'elle sait faire de mieux : créer un groupe de travail. Le projet Yocto, c'est son nom, a plusieurs objectifs. L'un d'eux est d'encourager l'uniformisation et la réutilisation de composants logicielles existantes pour développer Linux. Un autre est d'informer la communauté sur les bénéfices de cette uniformisation. Comme Linux, Yocto est un projet collaboratif *open source*. Réussira-t-il, ou bien sa probabilité de succès est-elle de *yocto* ? Les paris sont ouverts quant à la date de la première fourche de Yocto. ◀

www.yoctoproject.org



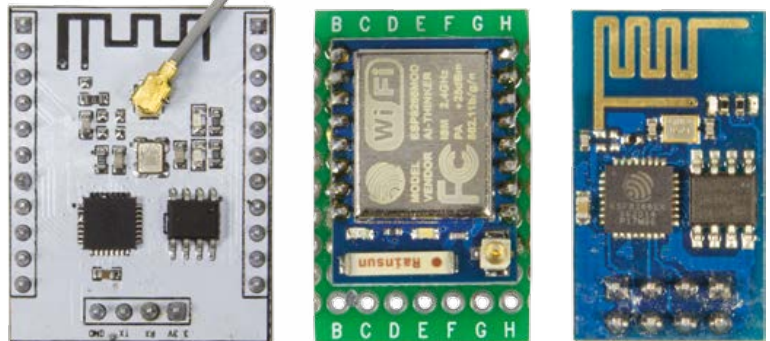
(150559-I – version française : Hervé Moreau)

WLAN pour microcontrôleurs

avec la puce ESP8266

Walter Trojan

L'Internet des Objets (IdO) fait penser au réfrigérateur qui communique avec le supermarché, à la chaudière domestique qui réagit à un appel de portable... Est-ce si compliqué à réaliser ? Plus vraiment, depuis qu'il existe un module WLAN abordable à connecter sur n'importe quel microcontrôleur doté d'un peu de logiciel. Ce circuit, on le commande alors par PC, tablette ou téléphone tactile.



Caractéristiques techniques de l'ESP8266

- Processeur : Tensilica L106, 32 bits
- Horloge processeur : 80 / 160 MHz
- Mémoire RAM : 32 + 80 Ko
- Mémoire flash : max. 16 Mo, typique 512 Ko ou 1 Mo
- Alimentation : 3,3 V, ne tolère PAS le 5 V
- Consommation : 10 µA à 170 mA
- Lignes de port GPIO : 17, avec les fonctions I²C, SPI, UART, MLI multiplexées
- Port analogique : 1, résolution de 10 bit, plage 0 à 1 V
- Compatible 802.11 : b/g/n/....
- Liaisons TCP simultanées : max 5
- Modes disponibles : station, point d'accès, station + point d'accès

Intégrer un microcontrôleur à un réseau local sans fil n'est pas banal. Mais un composant relativement récent, l'ESP8266, rend la tâche nettement plus abordable. Voyons comment l'associer aux microcontrôleurs des familles Atmel, PIC ou ARM pour en faire une porte d'accès à un réseau WLAN.

La puce ESP8266

La société Expressif [1] de Shanghai a conçu la puce ESP8266 et la commercialise depuis 2014. Comme elle combine un

microprocesseur à 32 bits à un trameur WLAN, on doit parler de système sur puce (SoC). Les caractéristiques essentielles de la puce sont énumérées ci-dessus. Entretemps plusieurs constructeurs en ont fait une petite carte de liaison (BoB) comme on peut le voir au haut de la page, en y ajoutant de la mémoire flash (0,5 ou 1 Mo) et une antenne à 2,4 GHz. Autour de la même puce, chacun y est allé de son système d'E/S (GPIO), de son type d'antenne, mais pour un prix fort abordable, à partir de 3 €.

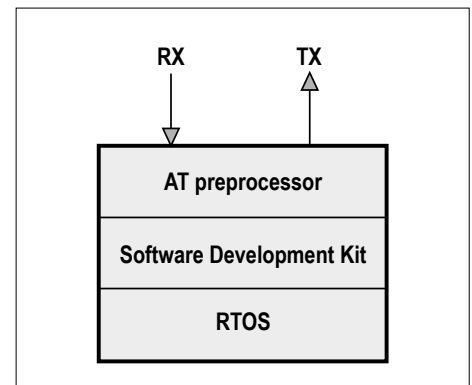


Figure 1. Structure du micrologiciel de l'ESP8266.

L'ESP8266 peut fonctionner comme station, point d'accès, ou station et point d'accès. La station sert de serveur TCP/UDP ou de client ; le point d'accès forme un réseau local privé pour des nœuds WLAN voisins.

La **figure 1** montre dans les grandes lignes la structure du micrologiciel. Le système d'exploitation multitâche en temps réel *freeRTOS* est le chef d'orchestre. De nombreuses fonctions sont disponibles dans la bibliothèque *Software Development Kit*. Pour qu'on puisse aussi mettre en œuvre l'ESP8266 sans sa programmation propre, il est livré en sortie d'usine avec un micrologiciel standard doté d'un préprocesseur AT. Puisque la puce comprend les commandes de modem AT de Hayes (seuls les anciens s'en souviennent), on peut réaliser beaucoup de choses. Ainsi, la chaîne de caractères « AT+CWMODE=1 » fait passer

Tableau1. Protocole de commande simple

	commande	action
bouton 1	B1, Lof	éteindre LED rouge
bouton 2	B2, Lon	allumer LED rouge
bouton 3	B3, Lbl	clignotement LED rouge
bouton 4	B4, Lzz	éclair sur LED rouge
glissière 1	S1,<value>	luminosité <value> pour LED bleue
glissière 2	S2,<value>	luminosité <value> pour LED blanche

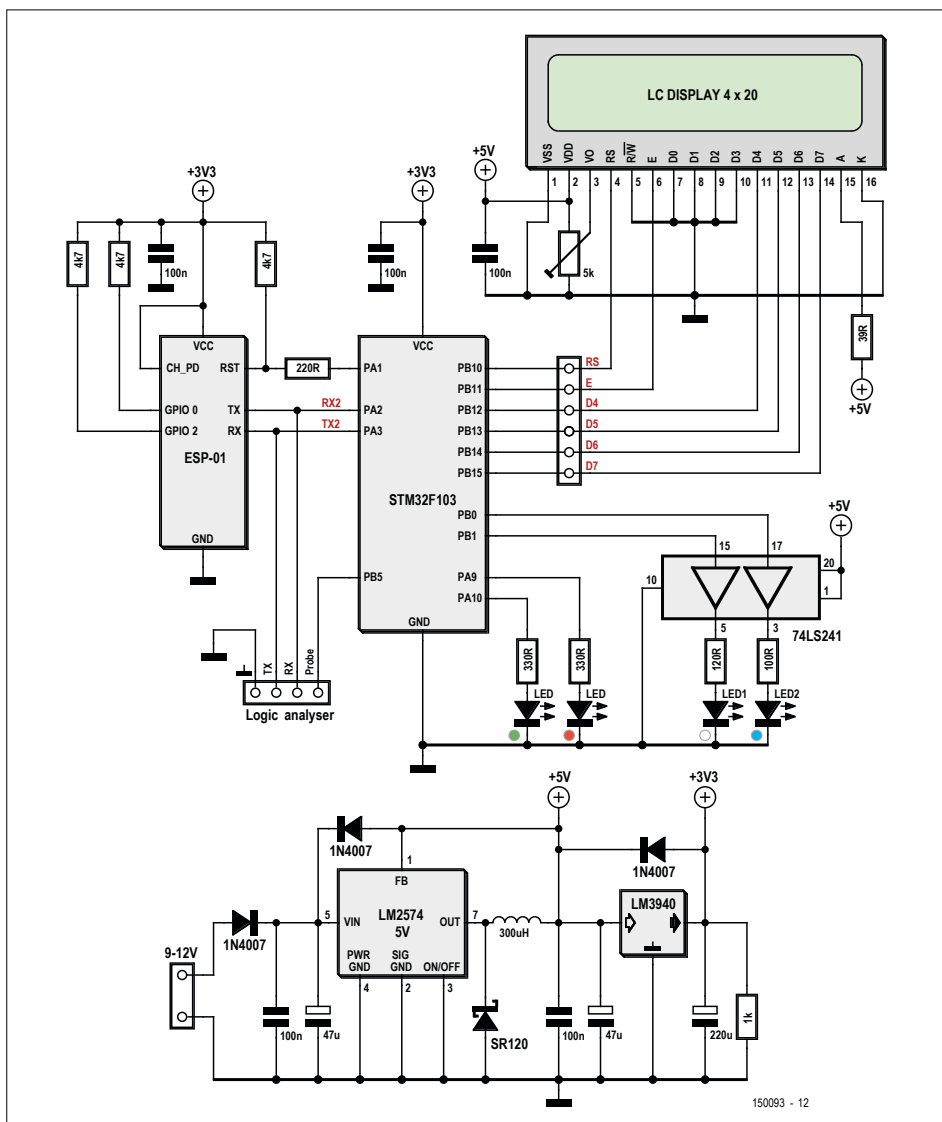
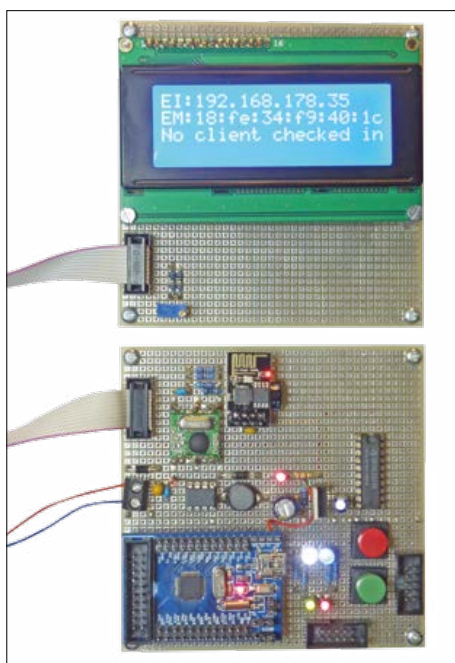


Figure 2. Le circuit du projet.



l'ESP8266 en mode station. Pour que les commandes AT parviennent au processeur, une interface UART sur le BoB les lui transmet.

Dans cet article, nous n'utiliserons que des commandes AT. Si vous voulez programmer vous-même le micrologiciel, vous pouvez remplacer le processeur AT par votre propre interface ou réaliser une solution autonome sans microcontrôleur supplémentaire. Ce micrologiciel sera alors chargé dans la mémoire flash par une interface UART au moyen d'un chargeur d'amorçage.

Inventaire des tâches

Dans ce projet de mise en train (téléchargement du logiciel sur [7]), nous

utiliserons l'ESP8266 comme interface Wi-Fi pour un microcontrôleur STM32. L'objectif sera du niveau « Hello World ». Nous nous contenterons de piloter trois LED (blanche, bleue et rouge) reliées au contrôleur ST. Ces ordres-là seront véhiculés par Wi-Fi depuis les différents clients (PC, tablette Android et iPhone Apple). L'interface utilisateur sur les clients est toujours composée de quatre boutons, plus deux glissières pour régler l'intensité des LED bleue et blanche. Le **tableau 1** liste les ordres (avec confirmation) que j'ai inventés pour la cause. <value> peut prendre les valeurs de 0 à 255 : 0 c'est éteint ; 255 pleine puissance. En actionnant un organe de commande, le client envoie par Wi-Fi l'ordre correspondant qui est immédiatement exécuté sur la plateforme de test. Le STM renvoie alors par Wi-Fi la chaîne « ack\ ». Une autre LED, la verte, doit donner l'état du Wi-Fi :

- éteinte : aucune liaison Wi-Fi
- clignotante : liaison Wi-Fi établie, mais aucun client actuellement
- allumée : le client est connecté.

La plateforme de test

La **figure 2** présente le schéma du projet avec les principaux éléments de la plateforme de test. Je possédais déjà une plaque d'essais sur laquelle j'avais installé une carte à processeur STM32 et une alimentation de 5 et 3,3 V. Cette plaque est raccordée par deux embases à 10 broches à un afficheur LCD de 4x20 caractères et un analyseur logique. Y ajouter la petite carte ESP8266-01 n'a pris qu'un moment. L'ensemble de la construction est à la **figure 3**.

C'est un contrôleur ARM STM32F103C876 à 32 bits qui dirige les opérations ; il est cadencé à 72 MHz, et doté de 64 Ko de mémoire flash et de 20 Ko de RAM. À vrai dire, un contrôleur à 8 bits de Microchip ou d'Atmel aurait suffi, mais c'est ce que j'avais sous la main.

Les informations de diagnostic et l'état de la liaison s'affichent sur le LCD de 4x20 caractères, avec une liaison classique à quatre lignes de données et deux de commande sur le port B du contrôleur. L'analyseur logique fournit des informations sur les fonctions qu'il extrait des liaisons RX et TX entre le contrôleur et l'ESP8266 pour surveiller le dialogue entre les modules actifs. Une autre ligne est reliée à une pointe de touche pour injecter un signal, issu d'une bro-

Figure 3. Montage de test.

che de port GPIO, sur laquelle une routine du micrologiciel envoie de courtes impulsions. On peut placer cette routine à n'importe quel endroit du micrologiciel ; elle permet de savoir quand le code est exécuté par rapport aux autres événements. C'est une méthode qui m'a souvent servi dans la recherche de l'origine d'une panne.

La LED verte qui signale l'état du Wi-Fi et la rouge qui simule l'objet commandé sont branchées directement sur le STM32. Comme la LED bleue et la blanche demandent une tension plus élevée pour la conduction, leur fonctionnement n'y serait pas assuré avec 3,3 V. De plus, comme on veut leur envoyer un courant assez fort, environ 20 mA alors que la charge maximale d'une ligne de port n'est que de 25 mA, elles sont alimentées par l'intermédiaire de tampons 74LS241 à partir du 5 V.

La puce ESP8266-01 n'a que huit broches, elle est d'un couplage facile. Elle communique par RX et TX de l'UART 2 avec un débit de 115 200 bit/s. La broche d'initialisation RST est reliée à la ligne de port PA1 pour permettre sa mise à zéro matérielle par le contrôleur. L'entrée de sélection de puce est mise en permanence à 3,3 V, ce qui la maintient en activité. De la petite carte, seules deux E/S sont câblées à l'extérieur, les lignes 0 et 2 du port. Elles doivent être hautes au démarrage, parce que l'adresse de départ passe par elles. Différentes voies sont possibles pour le lancement, par la mémoire flash ou l'UART, entre autres. Si les deux lignes sont hautes, le démarrage se fera de la flash, ce que nous voulons ici.

C'est le moment d'une mise en garde : l'ESP ne **résiste pas au 5 V**, elle claque tout de suite quand on lui applique une

Tableau 2. Initialisation de l'ESP8266

STM → ESP	ESP → STM	action
impulsion de reset	réponse illisible	raz matérielle
AT+RST	OK.....ready	raz logicielle
AT+CWMODE=1	OK	en mode station
AT+CIPMUX=1	OK	liaison TCP multiple
AT+CWQAP	OK	liaison WLAN arrêtée
AT+CWJAP=<ssid>,<pw>	OK	relancer liaison WLAN
AT+CIFSR	<STAIP> <STAMAC> OK	adresses IP et MAC de la station
AT+CIPSERVER=1,3333	OK	démarrer serveur TCP, port 3333

tension trop élevée. L'alimentation du circuit n'est d'ailleurs pas critique. Il faut du 5 V pour le LCD et les LED bleue et blanche, ainsi que du 3,3 V pour le STM et l'ESP. Sur la plaque d'essais, j'ai fait suivre le régulateur à découpage du 5 V par un régulateur série de 3,3 V. Comme l'ESP a une consommation très changeante entre 10 µA en mode de veille et jusqu'à 170 mA à pleine charge, il lui faut une source bien calculée et stable. Il est donc recommandé de choisir une alimentation secteur de 9 à 12 V avec un courant entre 0,5 A et 1 A, et de connecter un condensateur électrolytique de 100 ou 220 µF directement sur les broches de l'ESP pour amortir les pics de courant et empêcher des effets indésirables.

Le dialogue entre STM et ESP

Attaquons l'examen du micrologiciel. C'est le STM32 qui mène la danse, il envoie les commandes AT à l'ESP8266. Le **tableau 2** montre le dialogue d'**initialisation** de l'ESP.

Le STM initialise l'ESP qui acquiesce soit d'un *OK*, *ready* et/ou d'une information. Après le démarrage, il y a d'abord une courte impulsion de 1 ms (active

au niveau bas) qui provoque une mise à zéro matérielle. À la mise à zéro logicielle qui suit répond un OK avec quelques informations système et se termine par *ready*. On configure l'ESP en station avec liaisons multiples par AT-CWMODE et AT-CIPMUX. Comme l'ESP peut se connecter automatiquement au dernier réseau Wi-Fi choisi, cette ancienne connexion est supprimée par sécurité avec AT-CWQAP et la nouvelle est créée par AT+CWJAP. Les données d'accès au réseau sont <ssid> et <pw>. Après la commande AT+CIFSR, l'ESP donne ses adresses IP et MAC qui s'écrivent sur l'afficheur du microcontrôleur. Reste encore à lancer le serveur TCP avec AT+CIPSERVER sur le port 3333, sur quoi l'ESP est prêt à recevoir.

Le **dialogue avec le client** se déroule comme l'indique le **tableau 3**.

Quand un client s'identifie sur le port 3333, l'ESP le signale par un *0,CONNECT*. Le 0 correspond au numéro de canal occupé, il y en a cinq disponibles (0 à 4). Comme preuve d'identité, on appelle l'adresse IP du client par AT+CIPSTATUS et on l'affiche en même temps. Si le client envoie une commande, l'ESP la passe directement au STM.

Tableau 3. Dialogue avec un client

STM → ESP	ESP → STM	action
	0,CONNECT	client identifié sur canal 0
AT+CIPSTATUS	...CIPSTATUS:0,"TCP", <client IP adr>... OK	demande l'adresse IP du client
	+IPD,0,6:B2,Lon...	le client envoie commande, 6 car. sur canal 0, allumer LED rouge
AT+CIPSEND=0,4	AT+CIPSEND=0,4 >	4 car. à envoyer, ESP confirme par >
ack\n	ack	acquiescement pour le client
	attendre la commande suivante	
	+IPD,0,6:B2,Lof...	le client envoie commande, 6 car. sur canal 0, éteindre LED rouge
AT+CIPSEND=0,4	AT+CIPSEND=0,4 >	4 car. à envoyer, ESP confirme par >
ack\n	ack	acquiescement pour le client

Le numéro de canal et le nombre de caractères dans la charge utile se trouvent derrière la séquence +IPD. La chaîne de caractères avec la commande que j'ai formulée commence après le double point. Comme acquiescement pour le client, on envoie alors la chaîne de confirmation « ack\n ». Il faut l'introduire avec AT+CIPSEND suivi du canal et du nombre de caractères à envoyer. Le STM traduit la commande reçue. La liaison reste établie jusqu'à ce que le client ou le serveur y mette fin. Il n'y a ici que peu de commandes AT utilisées sur plusieurs douzaines.

Le micrologiciel du STM32

Le micrologiciel pour le STM32 a été rédigé en C avec l'environnement de développement gratuit CoCoX version 1.78. La **figure 4** montre la structure de ce logiciel que j'utilise dans la plupart de mes projets à microcontrôleur, à savoir le *multithread* coopératif. Après l'initialisation globale, on lance la boucle principale dans laquelle on appelle en séquence tous les *threads*. Dans cette optique, tous les *threads* sont considérés comme des automates finis qui exécutent une séquence de code – appelée ici *threadlet* – en fonction d'une variable d'état. Quand un *threadlet* a été traité avec succès, il change la variable de commutation, de sorte que lors de l'appel suivant, elle soit adaptée à la prochaine tâche à effectuer.

Dans cette structure, les boucles de temporisation et les cycles d'interrogation ne sont pas admis, de manière à ne pas entraver le déroulement de la tâche. C'est

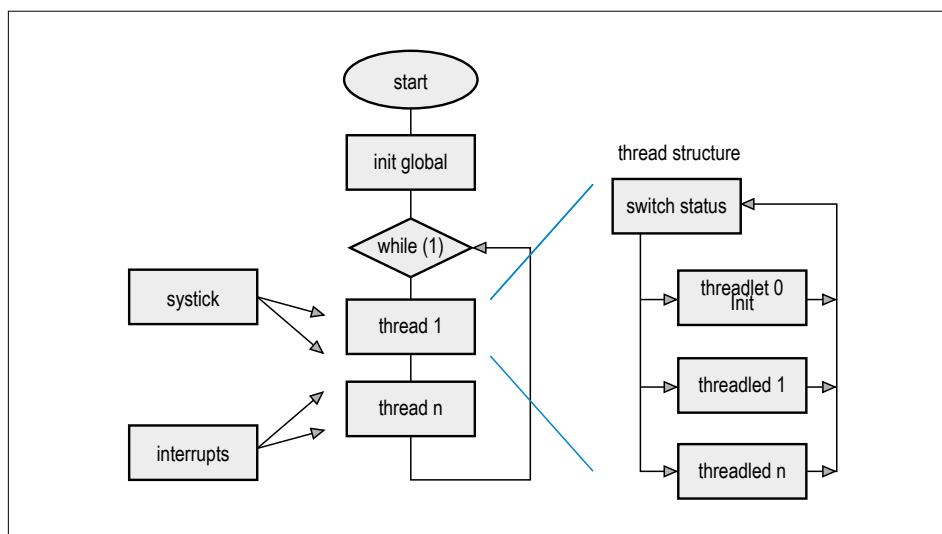


Figure 4. Structure du micrologiciel du STM32.

pourquoi chaque *thread* contient un temporisateur logiciel, rythmé par SysTick, pour réaliser des boucles d'attente sans blocage. Cette méthode assure que les *threads* seront appelés à des intervalles de quelques microsecondes avec des temps de réaction acceptables.

SysTick est une routine d'interruption prioritaire dans laquelle sont traitées les tâches cycliques. Dans ce cas, il n'y a pour les *threads* que l'horloge logicielle qui compte en pas de 10 ms. Ce sont les interruptions périphériques qui s'occupent des événements de durée critique, fixent les variables et les passent aux *threads* concernés. À l'intérieur d'une routine d'interruption, on ne traite jamais de valeurs importantes.

Ce micrologiciel comporte deux *threads* : *Doapp2* régit la communication avec

l'ESP, *Doapp3* pilote les LED. La luminosité des LED bleue et blanche est commandée en MLI. Pour cela, deux canaux du temporisateur 3 sont réglés sur une période de 10 ms avec une résolution de 10 bits.

L'application est basée sur les bibliothèques CMSIS. Il convient de noter que récemment, ST a mis à disposition des outils de développement supplémentaires comme le générateur de programmes CubeMX et la bibliothèque HAL.

Clients pour PC, tablette Android et iPhone

Un PC client qui dispose d'éléments graphiques facilite la manipulation avec des boutons et des curseurs. J'ai créé une telle interface avec l'environnement de développement gratuit Lazarus en liaison avec FreePascal [4]. Lazarus est un IDE

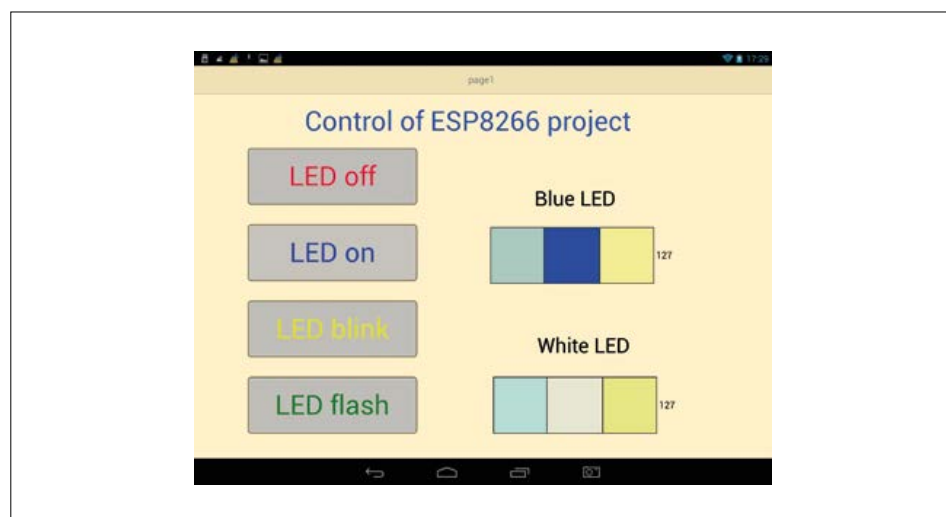


Figure 5. Commande depuis une tablette Android.

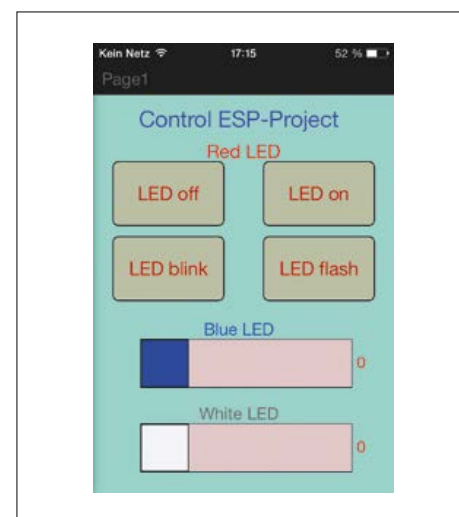


Figure 6. Commande depuis un iPhone d'Apple.

multiplateforme de style Delphi. Pas original, mais contrairement à Delphi, gratuit !

La communication TCP/UDP du PC se base sur le composant additionnel Inet. Un petit programme de test qui y est joint permet de fonctionner comme client ou serveur, IPv4 ou IPv6, avec ou sans SSL. J'y ai ajouté quatre boutons et deux curseurs, le résultat est idéal pour manier la combinaison ESM/STM. On y met le TCP/IPv4, le port 3333 et l'adresse IP de l'ESP, puis on actionne le bouton *Connect* et de là, les LED sont accessibles. Le bouton *disonnect* met fin à la liaison. Le client est téléchargeable en [7], il faut enregistrer les fichiers *cert* et *pkey* dans le même dossier que le fichier *exe*.

En comparaison des efforts à faire jusqu'à présent, l'introduction de clients pour les appareils mobiles est vraiment un jeu d'enfants. La participation de David Eickhoff, qui propose une appli de conception, NetIO [5], pour Android et iOS (pour Android coût env. 5 €, pour iOS env. 11 €), a été décisive. Vous pouvez utiliser le *Design Editor* de NetIO dans un navigateur avec des copiés/collés. On commence par déterminer l'appareil cible, la grandeur de la fenêtre de service ainsi que les paramètres d'ensemble de la communication, adresse IP cible, port et protocole. On met en place ensuite sur la surface, en spécifiant leurs paramètres, les objets comme des boutons, curseurs, boîtes de texte, étiquettes et ainsi de suite. Après quoi, on enregistre le dessin dans le *cloud*. Les **figures 5 et 6** montrent les interfaces utilisateur sur une tablette Android et un iPhone.

Après lancement de l'appli sur l'appareil mobile, une glissade de gauche à droite ouvre un menu dans lequel on s'identifie et se synchronise avec le nuage. On y choisit le dessin de départ, ce qui initie immédiatement la connexion au serveur ESP. Et déjà, les LED s'allument comme on veut. Un jeu d'enfant, disais-je. La liaison s'interrompt quand on ferme l'appli.

Conclusion

En résumé, nous avons équipé du Wi-Fi un microcontrôleur, fait connaissance avec la puce ESP8266, un composant bon marché pour créer des clients pour PC, tablette et mobile. Cette expérience ouvre la voie à d'autres projets de liaison Wi-Fi avec les mêmes fonctions. Mais ce n'est pas tout, la puce ESP renferme un processeur à 32 bits qui tourne à 80 ou 160 MHz et des périphériques. Pourquoi ne pas rendre autonome toute cette puissance pour l'ensemble de l'application ? Au train où ça va, on pourrait le découvrir dans un prochain article.

(150093 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] Fabricant de l'ESP8266 : <http://bbs.espressif.com>
- [2] Environnement de développement en C : <http://coocox.org>
- [3] Projet du labo d'Elektor : www.elektor-labs.com/project/wifi-for-mcus-using-esp8266.14347.html
- [4] Lazarus : www.lazarus-ide.org
- [5] NetIO : <http://netio.davideickhoff.de/de/>
- [6] Forum ESP8266 : www.esp8266.com
- [7] Page de l'article (logiciel) : www.elektormagazine.fr/150093

pico
Technology

OSCILLOSCOPES PC

Nouveautés PicoScope

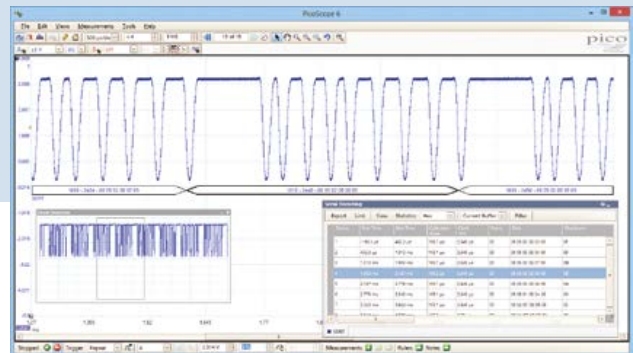
PicoScope 6.11 Disponible
MISE A JOUR SUR

www.picotech.com/downloads

Bonnes Nouvelles

GRANDES NOUVEAUTES INCLUANT:

- **16 protocoles série supportés en standard**
Automobile: CAN, FlexRay, LIN, SENT
Avionique: ARINC 429
Informatique: Ethernet 10Base-T, 100Base-TX, PS/2, UART (RS-232, RS-442, RS-485), USB (FS, HS)
Systèmes Embarqués: 1-Wire, I2C, I2S, SPI
Eclairage: DMX512 **Hobby:** DCC
- **Fonctionnalités Ecran Tactile**
- **Outils de traitement mathématique des signaux**
 - Courbes de fréquence et rapport cyclique
- **Mathématiques avancées sur les signaux incluant les filtres configurables : passe-bas, passe-haut, passe-bande, coupe-bande**



La Meilleure Nouvelle

TOUT EST GRATUIT

Tout utilisateur ancien ou nouveau de PicoScope peut mettre à jour son logiciel gratuitement pendant la durée de vie de son produit. Vous pouvez aussi télécharger le logiciel complet pour l'essayer en mode démonstration.

www.picotech.com/PS464



filtre d'aiguillage actif pour enceinte active flancs raides sur trois voies

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

Une enceinte active est nettement plus chère qu'une passive, c'est vrai, mais quelle différence de technique audio et de qualité de son ! Les amateurs de haute-fidélité le savent bien. Elektor a publié en mars 2014 mon projet d'ampli pour enceinte active, aujourd'hui, c'est au tour du filtre d'aiguillage actif de venir l'électrifier complètement.

Caractéristiques techniques

- Entrée symétrique : jack 6,3 mm ou XLR
- Niveau d'entrée typique : 0,5 à 1 V_{eff} (niveau de ligne)
- Impédance d'entrée : 100 kΩ
- DHT+b par voie (B = 22 kHz):
 - grave : 0,0003 % (à 100 Hz)
 - médium : 0,0003 % (à 2 kHz)
 - aigu : 0,0005 % (à 7 kHz)
- Tension d'alimentation : ±16 à ±25 V
- Consommation : ±65 mA (typique)

L'amplificateur de puissance pour enceinte active [1] propose une structure modulaire pour réaliser une chaîne hi-fi de grande classe, aux caractéristiques techniques excellentes à la puissance souhaitée. Son étage final est équipé de MOSFET Hitachi dont la pente est précoce et les résistances de canal plus hautes que sur la plupart des autres transistors similaires. On les trouve dans de nombreux amplis de qualité depuis des décennies et ils sont toujours disponibles. Le procédé offre une très faible distorsion depuis les puissances faibles jusqu'à moyennement fortes. Cet ampli s'allie parfaitement au filtre actif d'aiguillage de grande qualité présenté ici.

Trente watts suffisent-ils à une enceinte active ? En faut-il cent ou plus ? Chacun a sa réponse, mais quand on n'a pas à sonoriser le palais des sports, juste écouter la musique chez soi avec la meilleure sonorité possible, ce ne sont pas les centaines de watts qui importent. Laissons-les à ceux qui s'éblouissent de chiffres et de records.

Pourquoi actif ?

Il faut plus que des étages de puissance pour avoir une enceinte active, en tout cas si l'on veut profiter des avantages d'une combinaison active cohérente. Assembler un bon ampli de puissance dans une enceinte avec de bons haut-parleurs en passant par un répartiteur

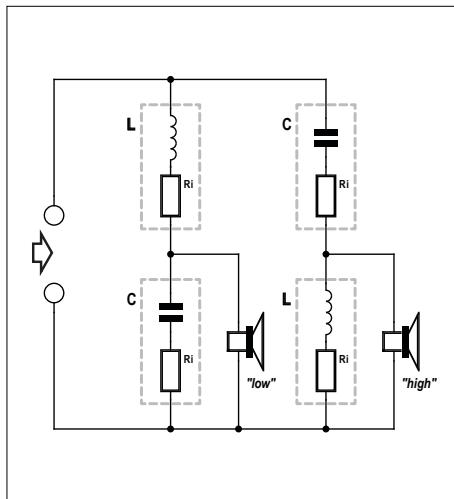


Figure 1. Schéma d'un filtre d'aiguillage passif à deux voies avec les résistances internes des bobines et condensateurs.

passif de l'énergie entre aigu et grave, peut-être aussi médium, n'est pas une solution coordonnée. La **figure 1** montre ce genre de système passif dans le cas simple de deux voies. Les filtres passifs sont faits de bobines et de condensateurs. Les deux ont une résistance R_i qui, en série avec le haut-parleur, réduit l'amortissement. Avec l'ampli d'enceinte par exemple, en raison de son facteur d'amortissement de 400 ou plus, il faut lui relier les haut-parleurs directement par des fils courts. Une résistance interne de seulement $0,1 \Omega$ de la bobine pour un tweeter réduit déjà ce facteur de facilement un ordre de grandeur. Les condensateurs aussi ont leur résistance de perte, mais pas aussi forte que sur les selfs.

Dans la zone de transition, près de la fréquence de coupure, les impédances de la bobine et du condensateur descendent nécessairement à quelques ohms seulement. L'amortissement à cette fréquence devient aussi non linéaire. À cela s'ajoutent les non-linéarités du matériau du noyau des bobines et des condensateurs bipolaires bon marché, ainsi que d'autres vilénies. Il faudrait utiliser des bobines à air à basse impédance et des condensateurs à feuille de grosse capacité, mais c'est fort cher, ce qui réduit à bien peu l'économie par rapport à la formule active. Et on est encore loin du compte, un autre facteur y a un rôle, la raideur des flancs qu'un filtre passif a bien du mal à atteindre sans y ajouter d'autres selfs

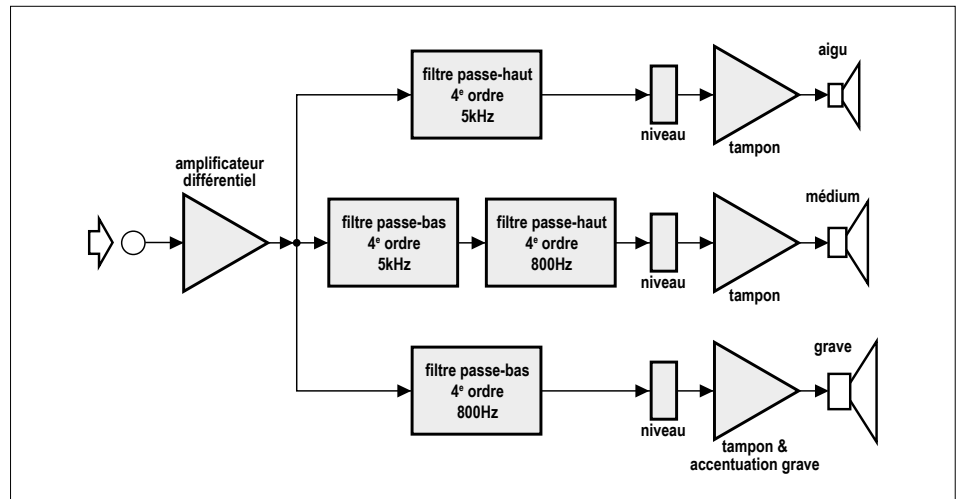


Figure 2. Diagramme fonctionnel du séparateur de fréquences actif.

et condensateurs. C'est encore plus cher et l'on multiplie ainsi les aspects négatifs de l'approche passive, puisqu'il y a alors d'autant plus de ces composants dans le trajet du signal. Le filtre actif, en revanche, permet d'atteindre une sévère raideur des flancs, donc une discrimination rigoureuse des bandes passantes, à bon compte et en toute facilité. Le séparateur actif proposé ici présente invariablement une pente d'atténuation de 24 dB/octave, une valeur qu'on imaginerait mal obtenir d'un filtre passif.

Il y a encore un avantage appréciable, et ce n'est pas le dernier, de la méthode active, c'est que l'on peut aisément l'adapter à d'autres rendements des haut-parleurs utilisés, à l'inverse du système passif. Si vous consultez attentivement les fiches techniques du constructeur, il y a de grandes chances que vous y trouviez différentes valeurs de pression sonore, même pour des combinaisons préconisées de haut-parleurs. Une différence de rien que 1 dB/W/m n'est pas anecdotique, elle est franchement audible dans la reproduction. L'allure de la caractéristique de fréquence dépend aussi de l'aménagement du mobilier dans la pièce. Sur un système passif, égaliser la pression sonore entre les haut-parleurs d'une enceinte ne peut se faire qu'en réduisant la puissance de l'un d'eux avec une résistance en série. Et c'est la pagaille non seulement pour l'amortissement ; en fait, on décale ainsi la courbe de fréquence du filtre. On voit bien à quelles difficultés on est

confronté quand on veut obtenir un bon résultat. Ce sont là tous des paramètres techniques que l'on adapte électroniquement dans un sens et dans l'autre sur un système actif.

Le circuit

Celui qui veut des enceintes d'une excellente musicalité se trouve devant le choix d'en acheter de très bonnes passives, mais chères, ou d'adopter la solution active, nettement plus souple, mais pas bon marché non plus. Parce qu'il faudra un ampli de puissance pour chaque haut-parleur, donc trois dans un système à trois voies, plus le séparateur électronique de fréquence. La **figure 2** montre le diagramme fonctionnel d'un filtre d'aiguillage actif de haute qualité à trois voies.

La technique analogique moderne et les excellents composants disponibles permettent aisément de réaliser un séparateur actif haut de gamme. Il faut pouvoir juger des caractéristiques des composants, en particulier des amplificateurs opérationnels, et s'y connaître en technique de filtrage. De nos jours, il n'est plus nécessaire d'avoir la bosse des maths pour déterminer quels composants il faut pour obtenir les courbes de fréquence voulues. Il y a des logiciels abordables qui le font pour nous. C'est ainsi que j'ai employé le programme *Filter Pro Desktop* de Texas Instruments. Qui veut s'amuser à faire ce genre de calculs peut utiliser la dernière version de *WEBBENCH Filter Designer* [2] à la même source. Il s'agit de l'application en ligne de la

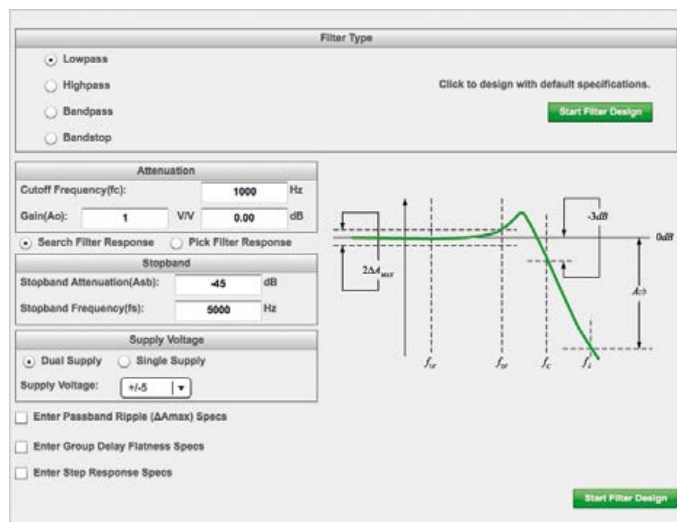


Figure 3. Copie d'écran de WEBBENCH, un outil en ligne de calcul des filtres.

figure 3, il n'y a donc aucun logiciel à installer. Je voulais une pente des flancs du filtre de 24 dB/octave. En raison de sa bonne réputation, j'ai choisi le filtre

Sallen-Key [3] dans la caractéristique de Linkwitz, ce qui correspond à deux filtres de Butterworth ordinaires en cascade. Voyons cela en pratique.

Puces et consommation

Dans le schéma de la **figure 4**, ce qui saute aux yeux, c'est la profusion d'amplificateurs opérationnels. Il s'agit d'amplis logés par deux dans la même puce de type NE5532A [4], réputée pour son faible bruit et sa grande disponibilité, destinée aux applications audio de haut de gamme. Ils opèrent sous alimentation symétrique de ± 12 V fournie par les régulateurs IC8 et IC9. Les condensateurs C45 à C49 y apportent stabilité et déparasitage partout sur le circuit imprimé, et C31 à C44 découplent individuellement les puces.

Le courant provient de l'adaptateur secteur des étages de puissance par K5, ce qui s'arrange bien avec leur tension de ± 25 V pour une puissance de 35 W. Les diodes D5 et D6 protègent d'une inversion de polarité. Avec une consommation de ± 65 mA à max. ± 100 mA, sachant qu'un 7812 peut supporter jusqu'à 35 V à l'entrée, il faut prévoir un radiateur pour IC8 et IC9. Une meilleure solution serait

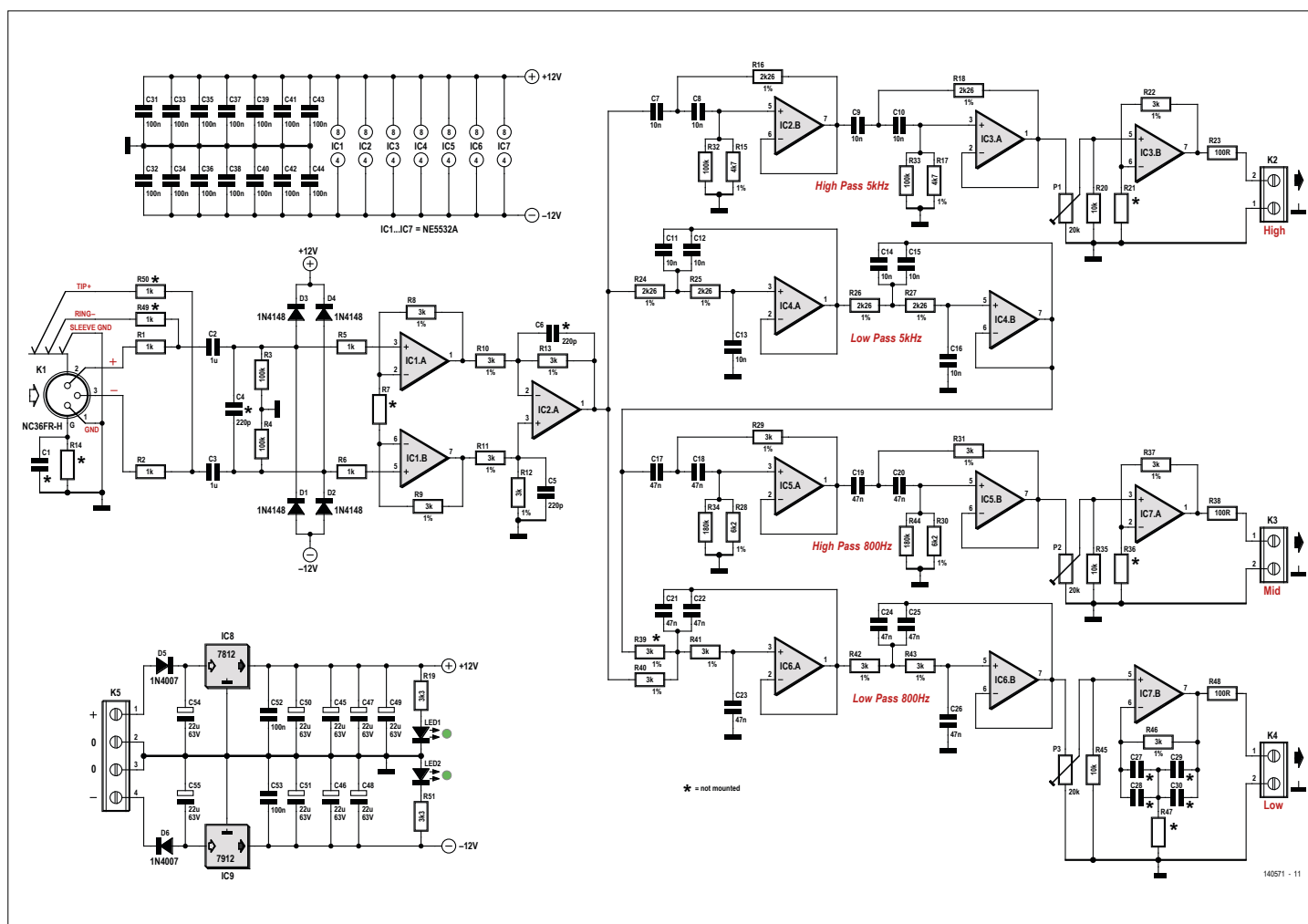


Figure 4. Que d'amplificateurs opérationnels dans le schéma du filtre d'aiguillage de voies actif !

de partir d'un autre adaptateur secteur à transformateur de 4 VA et 2 x 12 V au secondaire, redresseur double alternance et condensateurs réservoirs d'au moins 220 μ F /35 V pour donner ± 17 V non stabilisés. Si comme moi vous alimentez les amplis d'enceinte active sous ± 48 V pour en tirer, avec un sérieux refroidissement, largement 100 W, une alimentation séparée pour le filtre d'aiguillage est indispensable.

À l'entrée

L'entrée du signal est assez particulière. D'abord symétrique, elle est aussi équipée d'une prise combinée K1 qui accepte aussi bien un jack de 6,35 mm pour usage scénique que le connecteur tripolaire XLR normal. Si l'on s'en tient à la meilleure solution, le XLR, les résistances R49 et R50 sont superflues. On peut assurer un meilleur blindage du connecteur XLR avec R14 et C1, quelques ohms et quelques nF, pour sa mise à la masse en évitant le bourdonnement d'une boucle de masse

avec une liaison directe. Le signal audio symétrique arrive par C2 et C3 sur R1 et R2 à la séparation des deux tensions continues et un amplificateur différentiel classique composé d'IC1.A, IC1.B et IC2.A.

Les quatre diodes D1 à D4 protègent les entrées des pics de tension. Avec R1 et R2, C4 bloque l'éventuelle intrusion de parasites HF. Sans R7, le gain de l'amplificateur différentiel est de -1, mais avec R7, on peut le relever si nécessaire. Avec 3 k Ω pour R7, il monterait à -3. Pour maintenir un parfait équilibre en continu, les résistances R10 à R13 doivent être identiques et avec R7 installée, également R8 et R9. Le mieux est d'y implanter des résistances à film métallique, ce qui diminue encore le bruit par rapport à celles au carbone. Leur valeur est aussi critique : trop basses, elles surchargent les sorties des amplis op et augmentent ainsi la distorsion ; trop hautes, elles deviennent bruyantes. L'idéal se situe autour de la

valeur retenue de 3 k Ω . Les condensateurs C5 et C6 limitent la bande passante à environ 240 kHz et, tout comme C4, ne sont pas indispensables.

Le filtre

À la sortie d'IC2.A, on retrouve le signal audio à basse impédance, asymétrique par rapport à la masse, prêt pour la répartition en différentes bandes de fréquences. Commençons par le filtre passe-haut pour la voie de l'aigu.

Pour faire un des filtres du Sallen-Key, il faut deux résistances, deux condensateurs et un ampli op. Il crée une pente de 12 dB/octave. Pour atteindre le double de cette raideur, il faut mettre en cascade deux de ces filtres, IC2.B et IC3.A. J'ai calculé le filtre pour arriver à des valeurs égales et normalisées pour les condensateurs, qui sont plus pénibles et plus onéreux à ajuster, tandis que les valeurs baroques de résistances s'obtiennent facilement par mise en paral-

Liste des composants

Résistances :

1% = film métallique
R1, R2, R5, R6, R49, R50 = 1 k Ω , 5 %
R3, R4, R32, R33 = 100 k Ω , 5 %
R7, R14, R21, R36, R47 = optionnel *
R8 à R13, R22, R29, R31, R37, R39 à R43, R46* = 3 k Ω , 1 %
R15, R17 = 4,7 k Ω , 1 %
R16, R18, R24, R25, R26, R27 = 2,26 k Ω , 1 %
R19, R51 = 3,3 k Ω , 5 %
R20, R35, R45 = 10 k Ω , 5 %
R23, R38, R48 = 100 Ω , 5 %
R28, R30 = 6,2 k Ω , 1 %
R34, R44 = 180 k Ω , 5 %
P1, P2, P3 = potentiomètre d'ajust. 20 k Ω , horizontal *

Condensateurs :

C1, C4, C5, C6, C27 à C30 = optionnel *
C2, C3 = 1 μ F, 63 V, à feuille (PET), au pas de 2,5/5 mm
C7 à C16 = 10 nF, 5 %, à feuille (PET), au pas de 5/7,5 mm *
C17 à C26 = 47 nF, 5 %, à feuille (PET), au pas de 5/7,5 mm *
C31 à C44, C52, C53 = 100 nF, X7R, au pas de 5 mm *
C45 à C51, C54, C55 = 22 μ F, 63 V, électrolytique radial, \varnothing 7 mm, au pas de 2,5 mm

Semi-conducteurs :

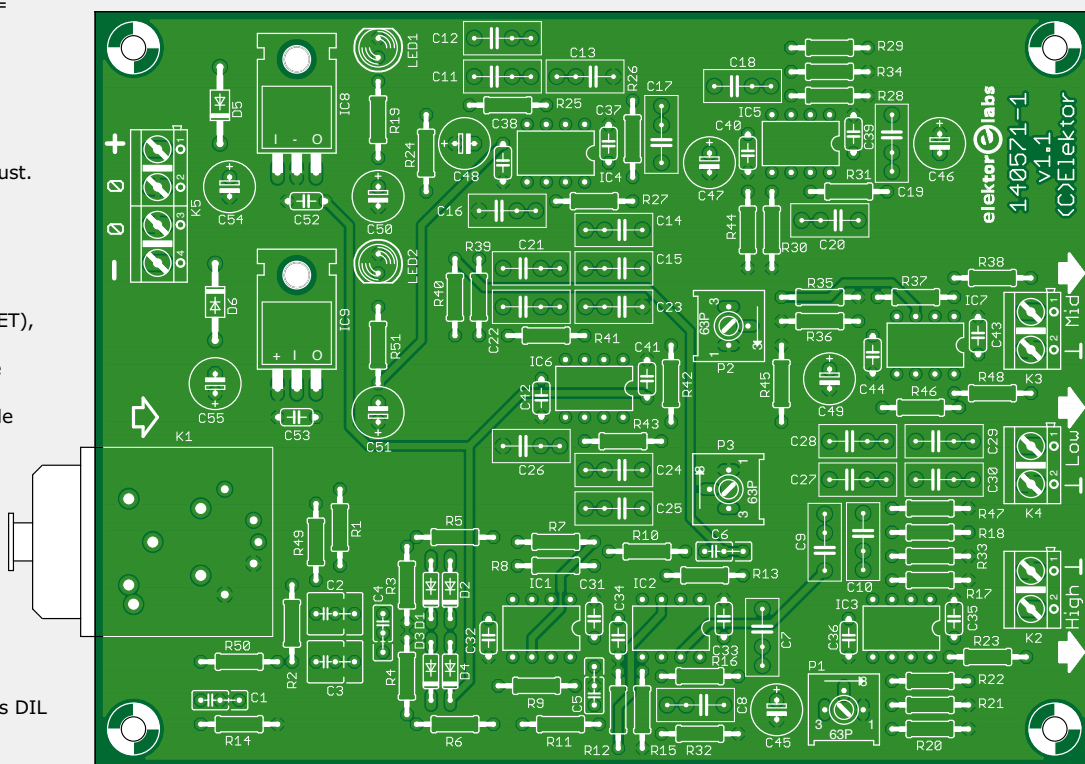
D1 à D4 = 1N4148
D5, D6 = 1N4007
LED1, LED2 = LED verte 3 mm
IC1 à IC7 = NE5532A, 8 broches DIL
IC8 = 7812
IC9 = 7912

Divers :

K1 = prise pour fiche XLR à 3 contacts et pour jack 6,3 mm (Neutrik NCJ6FA-H)
K2 à K4 = bornier à 2 vis au pas de 5,08 mm
K5 = bornier à 4 vis au pas de 5,08 mm
feuille et canon d'isolation pour IC9 circuit imprimé (140571-1)

* voir texte

Figure 5. Le circuit imprimé pour le séparateur actif. Le gros composant, c'est le connecteur combiné pour jack et XLR.



lèle. À l'arrière de cette voie, il y a encore un tampon avec réglage de niveau, nous en reparlerons.

Pour la voie médium, il y a d'abord un filtre passe-bas à la même fréquence limite que le passe-haut de l'aigu, de manière à ce que les niveaux dans la zone de transition s'additionnent également d'une voie à l'autre. Après ce filtre, c'est un passe-haut qui suit, il correspond à la fréquence limite entre les voies du médium et du grave.

Pour la voie grave, il suffit d'un autre passe-bas sur la fréquence de transition inférieure. Normalement, on n'installe pas R39. L'étage de sortie pour la voie grave présente encore une particularité.

Les étages de sortie

On a vu que le niveau est réglable pour chaque haut-parleur, il y a pour cela les trois potentiomètres d'ajustage P1 à P3. Les trois étages de sortie IC3.B, IC7.A et IC7.B ont normalement un gain unitaire, mais on pourrait l'augmenter au besoin avec les résistances R21, R36 et R47. Sur la voie grave, on trouve encore une particularité : avec C27 à C30 et R47, on peut réaliser une accentuation du grave pour compenser avec

+6 dB/octave l'atténuation naturelle du haut-parleur couplé à l'enceinte en dessous de sa fréquence limite. Les condensateurs C27 à C30 déterminent en rapport avec les résistances le domaine de fréquence, tandis que le rapport R46 / R47 définit l'amplitude du relèvement.

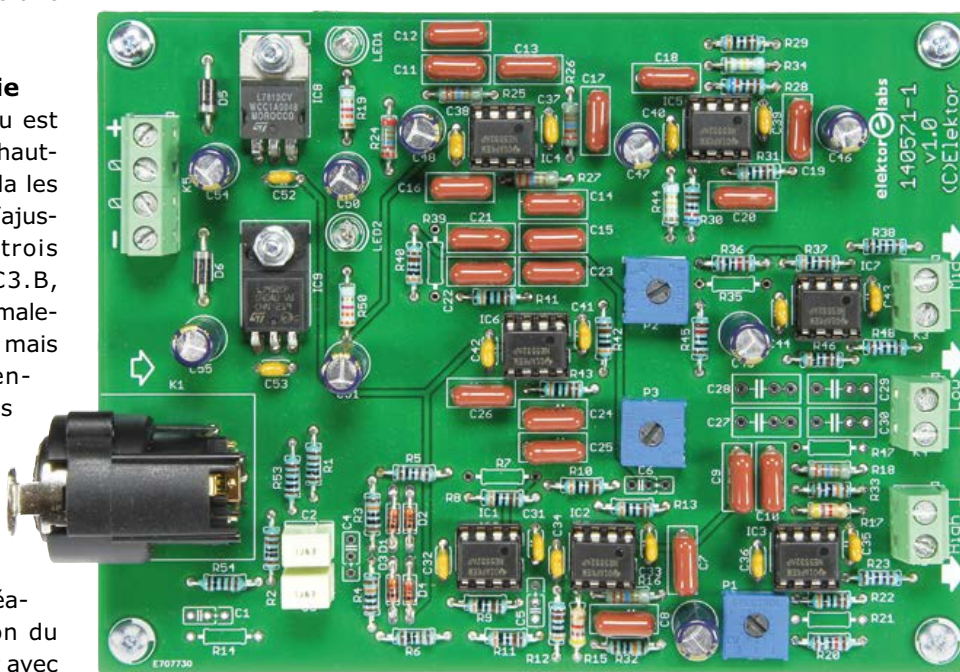
L'encadré **Accentuation du grave** indique les valeurs adéquates pour les fréquences et les relèvements possibles. Cette modification peut améliorer sensiblement la reproduction du registre grave en particulier sur les plus petites enceintes. Il n'y a pas d'avantage sans inconvénient : accentuer le grave absorbe une partie de la puissance de l'ampli. On réduit ainsi la puissance utilisable puisque

l'ampli de grave et même le haut-parleur arrivent plus vite à leurs limites. Sur de grosses enceintes ou si de plus fortes puissances sont souhaitées, mieux vaut renoncer à cette modification.

Construction et raccordement

L'utilisation de boîtiers à double ampli op fait que le circuit imprimé de la **figure 5** est bien moins chargé que ce que le schéma pouvait donner à croire. Il est disponible dans l'e-choppe et les données du tracé gratuitement sur [5]. Il n'y a pourtant pas de CMS, l'implantation et le soudage à la main en sont fort facilités. On commence par les six diodes et

toutes les résistances, puis les supports des puces (recommandés !) ainsi que les condensateurs à la céramique et à feuilles. On peut visser IC8 directement sur la platine puisque la face supérieure du circuit sert totalement de plan de masse. Cela ne marche pas avec IC9, du fait que sa base métallique est reliée à l'entrée.



Accentuation du grave

Il est possible de compenser la diminution de rendement du haut-parleur dans la partie la plus basse du spectre, là où ses dimensions et celles de l'enceinte produisent une déclivité moyenne de 6 dB/octave dans la bande passante. Il faut pour cela amplifier davantage le grave profond, ce qui permet d'élargir la largeur de bande reproduite d'une à deux octaves.

Cela n'a de sens qu'avec de petites enceintes, puisque les plus grandes restent linéaires facilement jusqu'à 25 Hz. Un relèvement dès 73 Hz ne s'applique qu'à des haut-parleurs d'étagère ou des satellites. Même si la fiche technique du haut-parleur de basses donne de bons points de repère, rien ne remplace un test d'écoute.

Pour réaliser une accentuation du grave, le tableau ci-contre donne des orientations. On choisit la fréquence F située de 1 à 1,5 octave plus basse que la fréquence limite basse du haut-parleur de grave.

Tableau 1

F	8,1 dB	6,1 dB	4,4 dB
(Hz)	R47 = 2k2	R47 = 3k3	R47 = 5k1
73	0,56	0,47	390
60	0,82	0,56	0,47
50	0,82	0,68	0,56
40	1,00	0,82	0,68
33	1,20	1,00	0,82
28	1,50	1,20	1,00

Chaque colonne donne le relèvement voulu en dB. On remplace alors R46 par une résistance de 6,8 kΩ. La capacité lue dans le tableau est en µF et correspond chaque fois à la mise en parallèle de C27||C28 et C29||C30.

Ce couplage permet en outre de combiner des condensateurs différents pour obtenir comme somme des valeurs non couvertes par la série E12.

► Une enceinte active est nettement plus chère qu'une passive, c'est vrai, mais quelle différence de technique audio et de qualité de son !

On devra donc utiliser une feuille et un canon isolants pour la vis. On termine par la soudure des LED, des condensateurs électrolytiques, des bornes à vis et du connecteur d'entrée K1. Les composants bordés d'un astérisque sont optionnels.

Après dépiçage des soudures froides et des courts-circuits éventuels, on peut mettre sous tension. Les deux LED devraient s'allumer. Par prudence, on peut vérifier sur un support de puce le ± 12 V par rapport à la masse. On débranche avant de mettre dans les supports les amplificateurs opérationnels dans le bon sens et de rebrancher. Si le circuit consomme moins de ± 100 mA, tout devrait être en ordre, on peut le mettre dans son boîtier et le câbler. Faut-il rappeler d'installer des câbles et des fils audio aussi courts que possible ? Le circuit imprimé est attaché de l'autre côté des entretoises métalliques de l'enceinte active pour que K1 puisse en émerger par un trou approprié.

Alignements et réglages

Les composants des filtres listés dans la figure 4 sont déterminés par les deux fréquences de transition de 5 kHz et 800 Hz. Si vous en souhaitez d'autres, changez proportionnellement les valeurs des composants qui influencent la fréquence, de préférence sélectivement, les condensateurs **ou** les résistances. Pour diviser par deux les fréquences de transition, il faudrait par exemple doubler la valeur de C7 jusqu'à C16 pour la porter à 22 nF. Idem pour C17 à C26, qui passeraient alors à 100 nF. Les transitions s'opéreraient alors à 2,3 kHz et 380 Hz. Bien sûr, pour le calcul, vous pouvez faire appel au logiciel sur [2].

Un séparateur de fréquence ne doit pas forcément comporter trois voies. Avec deux voies, on supprime celle du médium et les fréquences de transition de l'aigu et du grave doivent alors coïncider. Ce qui supprime les composants C11 à C20, R24 à R31, R36, R38, P2, IC4, IC5 et K3. C'est à l'avenant pour la raideur des flancs. Si l'on se satisfait de 12 dB/octave, on supprime chaque fois les secondes parties des filtres. Disparaissent alors C14 à C16, C24 à C26, R17, R18, R30, R31, R33 et R44. En outre, on remplace C9, C10, C19, C20, R26, R27, R42 et R43 par

des ponts de câblage.

Si vous n'avez pas de préamplificateur à sortie différentielle, il est possible d'attaquer le séparateur en asymétrique. Le signal entrera alors par la broche 2 et les broches 1 et 3 seront réunies.

On voit à la **figure 6** la caractéristique de fréquence du filtre d'aiguillage, son aspect semble idéalisé, mais correspond réellement aux mesures. Les trois potentiomètres P1 à P3 ont permis d'égaliser le niveau des trois voies entre elles. Le potentiomètre qui règle le haut-parleur au rendement le plus faible est mis à

fond de course, puis on ajuste les niveaux des deux autres pour atteindre l'équilibre. On peut obtenir un réglage techniquement correct avec des signaux de test comme le bruit rose et des mesures acoustiques avec un microphone dans le champ d'écoute, mais c'est assez compliqué. Un réglage à l'oreille avec de la musique ne devrait pas être trop mauvais, puisque finalement, c'est votre oreille qui sera le seul juge de la qualité du son. On ouvre à fond tous les réglages et on corrige pas à pas jusqu'à obtenir satisfaction. Ces potentiomètres ont hélas des caractéristiques peu favorables en raison du vieillissement et du bruit. On peut les remplacer par des exemplaires de meilleure qualité, plus chers, ou mesurer leur valeur après réglage et les remplacer par des résistances fixes : il suffit d'échanger R20, R35 et R45 contre les valeurs mesurées et d'en souder une autre entre le curseur et la terminaison « chaude » de l'ancien potentiomètre. ◀

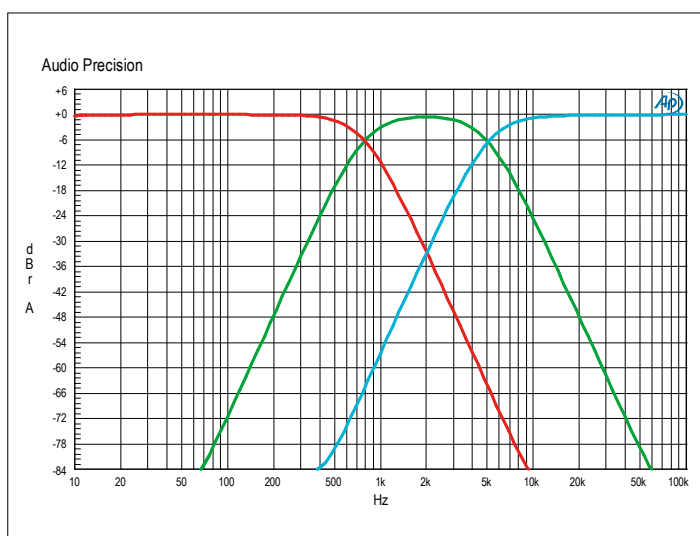


Figure 6. Caractéristique de fréquence du filtre d'aiguillage actif.

L'auteur

Alfred Rosenkränzer est ingénieur de développement depuis 31 ans, au début dans le domaine de la télévision professionnelle. Depuis la fin des années 90, il conçoit des appareils de test pour les circuits intégrés analogiques et numériques à haute vitesse. Dans le privé, son thème de prédilection est l'audio.

Liens

- [1] Ampli d'enceinte active, Elektor, 03/2014 : www.elektormagazine.de/130007
- [2] WEBBENCH Filter Designer (TI) : <http://bit.ly/1SjFWCA>
- [3] Filtre Sallen-Key : https://en.wikipedia.org/wiki/Sallen-Key_topology
- [4] Fiche technique NE5532A : www.ti.com/product/ne5532a
- [5] www.elektormagazine.fr/140571

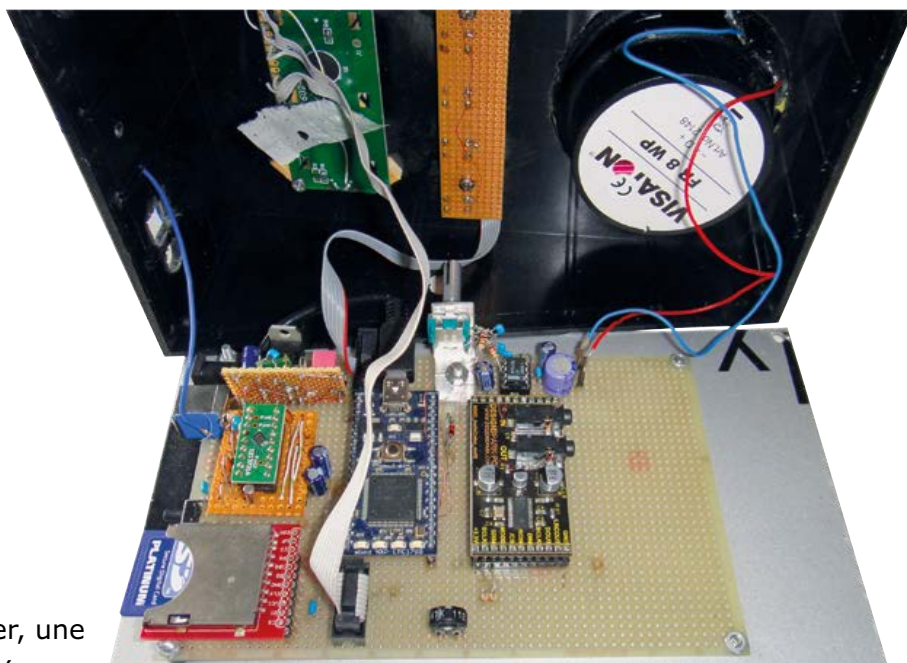
(140571 – version française :
Robert Grignard)

écouter la radio en différé

FM, j'te play plus, j'te rembobine¹

Hans Oppermann

Vous avez tous connu ça : au petit-déjeuner, une information à la radio suscite votre curiosité, mais vous n'êtes pas assez bien réveillé pour la retenir. Ah ! Si vous pouviez rembobiner... Justement, ce projet enregistre le flux radiophonique dans une mémoire circulaire de manière à pouvoir le réécouter à la demande. Il repose sur une radio, un codec audio et une petite carte à processeur ARM.



Sur la télévision, satellitaire ou câblée, vous disposez de fonctions comme pause, retour en arrière, lecture en différé, saut vers le direct, etc. Mais pour la radio, je n'ai rien trouvé de semblable. Mon principe est simple dans ce cas-là : tu n'en as pas, alors construis-le !

De l'idée...

Le module mbed [1] avec processeur ARM LPC1768 que j'avais au laboratoire ne me servait que pour des expériences. J'appréciais sa puissance de calcul et la profusion des entrées/sorties. Mais là, je lui avais enfin trouvé un projet à sa mesure, j'en ai fait un enregistreur du signal de la radio qui permet la restitution simultanée d'un passage antérieur. Je vous explique comment.

En fouinant sur la page de mbed-Cookbook [2], je suis tombé, sous la rubrique Audio, sur le parfait article intitulé *TLV320AIC23B – un codec audio à interface I2S peut jouer et enregistrer* ! [3]. « Jouer et enregistrer », les deux à la fois : quelle trouvaille ! Plus j'y pensais, plus je me demandais s'il était vraiment possible, avec ce codec, de faire les deux en même temps. Ioannis Kedros et Daniel Worral, les concepteurs de la

bibliothèque logicielle, m'ont confirmé que c'était le cas. Qu'ils en soient remerciés !

Un codec, contraction de codeur-décodeur, transforme des flux ou des signaux en vue de leur transmission ou de leur enregistrement. Je n'avais jamais entendu parler de ce codec TLV320AIC23B alors que cette puce de Texas est sur le marché depuis plus de dix ans ! La puce que j'utilise est montée sur une carte d'expérimentation, qui n'est pas l'originale de Texas Instruments, mais un petit circuit imprimé de DesignSpark. Les lecteurs d'Elektor connaissent bien le logiciel gratuit de dessin de circuits imprimés DesignSpark PCB. Ce logiciel est développé par le distributeur de composants *RS Components* qui propose la carte en question, mais malheureusement uniquement via RS [4]. Le reste des composants ne m'a pas donné de soucis particuliers.

à la construction modulaire

Mais que fait donc vraiment la pièce maîtresse du circuit, le module AudioCodec ? Il convertit les signaux audio stéréo en signaux numériques sériels et aussi l'inverse. Pour ce faire, il utilise pour le transfert des données le protocole I2S (à

ne pas confondre avec I2C) développé par Philips et que l'**encadré** vous fait découvrir. Avec lui, le module AudioCodec est capable d'enregistrer et de reproduire des contenus audio dans diverses résolutions et avec différents taux d'échantillonnage. Comme récepteur (voir **figure 1**), on retrouve une vieille connaissance, le Si4735 de Silicon Labs. Ce récepteur de radio complet empaqueté dans un boîtier SSOP n'est plus fabriqué par Silicon Labs, mais on le trouve toujours chez de nombreux distributeurs sur une carte d'adaptation DIL. Le Si4735 délivre (par les condensateurs de couplage C1 et C6) les signaux stéréo analogiques de sortie ROUT et LOUT, comme le veut le module de codec audio.

La puce de codec audio en tire le signal numérisé DOUT qui est envoyé au module fonctionnel I2S du processeur. Lequel stocke le signal sur une carte SD, qui constitue une mémoire circulaire d'un volume de 1 Go, et le renvoie par la ligne DIN au codec audio. Enfin, le signal analogique aboutit sur l'amplificateur audio formé essentiellement d'un LM386 pour la restitution du son dans le haut-parleur. On réalise la fonction de différé en enregistrant le flux en temps réel et en le

¹ d'après Philippe Léotard

lisant sélectivement. Quand on prend le direct, les données sont identiques ; en différé, elles correspondent à un autre moment du passé. Nous y reviendrons dans la description du logiciel.

Les autres composantes du circuit servent à la commande d'accord du récepteur et de l'accès aux stations, à celle du différé et à l'affichage des données utiles sur le LCD.

Une mention spéciale pour le RPG, le générateur d'impulsions rotatif, qui n'est exploité que partiellement, pour le réglage du volume et la commande par menu seulement. Pour les autres fonctions, en particulier le différé, il faut encore quelques boutons-poussoirs.

Le module de mise sous et hors tension est assez peu conventionnel, mais indispensable. Le processeur doit être prévenu quand on veut éteindre la radio avec S5. Pas question de simplement retirer la fiche de la prise, il faut au préalable enregistrer sur la carte SD des données telles que le réglage des boutons de station, la dernière fréquence et le dernier niveau de volume réglés. Le processeur est averti du débranchement par P27, il stocke alors les données et finalement coupe lui-même le courant, en configu-

rant P27 en sortie, pour ensuite le mettre à zéro. Lors de l'enclenchement par S5, l'arrivée de la tension d'alimentation fait démarrer le processeur. Il relit les données enregistrées de manière à ce que tout redevienne comme avant, station sélectionnée et volume réglé. Ce circuit, je ne l'ai pas inventé tout seul, il est basé sur [6].

Voyons maintenant comment régler le récepteur à l'aide des fonctions du menu qui s'affiche sur le LCD quand on pousse sur S4.

Select Station

Dans ce sous-menu, on sélectionne un des émetteurs affectés aux chiffres 1 à 6.

Dial Frequency

Le RPG permet de régler la fréquence de réception de 87,50 MHz jusqu'à 108 MHz, et retour.

Set Station

La fréquence actuelle d'accord se voit attribuer un numéro de station entre 1 et 6.

Exit Menu

Pour quitter le menu.

Pour activer l'option choisie dans le menu, j'avais prévu d'utiliser le RPG, en appuyant sur le bouton, mais ce n'était pas pratique. Mieux vaut attribuer cette fonction supplémentaire au bouton-poussoir S5 (*On/Off*). Quand le menu est actif, il sélectionne l'option, sinon, en service normal, il allume ou éteint l'appareil.

Pendant les opérations sur le menu, il faut interrompre la restitution de la radio pour ne pas surcharger le processeur. Le bouton-poussoir S3 (*Search*) permet, en cours d'écoute, de rechercher une autre station. On en règle le volume avec le RPG.

Et l'écoute en différé ? On la manœuvre avec les boutons S1 (*Start/Stop*) et S2 (*Live*) ainsi que le RPG. Appuyer sur S2 arrête la restitution. Les secondes enregistrées jusque-là sur la carte SD sont affichées sur le LCD. Le RPG permet de « rembobiner ». Une action sur S1 ramène la lecture à l'endroit du retour en arrière pour une nouvelle écoute. S2 met fin à l'écoute en différé et ramène au direct.

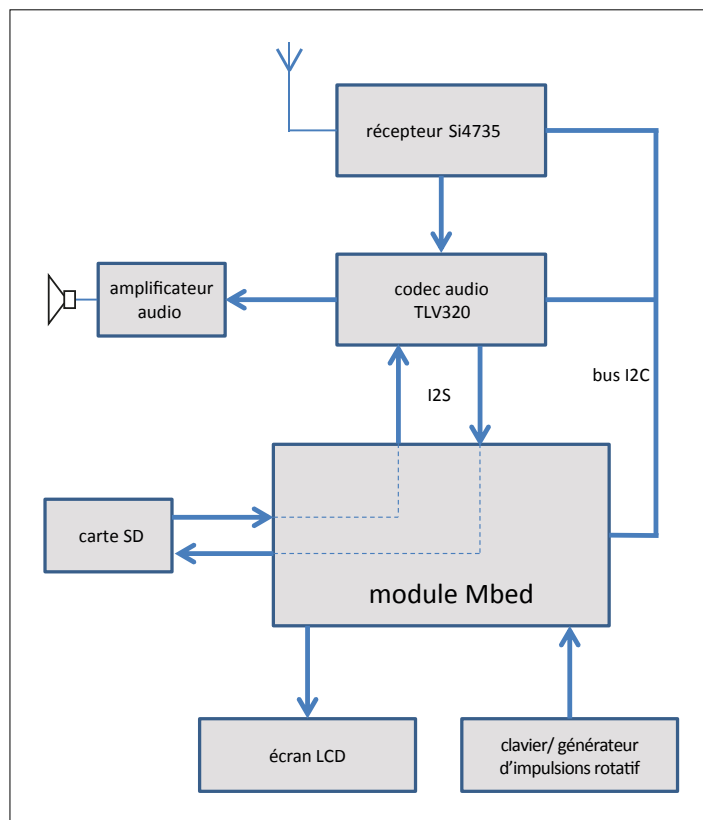


Figure 1. Diagramme fonctionnel de la radio à écoute en différé, celle qui rembobine

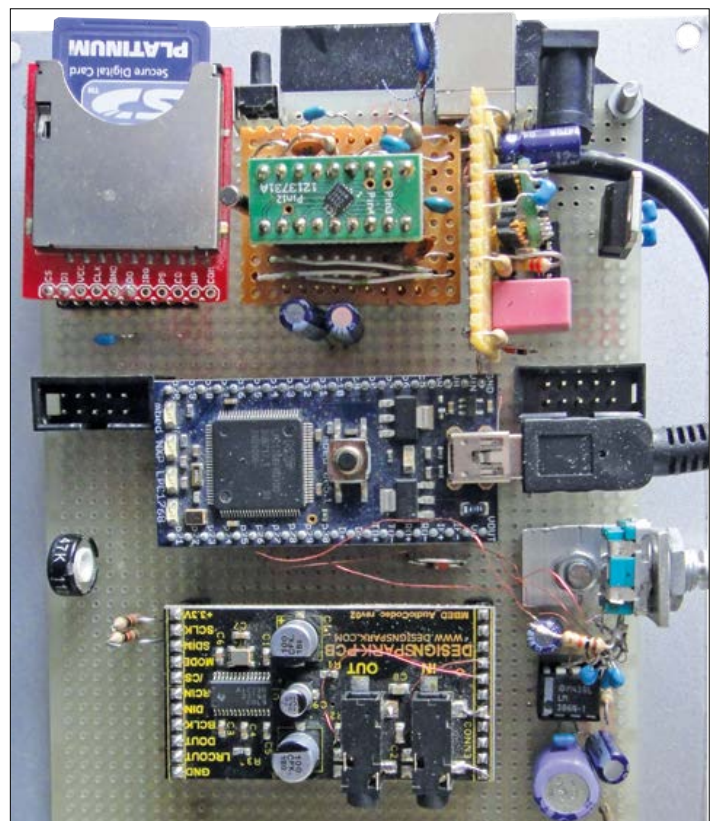
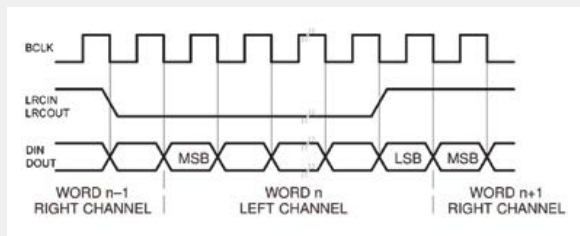


Figure 2. Platines sur platine – ici tout est modulaire !

Interface I²S

Les données audio numériques sont transmises à travers des interfaces synchrones de puce à puce (*Inter IC Sound*), le plus souvent entre convertisseurs A/N ou N/A et processeurs de signaux numériques. Ces interfaces

disposent de deux lignes de signal (DIN et DOUT), deux lignes de commande pour l'enregistrement et la restitution (LRCIN et LRCOUT) ainsi que d'une ligne d'horloge BCLK. Les lignes Word-Select LRCIN et LRCOUT déterminent la chronométrie des signaux de données et la répartition des signaux sur le canal audio. La fréquence des signaux Word-Select correspond à la vitesse d'échantillonnage des signaux. Traditionnellement, on utilise la modulation par impulsion et codage (MIC), ou PCM en anglais (*Pulse Code Modulation*), mais d'autres formes de codage existent. Le signal PCM transmet toujours deux canaux audio en alternant chaque mot de données du canal gauche et du canal droit.



source: Philips

Pousser sur le bouton *Stop* S1 met dans la fonction `pausePlaying()` la variable `playing` sur `false`. Ce qui arrête la reproduction, puisque le tampon `fillBuffer()` ne sera plus appelé. On peut alors changer dans `rewindPlaying()` et `forwardPlaying()` le `read_sector`. Si vous appuyez de nouveau sur S1, `playing=true`, la lecture peut reprendre, en différé, dans le `read_sector` modifié ou être répétée. En poussant sur le bouton *Live* (S2) on impose `read_sector=write_sector` pour retourner au direct.

Finalement, on peut aussi décrire le logiciel comme suit. Avec `record_play()`, les données audio sont enregistrées et écrites dans le `write_sector` correspondant sur la carte SD. La fonction `fillBuffer()` récupère les données audio dans le `read_sector` de la carte SD et les sort vers l'amplificateur audio. Dans l'intervalle, s'il le souhaite, l'utilisateur peut modifier le `read_sector` avec la fonction d'écoute en différé.

Le logiciel a été développé sur la page mbed, il est aussi compilé en ligne et peut être chargé par USB comme objet dans le module mbed. On peut lire sur cette page les détails sur l'ensemble du processus de développement avec un module mbed.

La construction

J'ai construit la radio à écoute en différé sur une plaque à trous qui rassemble les différents modules et leur câblage. Dessiner un circuit imprimé ne servirait à rien. La **figure 2** montre comment je les ai organisés. Au milieu, le module mbed, en dessous la communication avec le LCD, au-dessus, le connecteur pour le clavier et, à droite, le module codec audio. À gauche, en bas, le support pour la carte SD et au-dessus le récepteur Si4735 qui se trouve sur un petit circuit imprimé DIL mais a aussi besoin de quelques composants externes. Voilà donc le récepteur complet, modulaire à souhait, construit sur une plaque à trous — la section On/Off en haut, à gauche, a été montée à la verticale.

Sur le bord gauche de la plaque perforée, il y a aussi les prises pour l'alimentation, l'antenne, le bouton de mise à zéro et le port USB. Un câble USB raccourci relie cette prise au module mbed. À part quelques composants isolés, il n'y a plus que l'amplificateur audio au-dessus à gauche, formé de quelques composants

Logiciel du différé

La partie du logiciel que j'ai rédigé est incluse dans un seul module, *main.cpp*, disponible sur [7]. Toutes les autres parties sont des fonctions de bibliothèques du projet mbed. Je me limite donc ici à expliquer ce module.

En tête du module, il y a les bibliothèques pour reconnaître les composantes matérielles employées. À chaque composante, on attribue une instance d'objet. Suivent les déclarations des différentes variables et un grand nombre de fonctions d'aide, le tout bien documenté dans le code source. Dans la fonction principale *main* elle-même, on fait l'initialisation successive du LCD, du menu de fonctions, de la carte SD de 1 Go et la lecture des données de configuration décrite ci-dessus.

On affecte aux boutons avec la fonction `initButtons()` une fonction d'interruption appelée lors de chaque action sur le bouton. Vient ensuite l'initialisation du récepteur, du TLV320 et du RPG. On met ainsi le TLV320 en mode BOTH, ce qui fait qu'il peut enregistrer et lire en même temps. En outre, on ajoute une interruption audio par la fonction `record_play` qui est appelée quand le tampon audio pour les données reçues est plein.

La boucle *while* suivante (cf. **listage**) assure la fonction de différé au moyen des deux variables entières `read_sector` et `write_sector`. C'est avec `write_sector` que l'on écrit les données sur la carte SD et avec `read_sector` qu'on les lit pour les envoyer à l'amplificateur audio.

Listage : fonction d'écoute en différé

```
while(recording) {
    streamToSD();
    if ((read_sector < write_sector) && playing) fillBuffer();
                                                //continually fill circular buffer
    if (playing) {                               // no pause
        if (iValue > lastRPG) {Vol--; audio.outputVolume(&Vol);}
        if (iValue < lastRPG) {Vol++; audio.outputVolume(&Vol);}
    } else {
        if (iValue > lastRPG) rewindPlaying();
        if (iValue < lastRPG) forwardPlaying();
    }
    lastRPG = iValue;
}
```

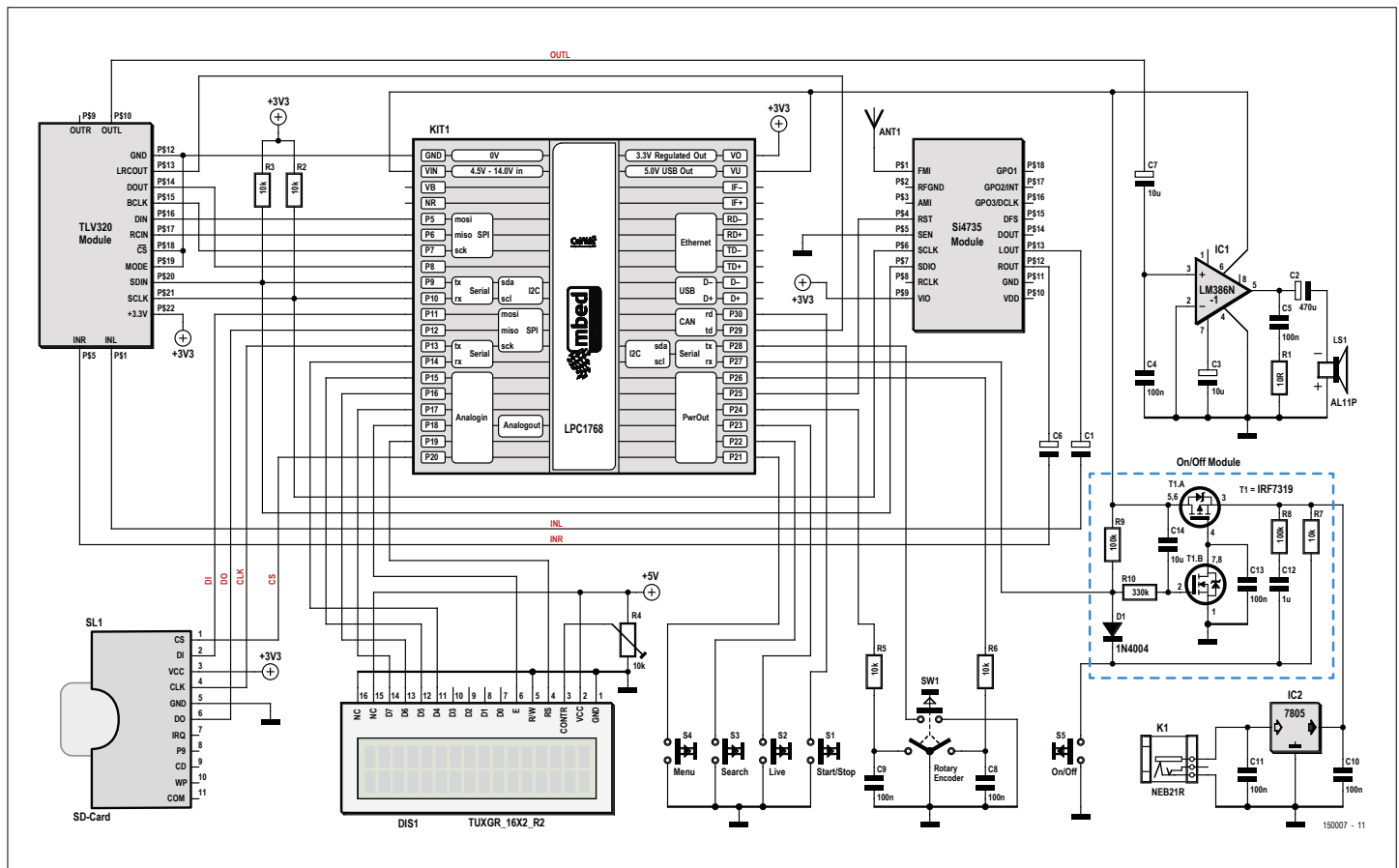


Figure 3. Comment relier tous ces modules entre eux, c'est le schéma qui vous le dira.

discrets. Oui, discret, comparé aux autres sections, on peut aussi considérer le LM386 comme tel.

Que reste-t-il à voir sur la plaque perforée ? Le codeur rotatif avec les condensateurs C8 et C9 soudés dessus, les résistances R5 et R6 à proximité de l'amply audio, un potentiomètre d'ajustage en dessous pour régler le contraste du LCD, les résistances de rappel haut pour le bus I²C en bas du module mbed, au-dessus du module On/Off, le régulateur de tension 7805 avec ses condensateurs électrolytiques de découplage et enfin, à droite près du récepteur, les condensateurs de couplage pour le module AudioCodec. Rien ne manque à l'appel ? Munissez-vous de la photo du circuit (**figure 3**) pour localiser chaque composant.

Le câblage m'a paru assez laborieux, il a consisté à bricoler les liaisons avec un outil manuel à wrapper (en câblage enroulé) et du fil de cuivre de 0,2 mm. L'embarrassante question de l'habillage, je l'ai éludée en utilisant un boîtier noir en forme de pupitre, comme on le voit sur l'illustration en début d'article. Pas par-

ticulièrement élégant, mais ça marche ! Indépendamment de l'esthétique extérieure, j'imagine une amélioration possible dans le domaine de la sensibilité du récepteur. Même si de nombreuses descriptions du module Si4735 assurent qu'il a une bonne sensibilité, je ne partage pas ce point de vue. C'est probablement dû à mon agencement ou au boîtier. Mais le circuit n'est nullement dépendant du Si4735 comme récepteur. Il est tout

à fait possible d'aménager une entrée audio pour un poste existant ou mieux, un récepteur mondial. Pour l'anti-rebond des boutons-poussoirs aussi, il y a mieux à faire. Mais en définitive, il s'agit encore ici d'une ébauche brute, libre à vous d'y apporter votre savoir-faire et même votre fantaisie. ■

(150007 - version française : Robert Grignard)

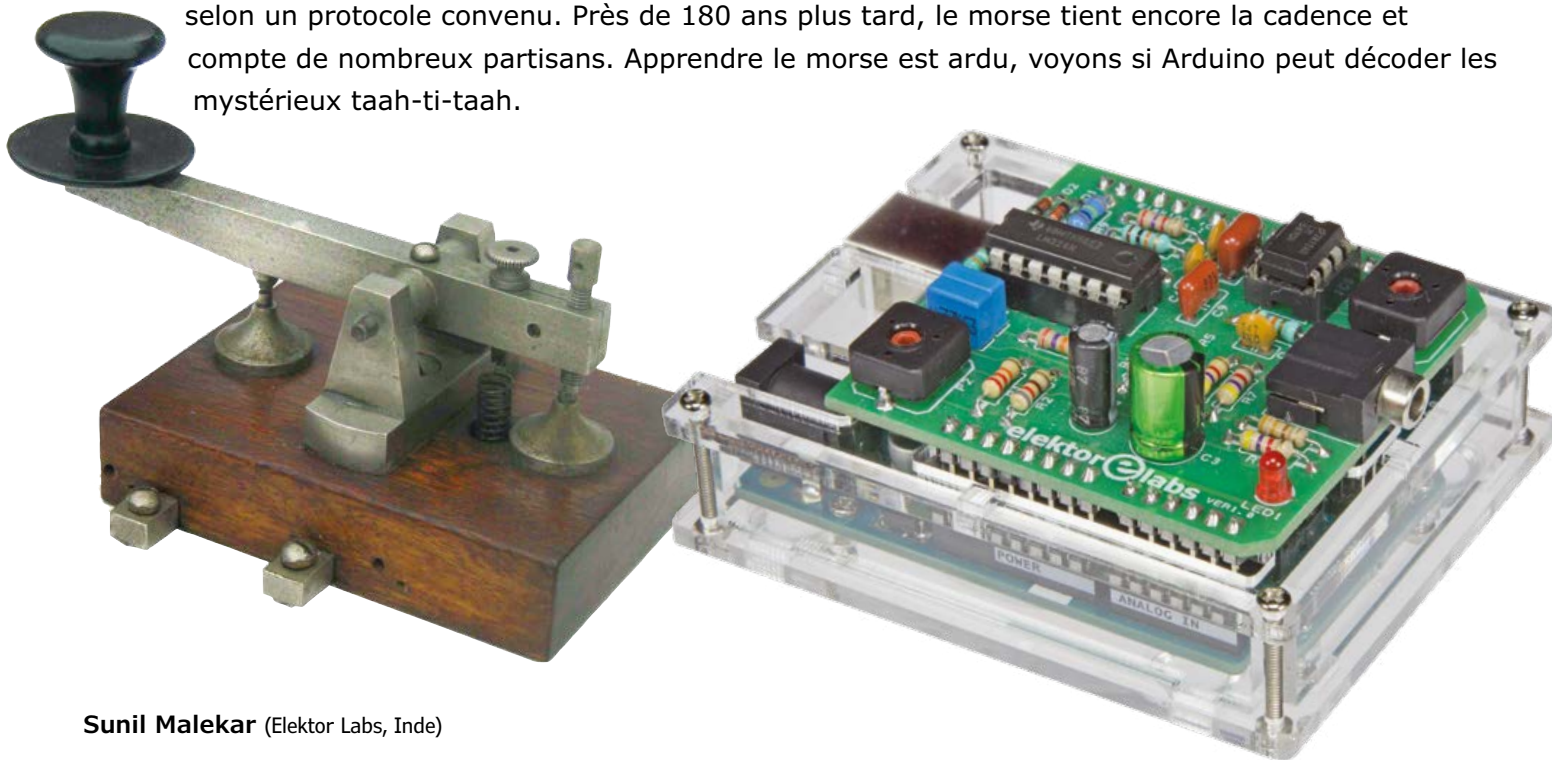
Liens

- [1] <https://developer.mbed.org/>
- [2] <https://developer.mbed.org/cookbook/Homepage>
- [3] <https://developer.mbed.org/cookbook/TLV320AIC23B>
- [4] Circuit DesignSpark, réf. RS 754-1974, disponible sur le site RS des professionnels et celui des particuliers
Fiche technique du circuit DesignSpark : <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/10fc/0900766b810fcd6.pdf>
- [5] www.ak-modul-bus.de/cat/documentation/Si4735.Documentation.zip
- [6] www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/electronic-circuits/push-button-switch-turn-on/microcontroller-latching-on-off
- [7] www.elektormagazine.fr/150007

shield décodeur de morse

Arduino Uno comprend taah-ti-taah

En 1836, il n'y avait ni l'internet ni même le téléphone, quand Samuel Morse a démontré qu'il était possible de transmettre de l'information sur des fils par télégraphie : une série de signaux électriques selon un protocole convenu. Près de 180 ans plus tard, le morse tient encore la cadence et compte de nombreux partisans. Apprendre le morse est ardu, voyons si Arduino peut décoder les mystérieux taah-ti-taah.



Sunil Malekar (Elektor Labs, Inde)

Caractéristiques techniques

- Simple extension analogique pour Arduino
- NE567 comme décodeur de tonalité
- *Sketch* de décodage du morse pour Arduino
- Logiciel tueur de parasites
- Étalonnage simple de la vitesse du morse
- Circuit imprimé simple face
- Zéro CMS

Le code dont on parle ici n'a rien à voir avec les microcontrôleurs, c'est du morse. Il est composé de signaux courts représentés par des points, ou *ti*, et de signaux longs, des traits prononcés *taah*. Court ou long, c'est le temps pendant lequel le manipulateur de morse maintient le contact. Avec l'avènement de la radio, une version internationale du code morse

a été largement utilisée.

Le signal de détresse du code morse est mondialement connu, c'est le SOS :

• • • — — — • • •
S O S

Le tableau de la **figure 1** donne les codes en morse des lettres et chiffres. Le code morse se base sur des intervalles de temps précis entre points et traits, mais aussi entre lettres et entre mots. Les télégraphistes doivent les respecter et s'entraînent longuement pour cela.

- La longueur d'un point est d'une unité.
- Celle d'un trait, de trois unités.
- L'espace entre les parties d'un même signe est d'une unité.
- Entre les lettres, trois unités.
- Entre les mots, sept unités.

Si le code n'a que peu changé depuis son invention, la vitesse de transmission

a fait d'énormes progrès, avec la technique des manipulateurs, mais surtout avec l'automatisation, puis le décodage par algorithmes. Tout radioamateur breveté devait pouvoir pratiquer le morse,

A	• • — —	U	• • — —
B	• — — —	V	• • — —
C	• — — —	W	• — — —
D	• — — —	X	• — — —
E	• — — —	Y	• — — —
F	• — — —	Z	• — — —
G	• — — —		
H	• — — —		
I	• — — —		
J	• — — —		
K	• — — —		
L	• — — —	1	• — — —
M	• — — —	2	• — — —
N	• — — —	3	• — — —
O	• — — —	4	• — — —
P	• — — —	5	• — — —
Q	• — — —	6	• — — —
R	• — — —	7	• — — —
S	• — — —	8	• — — —
T	• — — —	9	• — — —
		0	• — — —

Figure 1. L'alphabet morse ou code TSF. Sans lui, la radiotélégraphie aurait été une tour de Babel.

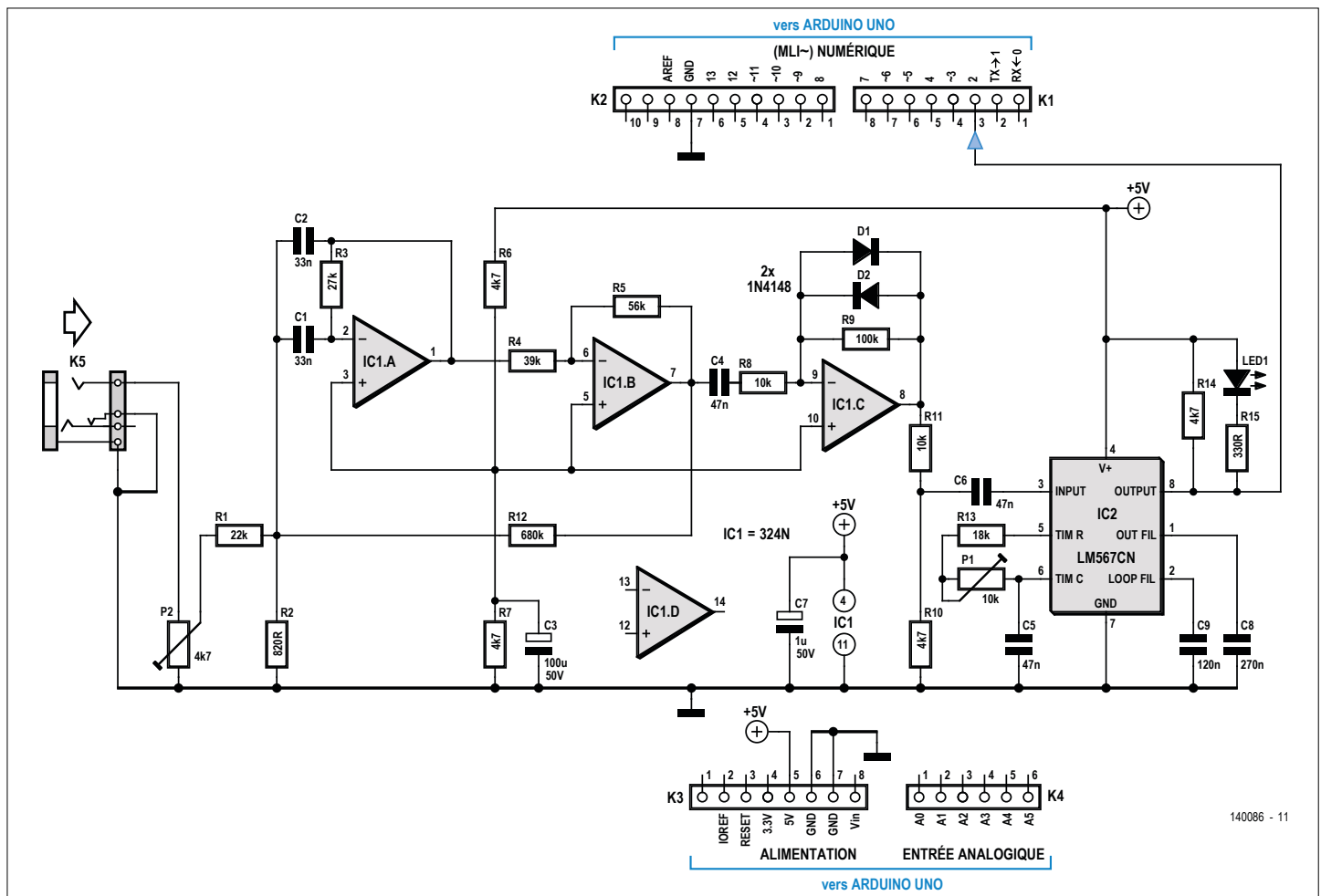


Figure 2. Le *shield* décodeur de morse est une extension analogique d'entrée pour convertir des tonalités de morse à 1 kHz en un format qu'Arduino comprend. Le composant essentiel est le décodeur de tonalité LM567 accordé sur 1 kHz.

mais ce code a connu un regain d'intérêt avec les logiciels capables de retrouver le code, noyé dans le brouhaha et le grésillement des signaux reçus, même quand les opérateurs chevronnés devaient déclarer forfait.

Comme pour le microsillon et le tube à vide, on a souvent prédit la mort du morse, mais il a survécu lui aussi, avec de nombreux enthousiastes qui profitent des avantages du trafic à bande passante très étroite sur des émetteurs de faible puissance et pourtant à longue portée. C'est un moyen de se faire des amis dans le monde entier.

Décoder le morse à l'oreille est une compétence qui s'apprend avec persévérance, certains clubs de radioamateurs donnent encore des cours de manipulation et décodage. Deux capacités que l'on peut sous-traiter à un ordinateur, voire un microcontrôleur. C'est ce que nous proposons ici avec un Arduino et une pincée

de circuits analogiques pour décoder les signaux morse captés par un récepteur à ondes courtes. Les parties du spectre réservées aux amateurs en ondes entretenues (CW) des bandes de 80 m et 20 m sont idéales pour démarrer.

Le matériel

Examinons le schéma de la **figure 2**. Si vous ne voulez voir que le chemin d'entrée et de sortie du signal, sachez que K1 à K4 sont des embases à picots pour brancher le *shield* sur Arduino Uno et que K5 est la prise stéréo où appliquer le signal audio. Bref, la magie opère entre K5 et la broche 3 de K1.

Un ordinateur n'a que faire du signal audio en morse d'un poste spécialisé, il lui faut une interface qui convertit les sons en signaux logiques qu'il comprend et évidemment qui supprime les parasites en OC, dont ceux émis par... les PC.

Le gros de ce boulot revient au décodeur de tonalité. Supposons le problème

résolu, une onde à 1 kHz à l'entrée produit un 0 logique à la sortie. Pas d'onde, alors, c'est un 1. Une onde intermittente à 1 kHz comme le signal morse donne à la sortie une tension rectangulaire dont la largeur des impulsions correspond à la durée de chaque tonalité, les points et les traits.

Un potentiomètre à l'entrée de l'interface adapte le niveau du récepteur à celui de l'entrée du décodeur. Le bon vieux LM324, IC1, forme un filtre actif à 1 kHz. Il est suivi d'un amplificateur opérationnel réglé pour un gain de 10. Les diodes D1 et D2 dans la boucle de rétroaction font que le signal de sortie se limite à quelque 600 mVcc. Après atténuation par R10/R11 à la sortie de IC1c, le signal arrive par C6 sur l'entrée de IC2, un autre vétéran, le décodeur de tonalité LM567. Sa sortie, broche 8, bascule au niveau logique 0 dès qu'il trouve du 1 kHz. LED1 s'allume alors, indiquant la réception d'un signal morse.

Le logiciel

La suite est assurée par un *sketch*, un logiciel écrit avec l'IDE d'Arduino pour décoder les signaux morse numérisés par IC2 et envoyés sur la broche 2 de la carte Arduino Uno. Ce *sketch* est disponible sur la page du projet [1] et le **listage 1** en offre un extrait.

Les intervalles évoqués entre les parties du code sont les repères essentiels pour synchroniser le décodage :

- entre points et traits, les intervalles sont plus courts que le double de l'unité, la durée d'un point ;
- entre deux lettres d'un mot, ils sont compris entre deux et quatre unités ;
- entre deux mots, ils sont plus longs que quatre unités.

Selon la vitesse de manipulation du télégraphiste, qui peut varier, l'unité de temps est différente. Il faut donc l'évaluer et la garder en EEPROM. À défaut, on prend celle qui y est déjà. Pour un étalonnage, on prend le signal correspondant à trois lettres E (le point) successives et Arduino calcule la moyenne de la durée du *ti*.

On échantillonne la tension sur la broche 2 d'Arduino toutes les 4 ms pour décoder le signal et empêcher le bruit de copier du charabia. Une interruption dite de *pin change* est aussi attachée à la broche 2 d'Arduino pour détecter les niveaux de signal.

Le décodage se base sur les définitions suivantes :

- Un trait est trois fois plus long qu'un point.
- Les espaces à l'intérieur d'un caractère ont la longueur du point.
- L'espace entre deux caractères vaut trois fois la longueur du point.
- L'espace entre deux mots vaut sept fois la longueur du point.

Le signal morse s'affiche tout en vitalité sur votre moniteur sériel au débit de 9 600 bauds. Même si le signal de sortie du décodeur n'est pas parfait ni exempt de pointes de conversion, vous pouvez compter sur le logiciel pour éradiquer adroitement les composantes indésirables avant de lancer la synchronisation et le décodage.

Liste des composants

Résistances : à film de carbone 5%, 0,25 W, 250 V

R1 = 22 kΩ
R2 = 820 Ω
R3 = 27 kΩ
R4 = 39 kΩ
R5 = 56 kΩ
R6, R7, R10, R14 = 4,7 kΩ
R8, R11 = 10 kΩ
R9 = 100 kΩ
R12 = 680 kΩ
R13 = 18 kΩ
R15 = 330 Ω
P1 = pot. d'ajust. 10 kΩ, horizontal
P2 = pot. d'ajust. 5 kΩ, horizontal

Condensateurs :

C1, C2 = 33 nF
C3 = 100 µF 50 V, au pas de 3,5 mm, 8x11 mm
C4, C5, C6 = 47 nF 50 V, X7R,

au pas de 2,54 mm
C7 = 1µF, 50 V, au pas de 2 mm, 5x11 mm
C8 = 270 nF 50 V
C9 = 120 nF 50 V

Semi-conducteurs :

IC1 = LM324, quadruple amplificateur opérationnel
IC2 = LM567CN, décodeur de tonalité
D1, D2 = 1N4148
LED1 = LED rouge 3 mm

Divers :

K1, K2, K3, K4 = morceau de barrette SIL à 40 picots
K5 = prise pour jack 3,5 mm support pour DIP-8 support pour DIP-14
Arduino UNO
circuit imprimé (140086-1)

La construction

La **figure 3** représente le tracé des pistes du circuit imprimé conçu pour ce décodeur. On y reconnaît la forme d'un *shield* pour Arduino aux quatre embases

à picots sur les bords. Tous les composants sont traversants, l'implantation est donc à la portée de quiconque possède un minimum d'expérience du soudage et le regard assez perçant pour lire la liste

Listage 1. Extrait du *sketch* du décodeur de morse

```

//*****
//loop for calibration
//receive three times 'E' audio signal
//take average of three signals and find out dot value
void calibration(void)
{
  TCNT1=64536;
  if(digitalRead(PIN) == 0)
  {
    calibration_count++;
    val=1;
  }
  else if((digitalRead(PIN) == 1) && (val == 1))
  {
    dot_count = dot_count + calibration_count;
    calibration_count=0;
    loop1++;
    val =0;

    if(loop1 == 3)
    {
      dot_count = dot_count/3;
      Serial.println("\n");
      Serial.println("Calibration...");
      Serial.println("Dot time = ");
      Serial.println(dot_count);
      EEPROM.write(eeprom_address_dot,dot_count);
      TIMSK1 &= (0 << TOIE1); // disable timer compare interrupt
      flag = 1;
    }
  }
}
//*****
//receive message as audio signal
//count no. of ones and zeros after 100usec interval
//prediction of dot or dash and respected message
void message_decoding(void)

```

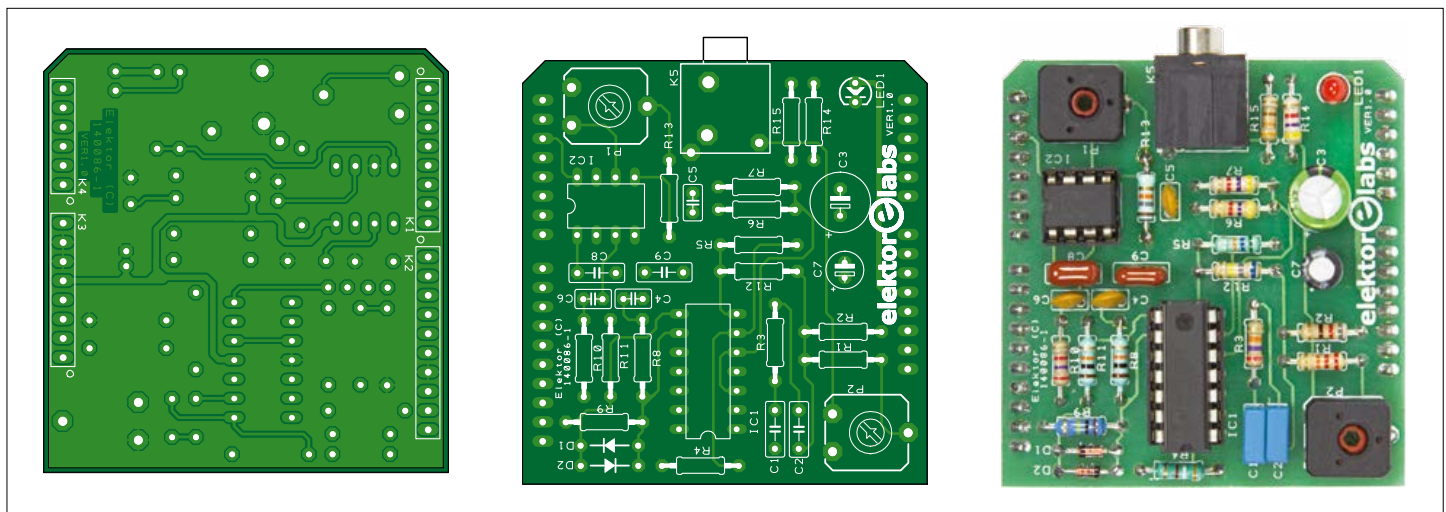


Figure 3. Le circuit imprimé du *shield* décodeur de morse ne comporte que des composants traversants.

des composants. Les connecteurs pour Arduino K1 à K4 sont sous la carte. Après l'implantation, une bonne vérification visuelle des soudures, du placement et des valeurs des composants n'est pas

un luxe avant de brancher le *shield* sur Arduino Uno par les connecteurs K1 à K4.

Le test de taah-ti-taah

Pour commencer, réglez P1 pour ajuster

la fréquence à 1 kHz sur le LM567, puis P2 pour que le volume audio soit égal à celui du signal morse issu du récepteur. Connectez un signal morse au jack stéréo K5, puis l'USB sur la carte Arduino. Programmez Arduino avec le fichier *Morse code* du dossier de micrologiciel. Ouvrez le terminal sériel à un débit de 9 600 bauds.

Comment étalonner l'appareil, si nécessaire ? Appuyez sur le C du clavier dans la trentaine de secondes après la mise sous tension, sinon l'appareil prend la valeur en EEPROM. Si vous n'en avez pas mémorisé une autre, la valeur par défaut est 36 ms.

Pour effectuer un étalonnage, il faut envoyer trois fois le signal morse de la lettre E pour que le système calcule la longueur moyenne du point.

Quand c'est fait, vous pouvez lui soumettre le message morse à décoder et espérer le lire à l'aide de votre Arduino. L'étape suivante sera d'apprendre à épeler des mots comme à l'OTAN (*Alpha, Bravo, Charlie...*), les codes Q et autres jargons des sans-filistes et télégraphistes.

Do you copy? (me recevez-vous ?)

À votre tour maintenant. Comme Elektor est un magazine d'électronique, c'est QRT (fin de transmission, en code Q) pour cet article. Le morse n'est pas SK (*Silent Key* manip. sans voix), c'est FB (*Fine Business*) ! ◀

(140086 – version française : Robert Grignard)

```
{TCNT1=64536;
  if(j == 1)
  {
    Serial.println("Decoding message...");
    j=0;
  }
  if(digitalRead(PIN) == 0)
  {
    if(count_ones > 1)
    {
      final_arr[loc] = count_ones;
      loc++;
    }
    count_zeros++;
    count_ones=0;
  }
  if(digitalRead(PIN) == 1)
  {
    if(count_zeros != 0)
    {
      final_arr[loc] = count_zeros;
      loc++;
    }
    count_ones++;
    count_zeros=0;
    if(count_ones == 300)
    {
      TIMSK1 &= (0 << TOIE1);
      j=1;
      count_ones=0;
      dot_dash_decode(dot_count);
      starch_tree();
      Serial.print('\n');
      Serial.println("Waiting for next message...");
      loc=0;
    }
  }
}
```

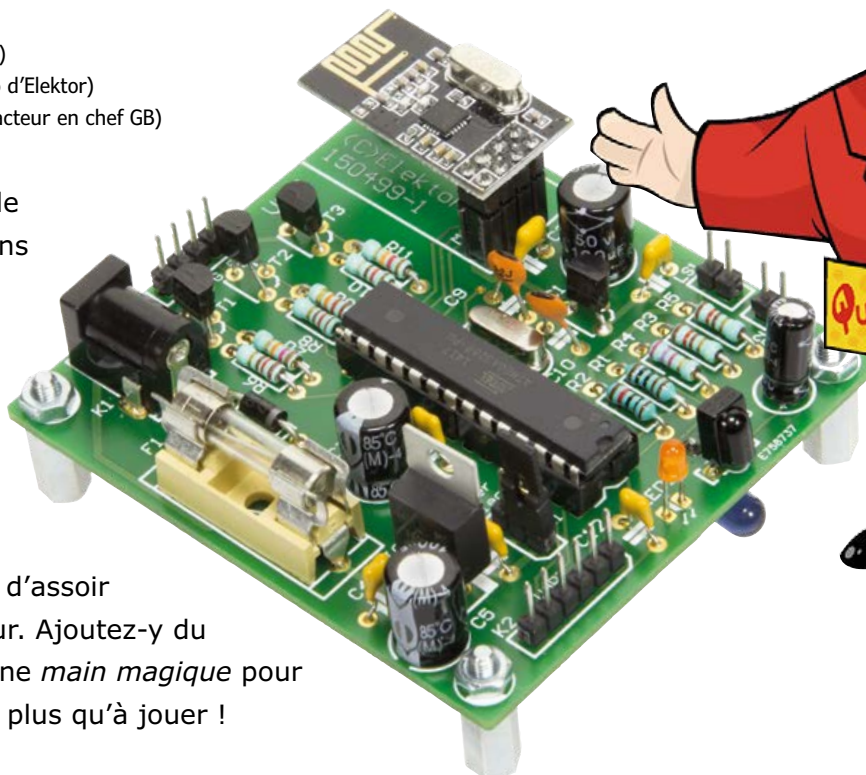

boutons radio RVB pour *quiz* sans peur des coups, ni fil

Antonello Della Pia (Italie)

Circuit : **Luc Lemmens** (labo d'Elektor)

Rédaction : **Jan Buiting** (rédacteur en chef GB)

Pour encadrer un jeu de questions-réponses dans un bistrot bruyant ou une classe de jeunes surexcités, il faut un système rapide, fiable et sans fil. C'est encore mieux si ce système permet de favoriser l'équité et d'asseoir l'autorité de l'animateur. Ajoutez-y du son, de la lumière et une *main magique* pour la remise zéro. Il n'y a plus qu'à jouer !



La femme de l'auteur est enseignante, elle voulait un système pour animer des jeux dans sa classe. Sur le modèle des émissions de *quiz*, le premier à donner la bonne réponse à la question gagne. Vu l'âge des participants, on se dit que le matériel doit être d'emploi aisé, à l'épreuve des coups, empêcher la tricherie, rester fiable et surtout, sans fil.

référence NRF24L01+ de la marque Nordic Semiconductor. On les trouve facilement et c'est un jeu d'enfant de les associer aux microcontrôleurs ATtiny d'Atmel. Ces modules de transceiver (émetteur/récepteur) de bonne composition peuvent gérer jusqu'à six canaux et offrent plusieurs modes de communi-

cation. La **figure 1** montre le synoptique du NRF24L01+ ; nous vous recommandons de consulter sa fiche technique [1] parce que ce module présente des options intéressantes et un bon potentiel pour l'incorporer à d'autres projets à μ C. Et puis chut !... ils sont très bon marché.

Les transceivers

Les modules radio du projet portent la

Caractéristiques

- Transceiver NRF24L01+ à 2,4 GHz
- Pupitres des joueurs rouge, vert et bleu
- Trois canaux avec témoin par LED R-V-B
- Le premier qui appuie évince les autres pour 2 s
- Remise à zéro avec la main magique de l'animateur
- Ruban de LED 12 V RVB bon marché et facile à trouver

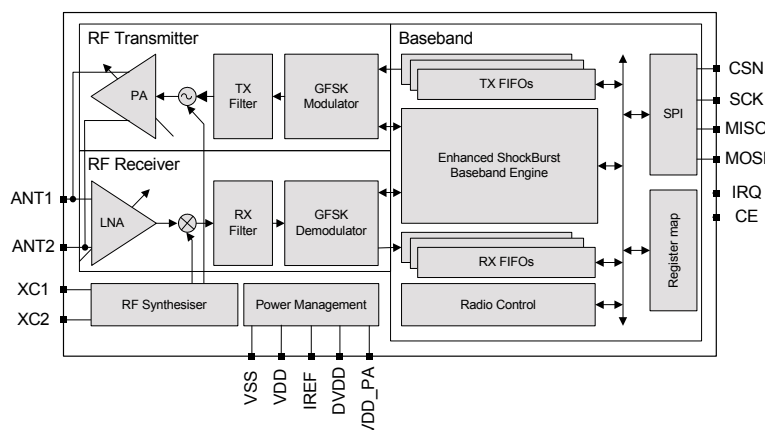


Figure 1. Le transceiver radio est un NRF24L01+ de Nordic Semiconductor. Il a six canaux à 2,4 GHz. Il est disponible entre autres auprès de Seeed Studio.

L'émetteur

Le schéma de la **figure 2** est celui de l'un des trois émetteurs à installer dans le camp des participants. Notre NRF24L01+, alias MOD1, est configuré pour fonctionner en mode de base. Quand on appuie (ou qu'on frappe) sur S1 pour donner la réponse, PB5 du microcontrôleur ATtiny est mis au niveau bas. Ce que détecte le micrologiciel qui tourne dans l'Attiny, il envoie alors une chaîne de texte, RED, GREEN ou BLUE, au récepteur à sa portée. Dès ce moment, côté récepteur, on fait la sourde oreille à tout autre message envoyé par quelque retardataire que ce soit, le temps pour le meneur de jeu d'évaluer la réponse.

Chaque émetteur est alimenté par une pile bouton de 3 V de type CR2032. Pour prolonger la vie de la pile, on maintient l'Attiny85 en mode de veille. En poussant sur le bouton S1 pour répondre, on provoque une impulsion de mise à zéro qui éveille le microcontrôleur. Il envoie alors la chaîne de texte au trançeur et se rendort.

L'auteur a trouvé des boîtiers originaux : les émetteurs sont logés dans de gros rouleaux d'adhésif de couleur et le récepteur dans une boîte à spaghetti.

Le récepteur

Le récepteur dont le schéma est à la **figure 3** est un peu plus compliqué que l'émetteur. Il utilise le même module trançeur MOD1 alimenté par un adaptateur secteur à 12 Vcc sur K1. La diode D1 protège de l'inversion de polarité le régulateur IC2 ainsi que les trois LED branchées sur K3. La tension de 5 V sert à IC3, le détecteur IR, au microcontrôleur ATmega328P et à la fonction de démarrage à distance par K2. Un autre régulateur, IC1, abaisse cette même tension de 5 V à 3,3 V pour le trançeur NRF24L01+. Le cavalier JP1 permet de choisir entre l'alimentation en 5 V à partir du récepteur (position K1) ou par le câble FTDI branché sur K2 (position K2). Les enfants en veulent toujours plus ! Du son et de la lumière ? Le µC sort un bip sur LS1 quand JP2 le permet. Il allume aussi LED2 quand on appuie sur le bouton pour répondre. La réception d'un message valide RED, GREEN ou BLUE fait s'allumer la LED correspondante. On a vu que les autres boutons sont alors inhibés jusqu'à une remise à zéro du récepteur. C'est l'animateur du quiz qui le fait en approchant sa main du détecteur de proximité IR (invisible) IC3 – c'est spectaculaire, un véritable tour

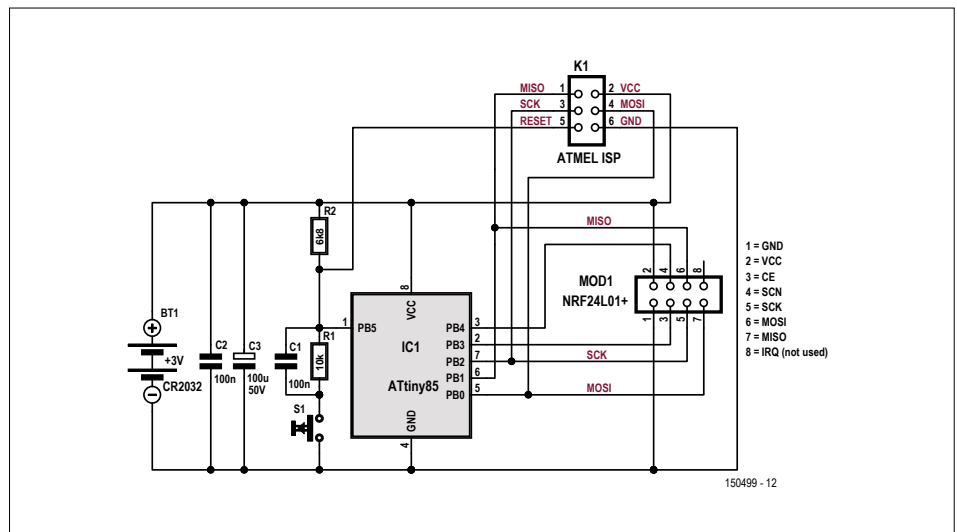


Figure 2. Schéma de l'émetteur pour quiz. Selon le micrologiciel chargé, il envoie la chaîne de texte RED, GREEN ou BLUE au récepteur sur le pupitre de l'animateur.

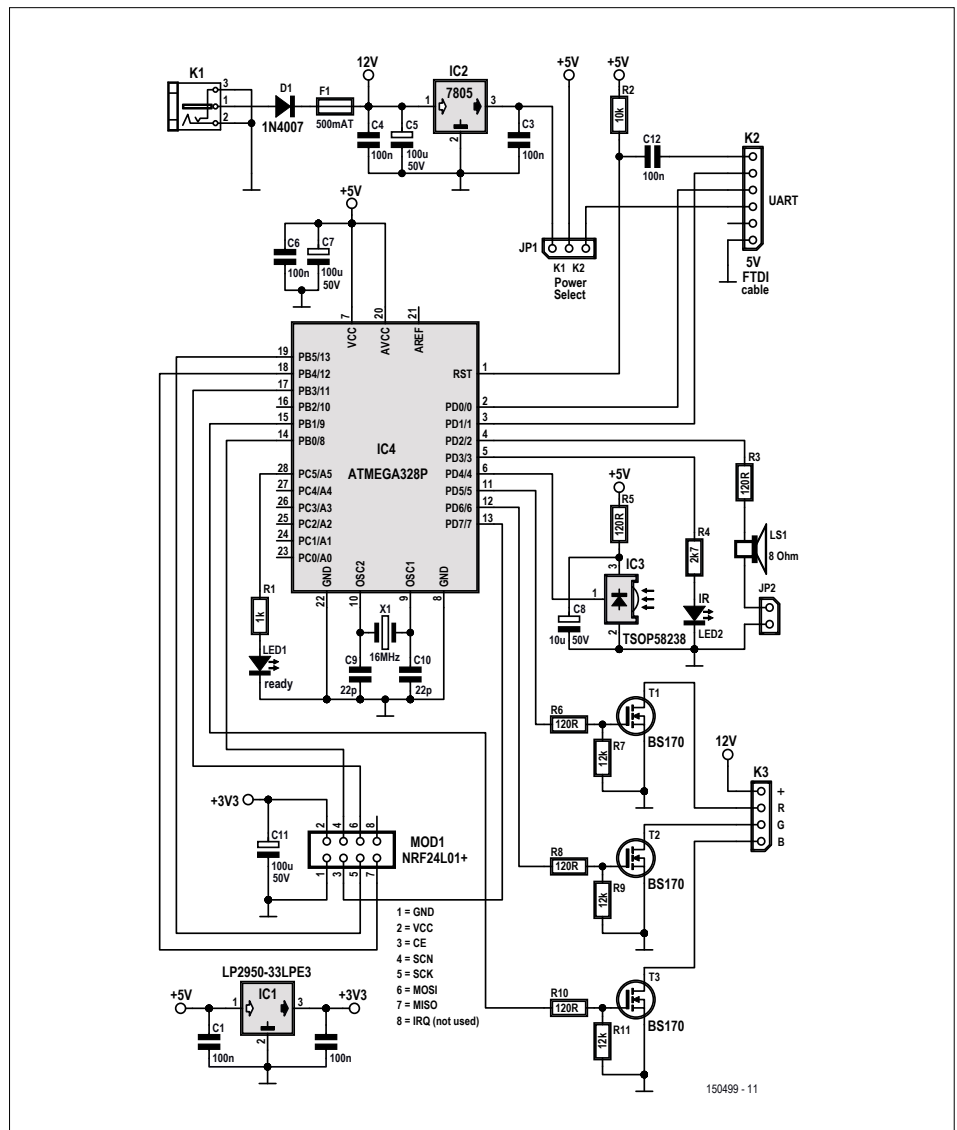


Figure 3. Schéma du récepteur. De nombreux composants servent aux alimentations et à la conversion de niveau pour le ruban de LED RVB de 12 V.

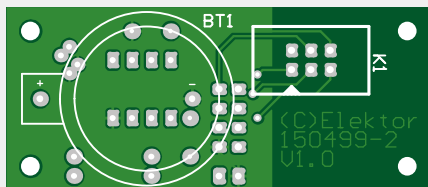
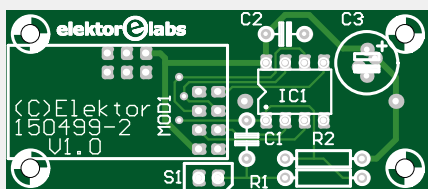
de magie. Après la remise à zéro, la LED *ready* s'allume et le système est prêt pour une nouvelle question. Les LED R, G et B fonctionnent sous 12 V ; l'ATmega328P,

avec son 5 V, ne peut pas les allumer seul, il faut donc comme intermédiaires les MOSFET T1, T2 ou T3. L'ensemble de LED RGB est connecté sur K3.

Le logiciel, l'affaire d'Arduino

Le code du projet a été écrit avec l'IDE 1.6.5 d'Arduino et des bouts de la bibliothèque RF24 de Nordic. C'est pour-

Liste des composants



Émetteur

Résistances :

à film de carbone, 5 %, 0,25 W, 250 V
R1 = 10 kΩ
R2 = 6,8 kΩ

Condensateurs :

C1, C2 = 100 nF, 50 V, X7R,
au pas de 5,08 mm
C3 = 100 μF, 50 V, au pas de 3,5 mm,
8x11 mm

Semi-conducteurs :

IC1 = ATTINY85-20PU, programmé *RED*
(150499-42)
IC1 = ATTINY85-20PU, programmé *GREEN*
(150499-43)
IC1 = ATTINY85-20PU, programmé *BLUE*
(150499-44)

Divers :

Bt1 = coupleur de pile CR2032
K1 = embase à 6 picots avec collerette (en option)
S1 = bouton-poussoir à dôme rouge, Sparkfun
réf. COM-09181 ; vert = réf. COM-11275 ;
bleu = réf. COM-11274
circuit imprimé (150499-2)
embase femelle à 2 rangées de 4 contacts, ver-
ticale, au pas de 2,54 mm (option pour MOD1)
pile au lithium CR2032
MOD1 = module transceiver NRF24L01+
à 2,4 GHz (2x4 broches), Seeed Studio
réf.113990011 (150499-91)
variante : kit de composants
(150499-71) ; contenu : cf. liste de
composants du récepteur

Récepteur

Résistances :

à film de carbone, 5 %, 0,25 W, 250 V
R1 = 1 kΩ
R2 = 10 kΩ
R3, R5, R6, R8, R10 = 120 Ω
R4 = 2,7 kΩ
R7, R9, R11 = 12 kΩ

Condensateurs :

C1, C2, C3, C4, C6, C12 = 100 nF,
50 V, X7R, au pas de 5,08 mm
C5, C7, C11 = 100 μF, 50 V,
au pas de 3,5 mm, 8x11 mm
C8 = 10 μF, 50 V, au pas de 2 mm,
5x11 mm
C9, C10 = 22 pF, 50 V, COG/NPO,
au pas de 2,5 mm

Semi-conducteurs :

D1 = 1N4007
LED1 = LED rouge 3 mm
LED2 = diode IR à 940 nm, 5 mm,
TSAL6100
T1, T2, T3 = BS170
IC1 = LP2950-33LPE3
IC2 = MC7805
IC3 = TSOP58238 (38 kHz),
Newark/Farnell réf. 2251388
IC4 = ATMEGA328P, programmé
(150499-41)

Divers :

F1 = 500mA 20x5 mm, avec
porte-fusible 20x5 mm
JP1 = embase à 3 picots
JP2 = embase à 2 picots
K1 = prise pour jack CC, broche
1,95 mm, 12 V, 3A
K2 = embase à 6 picots au pas de
2,54 mm
K3 = embase à 4 picots au pas de
2,54 mm
MOD1 = module transceiver
NRF24L01+ à 2,4 GHz
(2x4 broches), Seeed Studio
réf.113990011 (150499-91)
JP1, JP2 = cavalier à 2 contacts,
au pas de 2,54 mm
embase à collerette à 2 lignes
de 4 contacts, verticale,
au pas de 2,54 mm (en option
pour MOD1)
LS1 = haut-parleur miniature 8 Ω,
p.ex. KINGSTATE réf. KDMG20008
X1 = quartz 16 MHz, C_L = 18 pF
ruban de LED RGB 12 V
circuit imprimé réf. 150499-1 V1.1
variante : kit de composants
(150499-71). Contenu : 1 carte
de récepteur, 3 cartes d'émetteur,
4 μC programmés, 4 modules
NRF24L01+

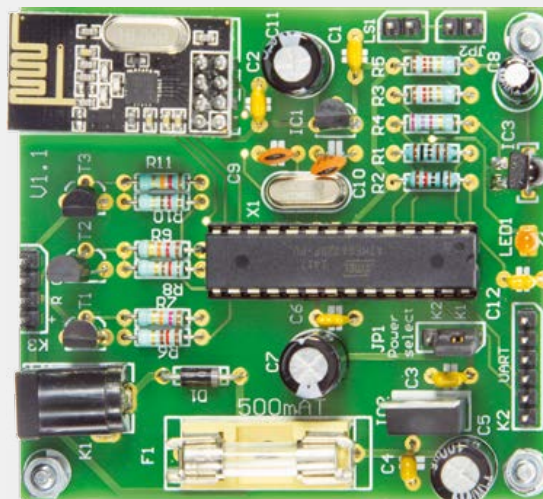
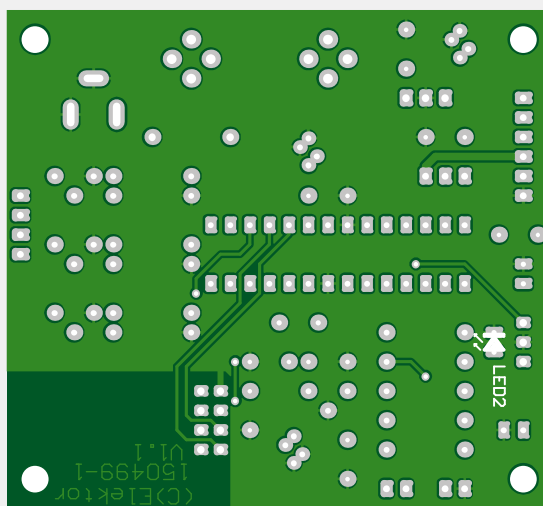
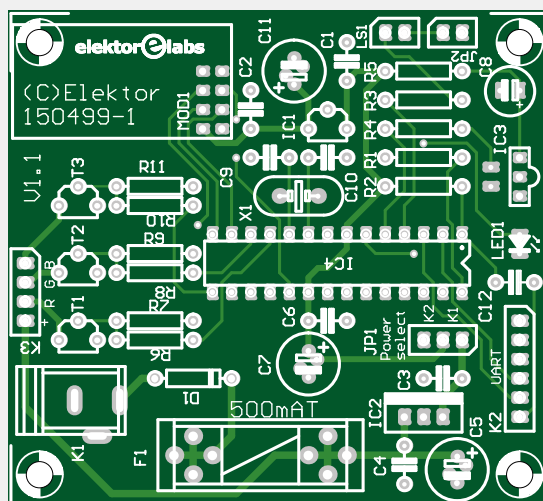


Figure 4. Circuits imprimés pour le récepteur et les émetteurs, ainsi que la liste de leurs composants. Notez qu'il faut trois cartes d'émetteur, chacune dotée d'un micrologiciel différent selon la couleur, -42 pour le rouge, -43 pour le vert et -44 pour le bleu.

quo nous avons utilisé un μC ATmega328P, le cœur de l'Arduino. Il n'est pas étonnant de le retrouver dans d'innombrables applications autonomes embarquées proposées dans le magazine Elektor.

Les codes des programmes pour le récepteur et l'émetteur sont des *sketchs* Arduino séparés, disponibles sur la page du projet [2]. Comme pour tous les logiciels que nous distribuons gratuitement, chacun est invité à y apporter ses adaptations, améliorations et extensions. Pour ceux qui ne disposent pas chez eux d'une plateforme Arduino ou qui n'ont pas vraiment d'intérêt pour les microcontrôleurs, nous les fournissons déjà programmés dans l'e-choppe, voyez la liste des composants. Pour les autres, voici les données capitales qui permettent de programmer les émetteurs à la maison :

```
150449-42 (TX rouge)
150499-43 (TX vert)
150499-44 (TX bleu)
ATTINY85-20PU
SELFPRGEN = 1 (non programmé)
RSTDIBL = 1 (non programmé)
DWEN = 1 (non programmé)
SPIEN = 0 (SPI validé)
WDTON = 1 (non programmé)
EESAVE = 1 (non programmé,
    EEPROM non préservée)
BODLEVEL = 111 (non validé)
CKDIV8 = 0 (programmé)
CKOUT = 1 (non programmé)
CKSEL = 0010, SUT = 10 (Int. RC
    osc. 8 MHz, start-up time:
    6CK/14CK + 64 ms (PWRDWN/RESET))
```

et pour le récepteur :

```
ATmega328P-PU à 16 MHz, réglage
des fusibles : L:0xFF, H:0xDA,
E:0x07, LB:0x0F, chargeur
d'amorçage : Optiboot
```

La construction

Pour ce projet, nous vous proposons un kit (réf. 150499-71) qui comprend les

quatre circuits imprimés nus, les quatre μC et les quatre modules radio pour le système à trois canaux décrit.

Les informations essentielles pour la construction sont données dans la liste des composants de la **figure 4**. Les circuits imprimés sont pourvus de combinaisons de connecteurs et de supports pour y monter les modules transceivers. Si vous êtes sûr de vous, vous pouvez aussi souder directement les huit broches des modules sur le circuit imprimé, mais ils peuvent masquer certains trous de la carte. La carte du récepteur n'a qu'un composant, la diode radiante IR, installée sur le côté inférieur. La carte de l'émetteur peut accueillir un connecteur ISP à six broches en option, il ne servirait que pour (re)programmer l'ATtiny *in situ*. Elle porte en tout cas le coupleur pour la pile CR2032 sur le côté inférieur, mais ne l'implantez qu'en dernier lieu, vous verrez vite qu'avec lui, il devient impossible d'atteindre la plupart des pastilles à souder.

Pour les rubans de LED, tout type RVB sous 12 V ira, il faut savoir qu'il en existe de deux sortes. La plupart ont trois, voire six LED RVB (les trois couleurs dans chaque LED) montées par section sur le ruban, les autres ont des LED séparées par couleur dans chaque section. On peut les utiliser indifféremment dans ce projet, le tout est de savoir ce qu'on commande. Les gros boutons de *quiz* que l'auteur a fabriqués avec des rouleaux de bande adhésive sont à la **figure 5**, ils doivent résister aux assauts des plus enthousiastes. Les microinterrupteurs eux-mêmes sont des modèles industriels qui répondent aux mêmes critères.

Jan Visser du labo d'Elektor, par ailleurs spécialiste de l'amélioration de l'habitat, a imaginé une construction différente. Les boîtiers des poussoirs sont faits de morceaux de tuyaux de descente en PVC de 55 mm de long, 110 mm de diamètre et une paroi de 3 mm, avec pour chacun deux capuchons, peints en rouge, vert et bleu. Le microinterrupteur se monte facilement sur le capuchon du haut, il suffit



Figure 5. Fabriqué avec un empilage de rouleaux de ruban adhésif et un microinterrupteur de qualité industrielle, le bouton de *quiz* de l'auteur est dans un boîtier solide décliné en trois couleurs.

d'y percer un trou de 23 mm au milieu. D'autres trous sont nécessaires dans le bouchon du fond pour évacuer l'air lorsqu'on presse le bouton. Le résultat pour le bouton rouge est visible à la **figure 6**, avec l'émetteur en sûreté dedans.

Les microinterrupteurs utilisés sont des boutons-poussoirs éléphantsques (*Big Dome pushbutton*) d'un diamètre extérieur de 100 mm que l'on trouve entre autres chez Sparkfun [3] ou RobotItaly [4].

(150499 – version française : Robert Grignard)



Figure 6. Variante élaborée, on peut construire un bouton à toute épreuve avec des morceaux en PVC et un gros bouton-poussoir de Sparkfun illustrés ici.

Liens

- [1] Fiche technique du transceiver NRF24L01P+ : www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P
- [2] Page du projet : www.elektormagazine.fr/150499
- [3] Bouton-poussoir de type Big Dome : www.sparkfun.com/products/9181
- [4] Bouton-poussoir de type Big Dome : www.robot-italy.com/en/big-dome-push-button-red-economy.html?__from_store=it

planeur piloté par GPS

vol autonome



Jens Altenburg (Allemagne)

En aéromodélisme, le vol autonome est nettement moins complexe que la conduite autonome de voitures. Un microcontrôleur de Renesas suffit pour créer son propre système de commande puisque la puissance de calcul nécessaire n'est pas colossale. En outre le système se contente de deux capteurs : GPS et capteur d'accélération/rotation/magnétique multi-axes (en option).

Figure 1. Notice de réalisation de planeur à pilote automatique intégré, croquis et descriptions y compris.

Début 2014, l'auteur remporte un prix lors d'un concours organisé par le magazine américain *Circuit Cellar* [1] en partenariat avec le fabricant de semi-conducteurs japonais Renesas. Après lecture, vous conviendrez sans doute que ce projet intéressant méritait à juste titre un article dans *Elektor*.

Canards inversés

Chez un bouquiniste, l'auteur tombe par hasard sur quelques manuels de bricolage des années 30. L'un d'entre eux l'impressionne tout particulièrement : une notice de réalisation d'une « commande par compas pour modèles réduits de planeur » de Gustav Aldinger et Heinz Emmerich (voir couverture en **figure 1**). Notez que l'éditeur, Otto Maier Verlag, est très connu aujourd'hui pour ses jeux de société et puzzles : Ravensburger AG.

Le contenu fascine l'auteur qui réalise vite le potentiel que cachent les premières expériences de vol autonome de l'époque. Le modèle réduit d'avion décrit est un *canard* : l'empennage de profondeur (la petite aile) est monté à l'avant et les surfaces portantes principales (les « vraies » ailes) à l'arrière. L'avion représenté se déplace ainsi vers le haut et vers la droite. Bien que pour le moins bizarre et rare, cette approche présente des avantages.

L'empennage de profondeur apporte aussi une certaine portance, moindre car liée à sa taille. L'intéressant ici est que le décrochage qui survient à partir d'un certain angle d'incidence de l'avion (fonction également de la vitesse) commence par se manifester sur les petites « ailes ». Le décrochage (en anglais : *stall*) est synonyme de perte de portance et n'est évidemment pas une situation enviable. Dans le cas d'un canard cependant, cela amène le nez à retomber ; l'angle d'incidence diminue

donc tout naturellement, et cela sans intervention d'un pilote ou d'une commande complexe.

Et il n'y a rien de nouveau sous le soleil ?

Ce qui est très intéressant sur ce modèle réduit d'avion c'est la réalisation d'un pilote automatique rudimentaire, une fonction qui tient presque de la science-fiction à l'époque des tubes. Il a été conçu de façon ingénieuse. La **figure 2** montre la commande électromécanique par compas magnétique, imaginée pour la correction du cap (direction suivie). Cela fonctionne ainsi : l'aiguille aimantée rouge s'oriente, comme celle d'une boussole, sur le champ magnétique terrestre. Deux contacts (en bleu) sont montés sur une plaque de base orientable. Si la route actuelle diffère de la route paramétrée, l'aiguille magné-

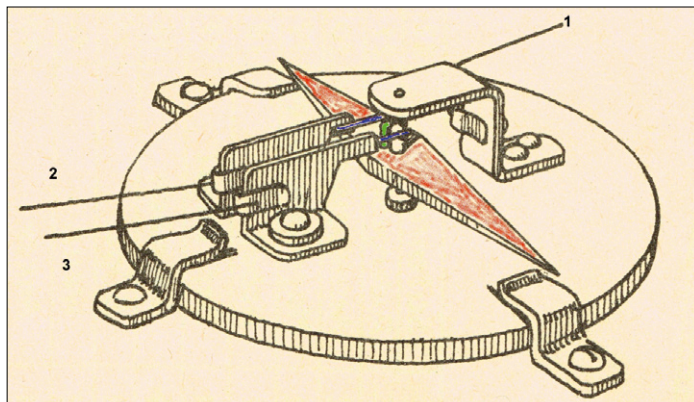


Figure 2. Compas magnétique pour la correction de cap : aiguille magnétique (rouge), contacts (bleu) et contact de commutation (vert).

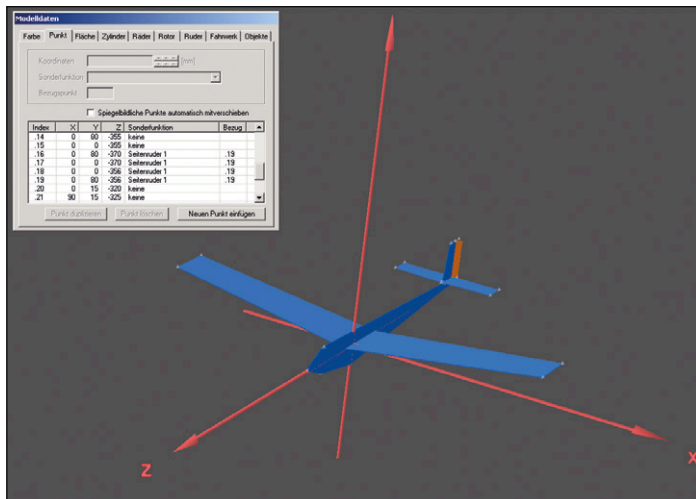


Figure 3. Avec l'outil de dessin RMK du simulateur, on commence par concevoir l'aspect général d'un aéronef. La définition de la mécanique du vol a lieu lors d'une seconde étape.

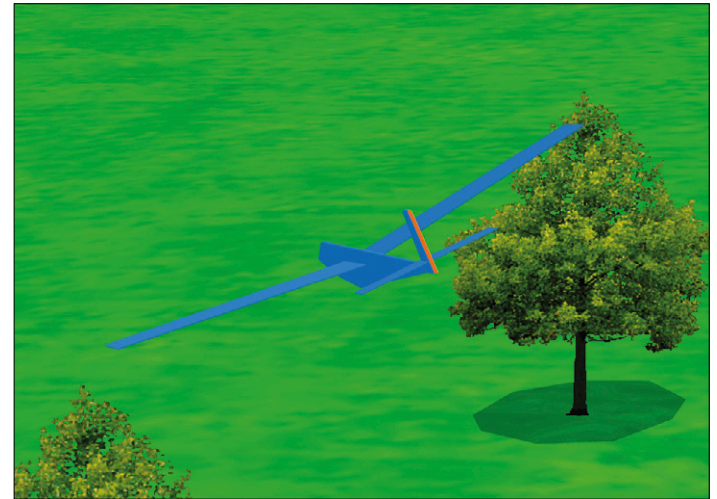


Figure 4. Simulation du vol d'un planeur piloté uniquement par la gouverne de direction.

tique bouge et l'un des deux contacts à ressort bleus touche le contact de commutation vert. Un électroaimant active alors le gouvernail de direction jusqu'à ce que la route suivie soit à nouveau la bonne.

Même si l'on peut avoir des doutes sur la mise en pratique (rafales de vent et vibrations) et que l'on ignore l'influence du courant qui circule sur l'aiguille magnétique, le concept reste simple, et son principe convaincant. La technique d'aujourd'hui permet d'appliquer ce principe et même de l'améliorer.

Version revue et corrigée

L'avion décrit a une envergure de plus de deux mètres et pèse plusieurs kilos. Notre maquette peut être plus petite. En outre l'auteur est fasciné par l'idée de suspendre la version modernisée du planeur autonome à un ballon météo et, après le lancement du ballon, de le faire manœuvrer avec précision jusqu'à un point d'atterrissage distant.

Pour un tel projet, les aspects poids, taille et coûts résultants sont importants. La toute première idée, un planeur en papier avec cellule(s) solaire(s) pour l'alimentation de l'électronique embarquée et de maintien de cap, fut mise aux oubliettes après quelques essais préliminaires décevants. La surface de cellules solaires est trop petite pour fournir l'énergie requise. L'auteur décide donc de concevoir son propre modèle de planeur *ab initio*. Aujourd'hui, un ingénieur ne taille plus son crayon, mais il démarre un simulateur (cf. **fig. 3**). Le simulateur utilisé est Reflex XTR [2] ; il permet de simuler de manière réaliste le vol d'une réalisation personnelle [3]. Avec ce logiciel, il n'est pas nécessaire de dessiner les profils exacts et de connaître les dimensions de tous les éléments pertinents pour le vol. Il suffit que le modèle soit clairement identifiable, de façon à ce que les caractéristiques de vol deviennent évidentes en cours de simulation. Après quelques essais, l'auteur constate qu'un planeur à lancer classique constitue le meilleur compromis entre stabilité, maniabilité, charge utile et coûts. Fi du principe du canard. L'utilisation d'ailes en V permet d'obtenir un comportement en vol stable. La commande proprement dite est limitée à un seul axe, ce qui réduit énormément la complexité du pilote automatique.

Électronique embarquée

Les exigences minimales pour l'électronique embarquée découlent de ce cahier des charges : coupler un capteur magnétique et un microcontrôleur. Les capteurs de champs magnétiques modernes, les MEMS (**M**icro **E**lectro **M**echanical **S**ystem), sont minuscules et peu énergivores. On trouve des combinaisons accéléromètre/gyroscope/compas, logées dans un boîtier CMS et dotées d'une interface série. Un tel « capteur à neuf axes » ne permet que de déterminer la position spatiale relative de l'aéronef. Un récepteur GPS fournit des coordonnées absolues. On ajoute une alimentation et un servo comme actionneur, et on obtient le synoptique de la **figure 5**.

Le circuit complet (**fig. 6**), copie conforme du synoptique (fig. 5), est relativement simple et économe en énergie. Pour que le fonctionnement du microcontrôleur R5F100AA (série RL78/G13, Renesas) et du module GPS UC430 (FASTRAX) soit stable, l'électronique alimentée par une pile bouton au lithium de 3 V requiert deux régulateurs de tension de 2,5 V, à faible chute de tension (U2 et U10). On a encore une LED d'état, un connecteur mâle pour la programmation (JP10), un autre pour des extensions optionnelles (JP9) [compas (LSM303), pression de l'air comme altimètre (BMP085) et télémétrie (AX5043)], ainsi qu'un dernier pour le servo (JP5). C36 tamponne le courant de démarrage du servo ; le transistor T1 le désactive lorsque la correction du cap n'est plus nécessaire. Cette procédure ainsi

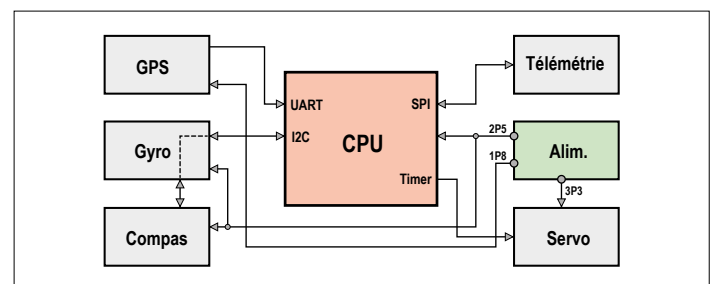


Figure 5. Synoptique de l'électronique embarquée. Sont indispensables : le GPS, la CPU, le servo et l'alimentation. Le gyroscope, le compas et la télémétrie sont en option.

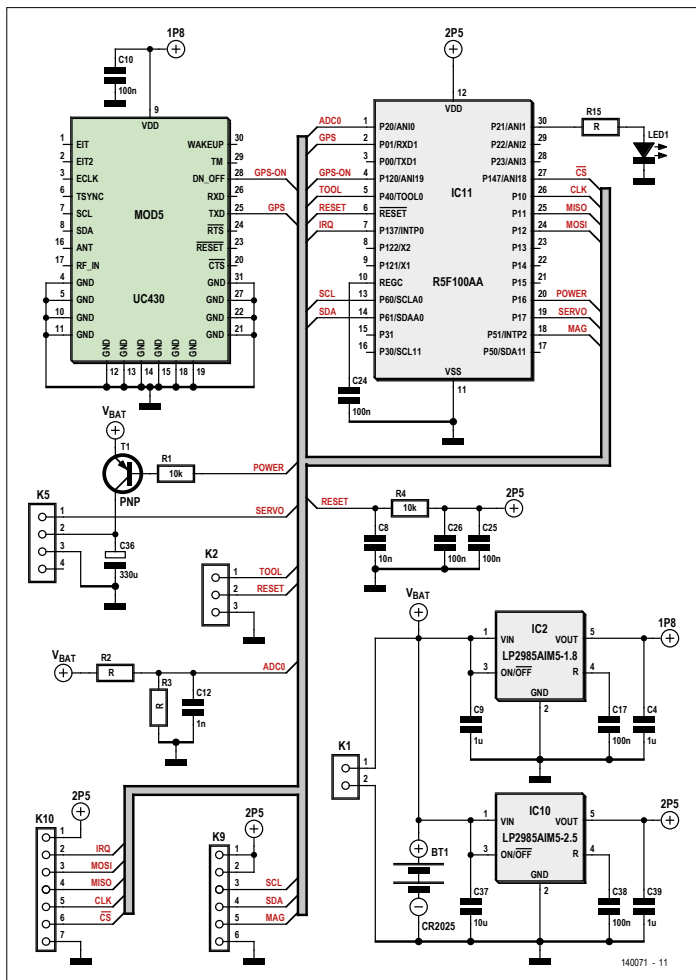


Figure 6. Le circuit de l'ordinateur de navigation. Les différentes tensions sont fournies par des régulateurs linéaires. La présence de connecteurs mâles permet en outre la connexion d'un compas et d'une télémétrie.

qu'une fonction de désactivation du module GPS avec la ligne *GPS_On* permettent d'économiser l'énergie.

Navigation par GPS

Pour le calcul de la route, le récepteur GPS est le seul capteur indispensable. Normalement, après sa mise en marche, le module GPS recherche des satellites GPS pour produire les

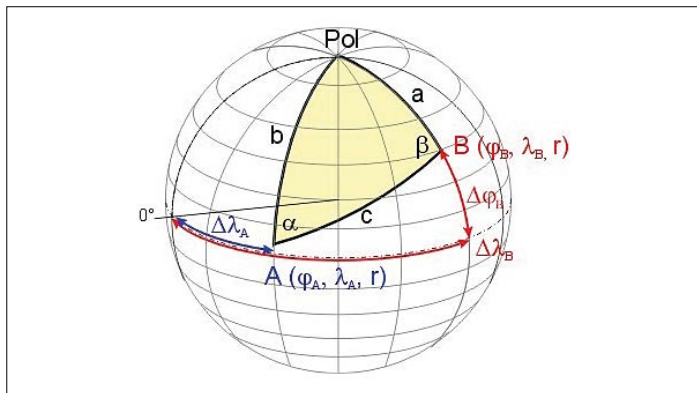


Figure 7. L'orthodromie (c) entre les points A et B constitue la liaison la plus courte entre les deux points d'une surface sphérique (illustration : Université de Kassel).

fameux messages NMEA. Toutefois il passe d'abord en « mode hibernation ». Ce n'est qu'après une séquence d'initialisation (séquence de niveaux bas-haut-bas sur *GPS_On*, broche d'entrée 28) que le module est prêt.

Il existe plusieurs messages GPS. La « séquence RMC » est parfaite pour cette application. Un message typique présente la structure suivante :

```
«$GPRMC,095634.316,V,5109.9119,N,1108.0903,E,0.19,33.26,060112,,A*»;
```

Les différents éléments :

\$GPRMC = début
V = valide
5109.9119 = latitude
N = Nord
1108.0903 = longitude
E = Est
33.26 = cap
*A** = fin de la chaîne

La navigation requiert trois valeurs : longitude et latitude (géographiques) et cap (la direction). Avec ces informations, on compare le cap actuel au cap désiré, et on calcule le cap résultant. Le calcul semble simple, mais détrompez-vous : les données GPS reposent sur le modèle géographique du calcul de cap par les « grands cercles » (orthodromies). Le point de destination est prédéfini, le GPS fournit la position actuelle. Sur la **figure 7**, le point A représente la position de l'avion, le point B sa destination. Il nous faut encore l'angle α pour régler la gouverne de direction. Les opérations arithmétiques sont données par les formules suivantes :

Formule 1 :

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\sin(\varphi_B) - \sin(\varphi_A) \cdot \cos(\zeta)}{\cos(\varphi_A) \cdot \sin(\zeta)}\right)$$

Formule 2 :

$$\zeta = \arccos(\sin(\varphi_A) \cdot \sin(\varphi_B) + \cos(\varphi_A) \cdot \cos(\varphi_B) \cdot \cos(\lambda_B - \lambda_A))$$

La formule 1 délivre le cap et la formule 2 la distance. Exemple : lancement du planeur à la main depuis une petite colline ; il

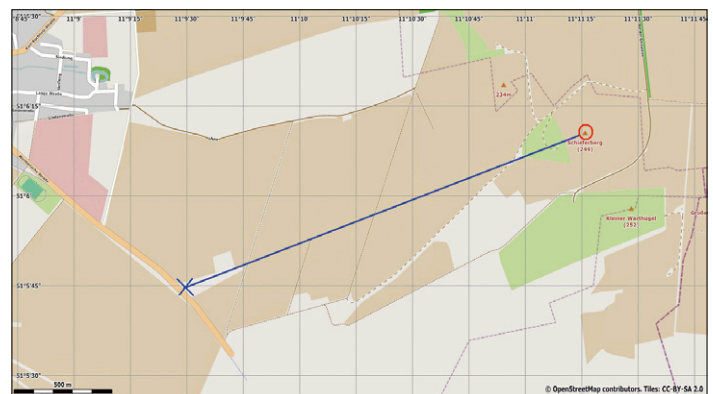


Figure 8. Calcul du cap sur la base d'orthodromies. Le point rouge est le point de départ et la croix bleue la destination.

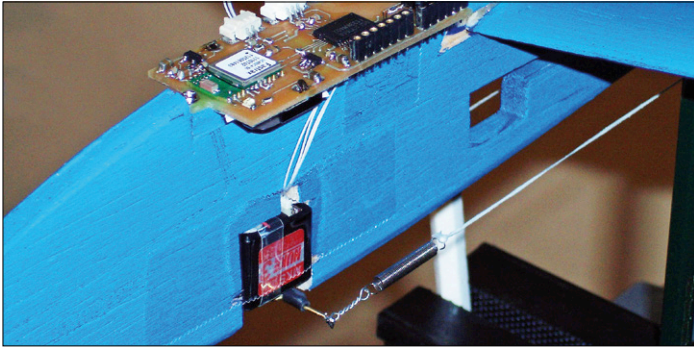


Figure 9. L'électronique et le servo dans la partie avant du planeur. Le guignol du servo est relié par de fins câbles à la gouverne de direction à l'arrière. Les ressorts compensent les tolérances mécaniques.

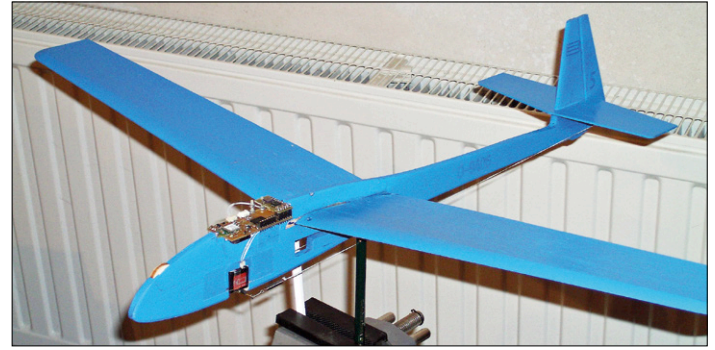


Figure 10. Modèle de planeur contrôlé par GPS prêt à décoller.

est dirigé vers un point de destination fixe. Les coordonnées de départ : 51° 6' 10'' N, 11° 11' 15'' E ; celles de la destination : 51° 5' 45'' N, 11° 9' 30'' E. La **figure 8** montre la section correspondante sur la carte. L'image a été créée à partir des données fournies par le projet *OpenStreetMap*. L'outil gratuit *Mapperitive* [4] constitue une bonne aide. Le **listage 1** montre le code C des calculs.

Prototype

Pour des raisons de place, il nous est impossible d'entrer dans tous les détails de ce planeur autonome. Si le dessin des platines et le logiciel vous intéressent, téléchargez-les gratuitement en [5]. Les **figures 9** et **10** montrent la réalisation concrète.

Calcul de cap en C

```
Position de départ : latitude 51°6'10" = 0.89199 rad -
latitude A
longitude 11°11'15" = 0.19525 rad - longitude A
Position d'arrivée : latitude 51°5'45" = 0.89176 rad -
latitude B
longitude 11°9'30" = 0.19466 rad - longitude B

/* code snippet */
typedef struct stPos{
    float Lat; /* latitude */
    float Lon; /* longitude */
}stPos;

stPos stKoordA = {0.89199, 0.19525}; /* coordonnées de */
stPos stKoordB = {0.89176, 0.19466}; /* figure 8 (rad) */
```

```
fDist = acos( /* distance entre */
    (sin(A.Lat)*sin(B.Lat)) /* A et B */
    +(cos(A.Lat)*cos(B.Lat)*cos(B.Lon-A.Lon))
);
= 0.00038851 /* radian */
-> 2.474 km (0.00038851 * 6370 km)
/* conversion en km */
-----

fAlpha = acos(/* course angulaire */
    (sin(B.Lat) - (sin(A.Lat)*cos(L)))
    /(cos(A.Lat) * sin(L))
);
= 1.88856 /* radian */
= 251.79° (360 -(1.88856 * 360 / 2 / 3.1415))
/* conversion en degrés */
```

À propos de l'auteur

Jens Altenburg enseigne au département Technique/Ingénierie/Informatique et Industrie de l'Université des Sciences Appliquées de Bingen. Ses spécialités : microprocesseurs et systèmes enfouis. Il a étudié les Technologies de l'Information à l'UT d'Ilmenau et obtenu son doctorat en 2004 dans le domaine « Technologie d'Automatisation ». Il cumule plus de vingt années d'expérience pratique dans les microprocesseurs et l'automatisation. Tout récemment, il a « officié » en tant qu'ingénieur de développement au CT-Video à Eisleben, il était chargé des systèmes de contrôle de sécurité.

Liens

- [1] Magazine Circuit Cellar : www.circuitcellar.com
- [2] Simulateur de vol Reflex-XTR : www.simwerk.de/reflex-xtr-flugsimulator/en/index
- [3] Altenburg, Jens : *AONE - A highly sophisticated test bench for Flight Control Systems*, 21st International Scientific Conference Mittweida 2011, ISSN 1437-7624
- [4] Programme Mapperitive : www.mapperitive.net
- [5] Page de cet article : www.elektormagazine.fr/140071

RV-3029-C2, un vrai coucou

horloge en temps réel avec calendrier, enfichable, ultra-précise, sur bus I²C et sans radio !

Danny Winkler (conception), Elektor Labs Inde (logiciel et circuit imprimé), Jan Buiting (rédaction GB)

Cette carte est construite autour de la puce RV-3029-C2 de Micro Crystal. Il s'agit d'une horloge en temps réel avec calendrier qui communique par le protocole I²C. Sa précision par défaut est bonne, elle est encore meilleure après quelques modifications.

La Suisse se distingue dans plusieurs domaines : fromages, neige, moniteurs de ski, coffres forts, tunnels et horloges à coucou. Nous utilisons ici un produit de l'entreprise suisse Micro Crystal : une horloge électronique, très probablement issue de l'industrie mondialement connue des horloges suisses (mécaniques et à quartz).

Mettons de côté *Astérix chez les Helvètes*, pour lire la feuille de caractéristiques du RV-3029-C2 [1] : « Le RV-3029-C2 est un module d'horloge en temps réel avec résonateur à quartz intégré. Cette RTC (*real-time clock*) avec compensation en température possède une interface I²C (interface série à deux fils). La STC (*Smart Temperature Compensation*) est calibrée en usine et garantit une bonne

précision de ± 6 ppm de -40 °C à $+85$ °C et ± 8 ppm de -40 °C à $+125$ °C. En plus des fonctions habituelles d'une RTC, elle comprend une entrée pour batterie de secours ainsi qu'une fonction de basculement interne, un circuit de charge lente (*trickle charge*) programmable, un capteur de température intégré avec sortie numérique ainsi que huit octets de RAM et deux octets d'EEPROM pour l'application client. La fonction calendrier tient compte des années bissextiles. L'horloge compte secondes, minutes et heures au format 24 h. L'alarme programmable et le temporisateur universel augmen-

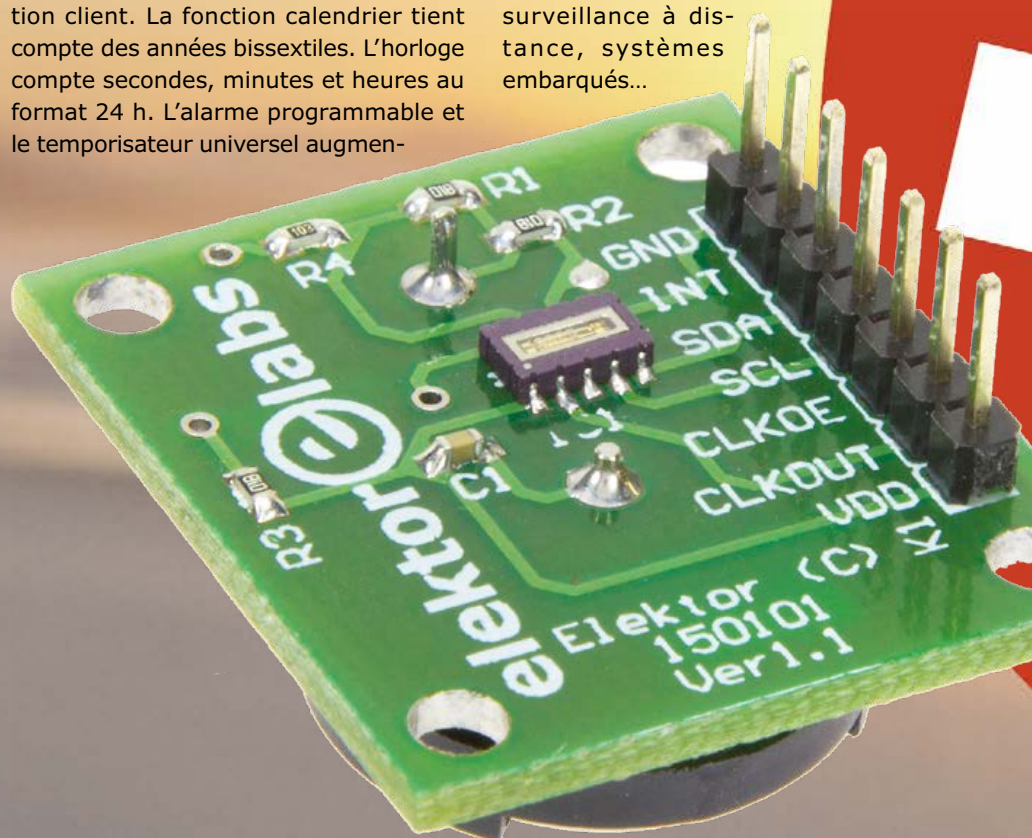
tent encore sa flexibilité ».

Les principaux avantages de la carte décrite ici sont : conception simple, faible consommation d'énergie, coût réduit et petite taille.

Elle trouvera sa place dans nombre d'applications : gestion intelligente de l'énergie, compteurs intelligents, surveillance à distance, systèmes embarqués...

Caractéristiques

- Puce horloge en temps réel/ calendrier RV-3029-C2 de Micro Crystal
- Batterie de secours
- Sortie d'horloge configurable
- Erreur par défaut de 6 ppm max.
- Erreur de 3 ppm après réglage du DTCXO
- Bus I²C
- Utilitaire de test et configuration Arduino gratuit
- Module à enficher



suisse



À l'intérieur

Le schéma fonctionnel (**fig. 1**) confirme que le RV-3029-C2 ne contient rien de plus que les RTC similaires. En revanche, la précision par défaut de 6 ppm de son horloge à DTCXO et son interface I²C l'ont fait apparaître sur le radar du labo d'Elektor ; nous avons mis à profit la contribution initiale de l'auteur postée sur www.elektor-labs.com et passée au stade *In Progress*, et nous avons fait réaliser un circuit imprimé et le logiciel de démo par nos collègues indiens.

Description du circuit et options

La carte permet de relier la puce à des broches, à souder ou enficher dans une plaque d'essais. Côté matériel, il n'y a pas grand-chose à voir ; c'est avec le logiciel que vous vous amuserez.

Le schéma (**fig. 2**) de la carte à RV-3029-C2 est petit et simple. C'est peut-être même la plus petite liste des composants jamais vue : même pas un quartz ! Comme il est intégré à la puce, le résonateur à quartz peut être réglé pour compenser les dérives dues à la température, aux chocs et au vieillissement. La version 1.1 de ce projet est conçue pour exploiter toutes les fonctions de l'RV-3029-C2 décrites dans son manuel d'application. Le module peut être utilisé dans deux configurations :

1. Sans alimentation de secours

Dans ce cas, il est recommandé de maintenir la broche 8 (VBK) du RV-3029-C2 à la masse avec une résistance de 10 kΩ. La résistance de rappel sur la broche du signal INT (n°7) sera reliée directement

à la tension d'alimentation. Dans cette configuration, **implantez les résistances R4 et R3, omettez R1 et R2.**

2. Avec alimentation de secours

Si vous utilisez une batterie au lithium ou un supercondensateur comme alimentation de secours, le signal INT (n°7) fonctionne aussi lorsque la puce opère depuis l'alimentation VBK ; il est donc recommandé de relier la résistance de rappel de INT à VBK. Avec une batterie au lithium, il est recommandé d'ajouter une résistance de protection de 100 à 1000 Ω pour limiter le courant de batterie et empêcher les courts-circuits créés par des problèmes de soudure d'endommager la puce. Dans cette configuration, **implantez les résistances R1 et R2, omettez R3 et R4.**



Comme un coucou suisse...

L'heure et la date sont cruciales pour bien des projets : horloge, enregistreur de données, agenda... Deux solutions pour rester à l'heure : une horloge contrôlée par radio, une horloge pilotée par un quartz. La première a besoin d'un signal radio ; comment faire dans un sous-sol, derrière des tonnes de béton, sous un blindage ou encore

sans antenne grandes ondes ? Utiliser

une horloge à quartz. Cependant, les quartz ne sont pas très stables en température. Les modèles courants sont spécifiés pour une déviation de ± 20 ppm et conviennent avec une puce RTC comme la DS1307. En pratique, c'est quoi ± 20 ppm ? C'est la précision du quartz mesurée en oscillations par million de cycles. Mathématiquement, si le quartz d'une horloge à 20 ppm oscille à 32 768 Hz à 25 °C, sa précision en secondes par an est égale à :

$$\text{dévi} \frac{s}{a} = \frac{32678 \times \text{secondes} \times \text{minutes} \times \text{heures} \times \text{jours} \times \text{ppm}}{10^6 \times 32678}$$

$$\text{dévi} \frac{s}{a} = \frac{60 \times 60 \times 24 \times 365 \times \text{ppm}}{10^6}$$

où

s/a = secondes par an

secondes, minutes, heures, jours = nombre par an

Cela donne la formule simplifiée : $s/a = 31536 \times \text{ppm}$

dans notre cas, une déviation de $\pm 10,5$ min par an –

inacceptable et pas seulement en Suisse !). Comme si cela ne suffisait pas, il faut également prendre en compte l'erreur due aux variations de température.

Le module RV-3029 RTC possède un capteur de température intégré qui lui permet de réduire l'erreur à ± 3 ppm (avec un coup de pouce du logiciel), soit 1,5 min d'avance ou de retard par an. Pour réaliser une horloge précise, il faut accepter un léger surcoût et utiliser un RV-3029 (I²C) ou un RV-3049 (SPI). J'ai choisi un RV-3029 parce que le bus I²C est plus répandu. Il est possible d'interagir sur le bus avec un RV-3029 comme s'il s'agissait d'une EEPROM ordinaire. Il possède en plus une sortie d'interruption qui peut être activée à intervalle régulier par exemple. De plus, il a une broche CLKOUT qui fournit un signal d'horloge à 32 768 Hz, 1024 Hz, 32 Hz ou 1 Hz. Ici, l'intervalle est de 1 s, sinon l'interface I²C du RV-3029 se bloque si on l'interroge trop rapidement (millisecondes). De cette façon le signal d'interruption produit chaque seconde indique au micro qu'il est temps de lire l'heure.

Il faut régler le bit 5 du registre 03h à 0, et le bit 0 du registre 00h à 1, dès l'apparition de la tension d'alimentation, faute de quoi l'horloge ne fonctionnera pas. Les données pour les heures, minutes, etc. sont stockées au format BCD pour faciliter l'utilisation d'afficheurs à sept segments. Utilisez les formules suivantes pour la conversion :

IntToBCD	$x = \text{INT} / 16 \times 10$
	$y = \text{INT} / 16 \times 16$
	$y = \text{INT} - y$
	$x = x + y$

BCDToInt	$x = \text{BCD} / 10 \times 16$
	$y = \text{BCD} / 10 \times 10$
	$y = \text{BCD} - y$
	$x = x + y$

Exemple : avec *BCDToInt*, 27 (BCD) → 10|0111 devient 39 (entier) → 100111. Pour régler les minutes à 27, il faut écrire dans le registre à l'adresse 09h la valeur 39. La séquence complète est : ACh 09h 27h.

Même avec ces options, le nombre de composants externes ne dépasse pas sept : une pile bouton 3 V / 16 mm pour fournir une alimentation de secours, les quatre résistances de configuration de l'alimentation, un condensateur de découplage 10 nF et enfin un connecteur, K1, qui met à disposition de votre micro (un Arduino p. ex.) les signaux I²C SCL et SDA. Les signaux CLKOUT (sortie d'horloge) et CLKOE (activation de la sortie d'horloge) sont aussi disponibles sur le connecteur.

Petit rappel sur RTC et I²C

Le module RV-3029-C2 est une horloge en temps réel avec calendrier, à faible consommation d'énergie. Il possède une sortie d'horloge programmable, une sortie d'interruption et un détecteur de faible tension. Toutes les adresses et données sont transférées en série via un bus à deux lignes I²C bidirectionnel à la vitesse maximale de 400 Kbit/s. Le registre d'adresse interne est incrémenté automatiquement après chaque octet écrit ou lu.

Le composant qui envoie les données sur le bus est appelé l'émetteur ; celui qui reçoit, le récepteur. Celui qui pilote le message est appelé le maître ; les composants pilotés par le maître sont appelés esclaves. Le maître produit le signal sériel d'horloge (SCL), commande l'accès au bus et produit les conditions de START et STOP. Le RV-3029-C2 se comporte en esclave sur le bus I²C et peut fonctionner en mode standard (horloge à 100 kHz max.) ou en mode rapide (400 kHz). Les broches SCL et SDA sont des lignes d'E/S à collecteur ouvert afin de permettre à plusieurs composants d'être présents sur le bus. Ces deux lignes devront être dotées de résistances de rappel à la tension d'alimentation. Un transfert ne peut être initié que lorsque le bus est au repos.

Dans le cas improbable où l'I²C serait une nouveauté pour vous, lisez le livre de Vincent Himpe (alias Free Electron), publié par Elektor : *LabWorX 1, Mastering the I²C Bus*.

Construction

Malheureusement nous n'avons pas pu négocier un prix acceptable pour une fabrication en grande quantité d'un module préassemblé. Vous devrez donc monter les composants sur le circuit imprimé (implantation et liste des compo-

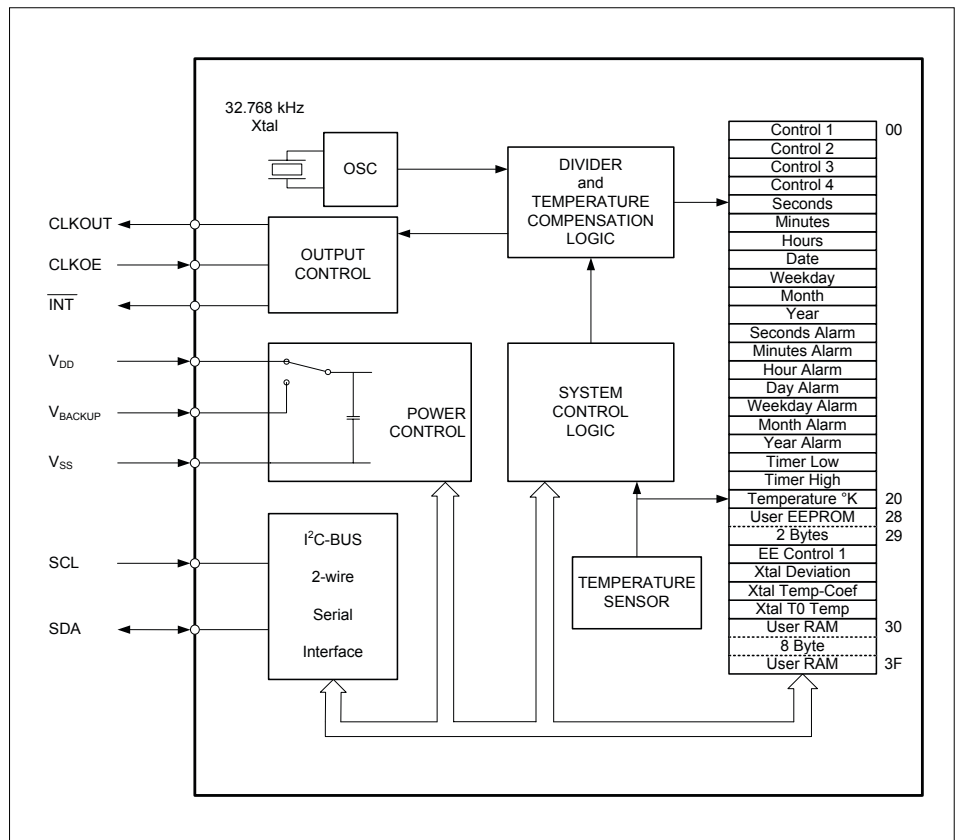


Figure 1. Schéma fonctionnel de la puce RTC RV-3029-C2.

Source : feuille de caractéristiques de Micro Crystal

sants : **figure 3**). Par chance, seule la puce RTC mettra au défi vos talents de soudeur ; les autres composants ne poseront aucun problème aux rois du CMS. La pile bouton CR1620 et son support sont installés au dos de la carte.

Procédure de test avec Arduino

Il est facile de tester la carte RV-3029-C2 avec Arduino et notre *sketch* [2] : `_150101_i2c_rtc_test.ino`. Ce *sketch* une fois compilé (il utilise Wire.h et rv3029.h) envoie hh:mm:ss à la carte puis lit l'heure chaque seconde. Pour l'utiliser :

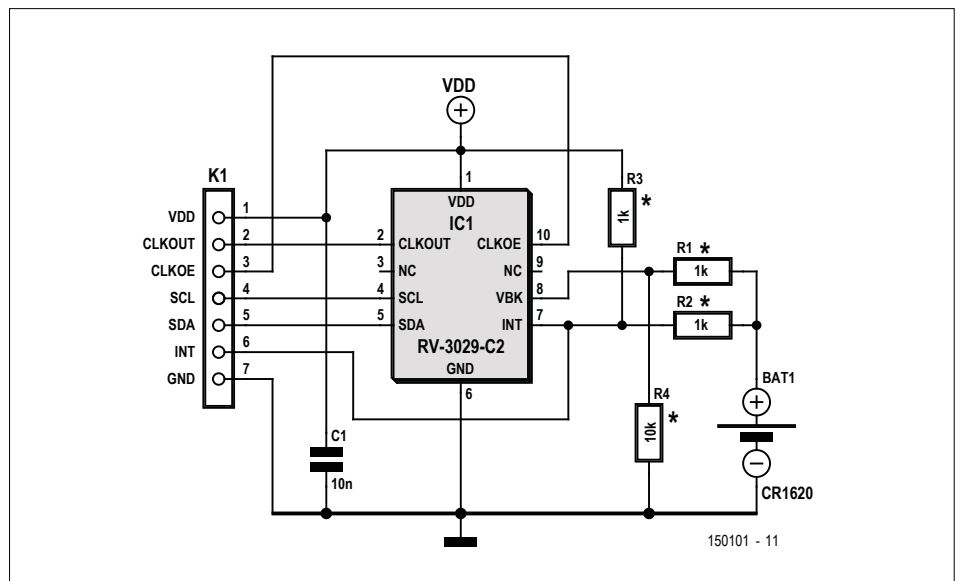


Figure 2. Schéma du module à horloge en temps réel RV-3029-C2 de Micro Crystal.

Liste des composants

Résistances

0,1 W, 1%, 75 V
 R1, R2, R3 = 1 kΩ*
 R4 = 10 kΩ*

Condensateurs

C1 = 10 nF, ±10%, X7R, 50 V, 0603

Semiconducteurs

IC1 = RTC RV-3029-C2 option B, CMS,
 I2C, 32,768 kHz (Micro Crystal),
 Farnell réf. 1641059

Divers

BAT1 = pile bouton CR1620, 3 V,

diam. de 16 mm
 Support pour BAT1, simple cellule, 16 mm
 K1 = barrette sécable à sept voies,
 au pas de 2,54 mm
 circuit imprimé (150101)

* à monter ou pas suivant l'application,
 voir texte

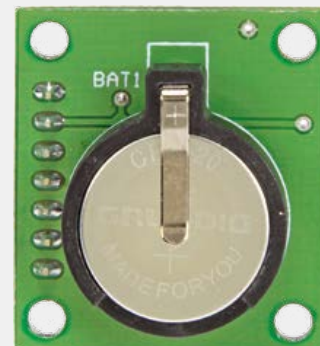
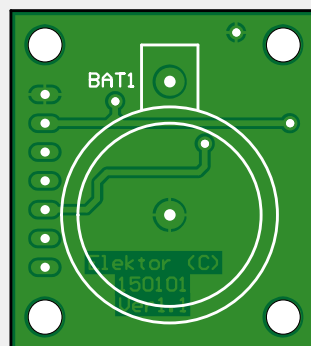
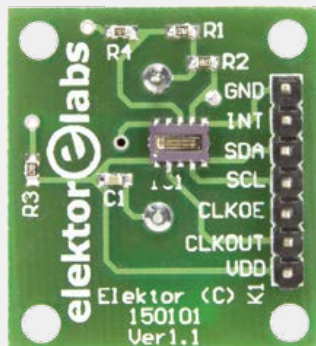
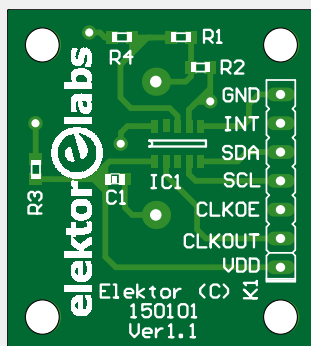


Figure 3. Schéma d'implantation du circuit imprimé et liste des composants. L'assemblage n'est pas évident, mais possible avec du soin et de la précision.

- reliez l'I²C et l'alimentation via le connecteur K1 sur l'e-BoB
- chargez le *sketch* sur l'Arduino
- ouvrez le moniteur série à la vitesse de 9600 baud.

Vous devriez maintenant voir apparaître HH:MM:SS dans votre moniteur série. Le **listage 1** est un extrait du *sketch* : initialisation (en partie) et directives *include* pour préparer la puce.

(150101 – version française : Kévin Petit)

Liens

- [1] Feuille de caractéristiques du RV-3029-C2 de Micro Crystal : www.microcrystal.com/index.php/products/real-time-clocks
- [2] Page du projet : www.elektormagazine.fr/150101

Listage 1. *Sketch* de test et commande du module RV-3029-C2 (extrait)

```
#include <Wire.h>
#include "rv3029.h" // indispensable que l'EDI accepte notre
" time struct "

#define I2C_ADDRESS (0x56)

uint8_t bcd2bin(uint8_t val)
{
    return ((val) & 0x0f) + ((val) >> 4) * 10;
}

uint8_t bin2bcd(uint8_t val)
{
    return (((val / 10) << 4) | (val % 10));
}

void rtc_set_time(uint8_t i2c_address, rtc_time_t& rtc_time)
{
    Wire.beginTransmission(i2c_address);
    Wire.write(0x08); // adresse du registre des secondes
    Wire.write(bin2bcd(rtc_time.seconds)); // réglage
    // des secondes
    Wire.write(bin2bcd(rtc_time.minutes)); // des minutes
    Wire.write(bin2bcd(rtc_time.hours)); // des heures
    Wire.write(bin2bcd(rtc_time.day_of_month)); // de la date
    Wire.write(bin2bcd(rtc_time.day_of_week)); // du jour
    // de la semaine
    Wire.write(bin2bcd(rtc_time.month)); // du mois
    Wire.write(bin2bcd(rtc_time.year)); // de l'année

    Wire.endTransmission();
}

void rtc_read_time(uint8_t i2c_address, rtc_time_t& rtc_time)
{
    Wire.beginTransmission(i2c_address);
    Wire.write(0x08); // adresse du
    // premier registre horaire (secondes)
    Wire.endTransmission();
    // Request the seven date/time bytes.
    Wire.requestFrom(i2c_address, (uint8_t)7);
    // conversion requise pour éviter un avertissement
    // du compilateur C++
    rtc_time.seconds = bcd2bin(Wire.read() & 0x7f);
    rtc_time.minutes = bcd2bin(Wire.read() & 0x7f);
    uint8_t hours = Wire.read(); // les heures
    // nécessitent un traitement
    rtc_time.day_of_month = bcd2bin(Wire.read() & 0x3f);
    rtc_time.day_of_week = bcd2bin(Wire.read() & 0x07);
    rtc_time.month = bcd2bin(Wire.read() & 0x1f);
    rtc_time.year = bcd2bin(Wire.read());

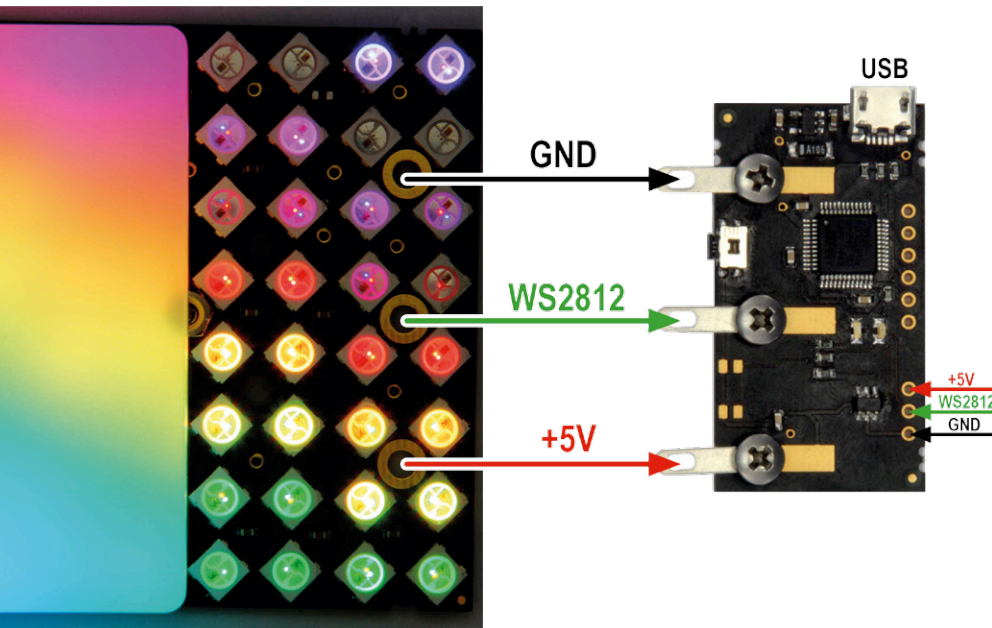
    // conversion des heures
    if ((hours & (1 << 6)) != 0)
    {
        // format 12h
        rtc_time.hours = bcd2bin(hours & 0x1f);
        // traitement du drapeau PM
        if ((hours & (1 << 5)) != 0) rtc_time.hours += 12;
    }
}
```

LED-Matrix-Player

les LED font voir toutes leurs couleurs

Folker Stange et Erwin Reuss

Le système LED-Matrix-Player permet d'animer jusqu'à 1 024 Digital-LED rassemblées en matrice, bande ou bouton. Les motifs lumineux sont créés sur un PC, un ordinateur portable ou une tablette, et transférés vers les LED par USB. Grâce à ce système, réaliser des projets complexes est un jeu d'enfant : cubes, horloges, tableaux de marque, éclairage festif, panneaux d'information et de signalisation, panneaux publicitaires...



Il n'y a rien de mieux que les signaux modulés en largeur d'impulsion d'un microcontrôleur pour piloter une LED couleur dans le cercle chromatique RVB : un canal par couleur primaire (Rouge, Vert et Bleu) suffit. Jusqu'à présent, si un système comportait un grand nombre de LED, le matériel requis était lourd : multiplexeurs, verrous, pilotes et un bataillon de composants passifs. Dans le monde des LED RVB, de tout nouveaux composants, connus sous la dénomination de Digital-LED, Digi-Dot ou Neo-Pixel, permettent de minimiser la complexité du matériel.

Des trains de données

Si on couple directement un circuit MLI (*PWM*) à la LED, on peut numériser les informations de couleur et de luminosité pour les transmettre au circuit MLI, sous forme d'un paquet de données série. L'étape suivante consiste à intégrer la puce MLI directement dans la LED ; tout ce dont on a encore besoin (outre la tension de service) est une entrée de données. En développant cette idée, on voit que l'on peut, comme dans le cas d'un train de marchandises, coupler plusieurs paquets de données pour piloter ainsi plusieurs LED.

Dans ce cas, il faut une sortie sur la LED pour transmettre le flux de données à la LED suivante. En théorie, on peut ainsi

mettre en cascade un nombre quelconque de LED, mettre dans la chaîne autant de paquets de données que l'on veut, suivis

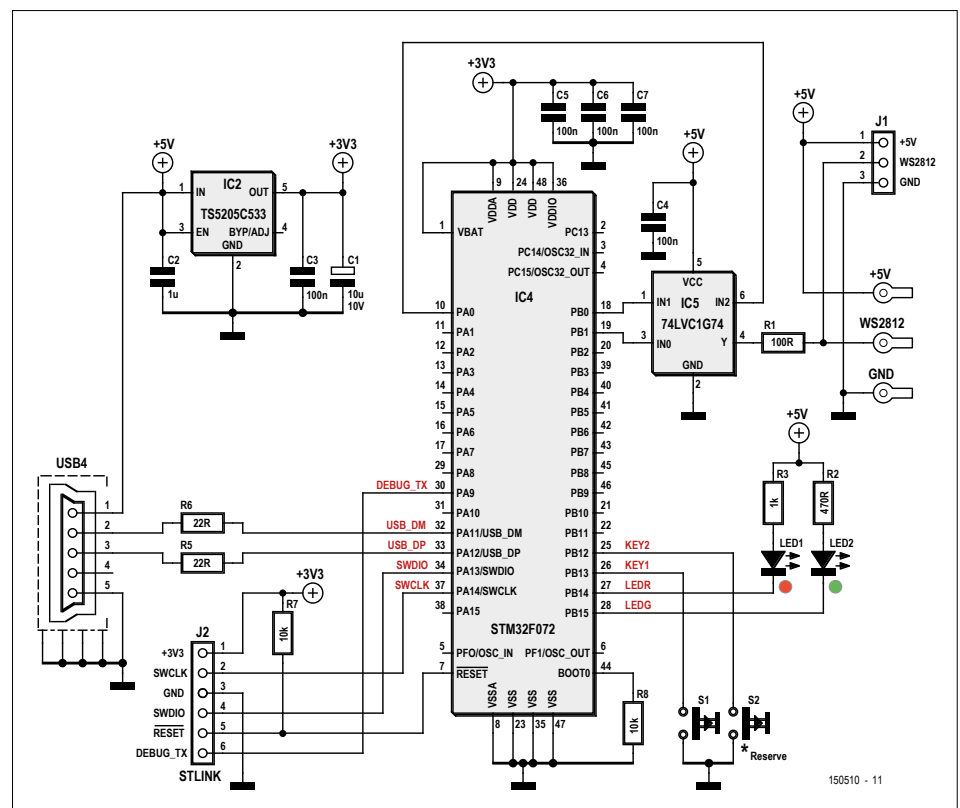


Figure 1. La puissance du contrôleur permet de n'avoir besoin que de peu de circuiterie périphérique.

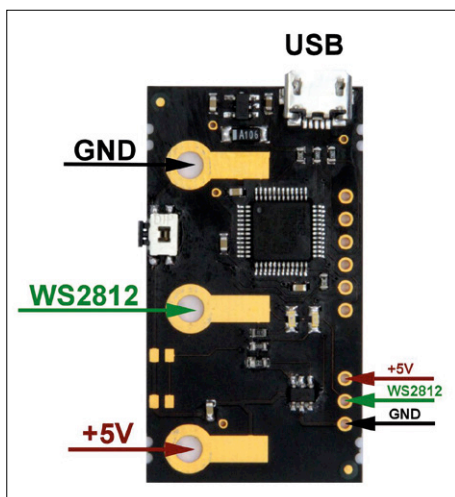


Figure 2. La carte compacte du LED-Matrix-Player.

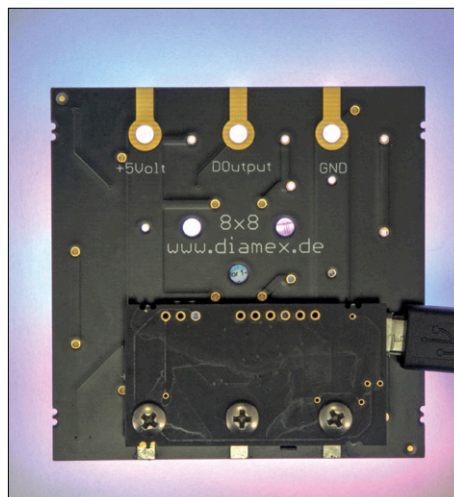


Figure 3. Le Player est vissé sur le module de la matrice.

du signal de départ. De cette manière, on transmet une information distincte à chaque LED, à savoir luminosité et couleur. Simple et ingénieux. BULI, un jeu de lumières à LED, est une application typique [1].

Ce principe permet de réaliser dispositifs d'affichage simples tels que bandes (*stripes*), matrices (*panels*), anneaux et points (*dots*), mais aussi des formes plus complexes (lunettes farfelues, montres à texte, cubes, etc.).

Généralement, les effets sont créés sur un PC, puis transférés vers les LED via un circuit à μC . Différents canaux pour le transit des données sont possibles : réseau, série via une interface COM, voire par USB ; un protocole de données est usuel : TPM2. Le μC , intermédiaire entre

le PC et les LED, convertit les données TPM2 dans le protocole de données des Digital-LED concernées (qui dépend du type des LED).

Le matériel

C'est précisément ce que fait le projet LED-Matrix-Player décrit ici. Un puissant μC Cortex M0 STM32F072 peut piloter jusqu'à 1 024 LED de type WS2812 ou compatible [2], communément appelées Digi-Dot ou Neo-Pix(el).

Grâce au μC Cortex M0, le circuit (**figure 1**) reste simple ; il se compose d'une alimentation de 3,3 V (régulateur à faible tension de déchet IC2), d'un tampon de sortie (IC5) ainsi que d'un circuit de protection, de deux LED de

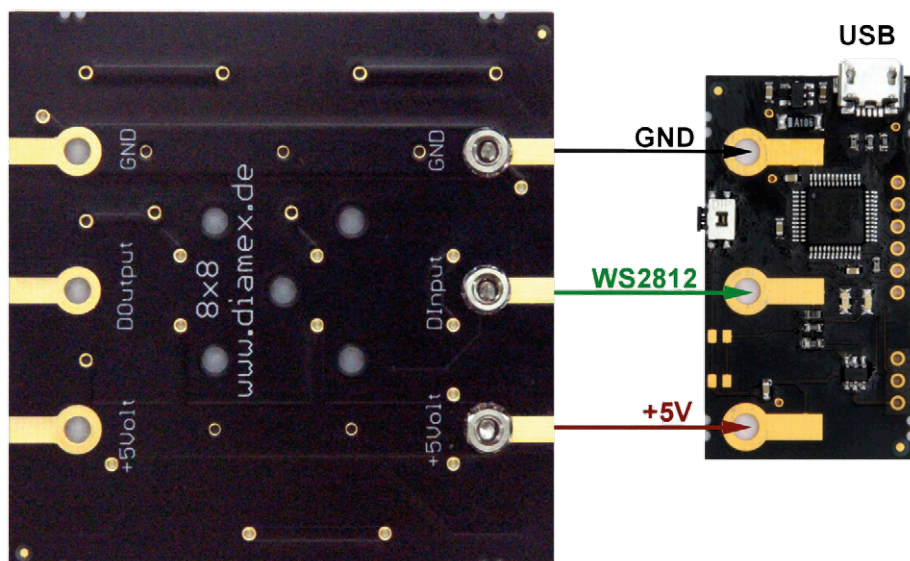
signal et d'un bouton. Pas besoin de quartz ; la fréquence d'horloge est dérivée de l'horloge de données du port USB. On y voit aussi, outre les connexions des LED, l'interface de programmation J2 (ne sert qu'au transfert du progiciel requis) et le port USB (USB4). Un port USB peut débiter 500 mA environ ; en fonction de la luminosité et de la couleur, on peut donc connecter directement au LED-Matrix-Player, sans alimentation propre à ce circuit, une petite chaîne, des points ou des anneaux de LED pour afficher des messages courts ou créer des motifs lumineux.

Le matériel prend place sur un circuit imprimé compact, de 24 x 44 mm seulement (**fig. 2**), fixé directement sur le panneau matriciel [3] (**fig. 3**) avec des vis M3 et des entretoises métalliques (de 5 ou 10 mm). On peut aussi connecter des Digi-Dots directement à J1 (en haut à droite du schéma). Le μC et les composants connexes sont tous des CMS. Il n'y a rien à paramétrer ou configurer sur le LED-Matrix-Player disponible dans l'échoppe d'Elektor [4]. Le μC possède déjà son progiciel. Ce progiciel est disponible sous forme de fichier hex (à télécharger en [5]) ; le programmeur ST-Link [6] permet de le flasher dans le μC (comme le LED-Matrix-Player est un produit commercial dont les auteurs tirent une partie de leurs revenus, exceptionnellement, nous ne pouvons pas divulguer le code source). Le petit bouton S1 permet un test rapide une fois les Digi-Dots connectées : les Digi-Dots affichent alors un motif de type arc en ciel. La luminosité est fixée à 10% afin d'éviter toute surcharge de l'alimentation, même en présence du nombre maximal de LED, à savoir 1 024. Une nouvelle pression du bouton rétablit la connexion au port USB.

Logiciel PC pour LED-Matrix-Player

Côté PC, il faut installer le pilote du LED-Matrix-Player. On connecte le montage au port USB de son PC et on installe le pilote, disponible également en [5], pour la création d'un port COM virtuel. Seul Windows 10 se charge automatiquement de l'installation du pilote, sans devoir télécharger de pilote.

Pour créer les effets lumineux, on pourra utiliser des gratuits, Jinx! ou Glediator [7]. Ils permettent de travailler « à flux tendu », c.-à-d. de transférer dans



les LED, directement via le μ C, les motifs pour voir le résultat. Nous utilisons le programme Jinx! à télécharger en [8] et à installer sur votre PC, un logiciel très puissant pour la commande de contrôleurs de LED via divers protocoles et interfaces, mais délicat à configurer, malheureusement. Une aide et des assistants virtuels par ex. seraient bigrement utiles. Au lieu de cela, il faut se démener sur les réglages et passer sous les fourches caudines de quelques points de menu. Dans l'encadré, vous trouverez toutes les étapes de la configuration pour une utilisation avec le LED-Matrix-Player.

Mettre en cascade plusieurs LED-Matrix-Player sur un PC semble intéressant. Jinx! de même que Glediator permettent d'intégrer plusieurs segments, chacun ayant son propre port COM virtuel. On peut ainsi, doubler le nombre maximum de LED, 1 024, en utilisant deux LED-Matrix-Player. Il ne faut qu'un nouveau port USB par canal. Avec un concentrateur (*hub*), on peut ainsi utiliser des tablettes Windows à un seul port USB. Il est parfaitement possible alors d'exploiter une matrice de LED publicitaire (plus grande) pour afficher en direct des contenus (heure, date et température). Jinx! permet aussi de recadrer des vidéos pour la surface disponible. En cas d'utilisation de l'appareil photo d'une tablette ou d'un ordinateur portable, on

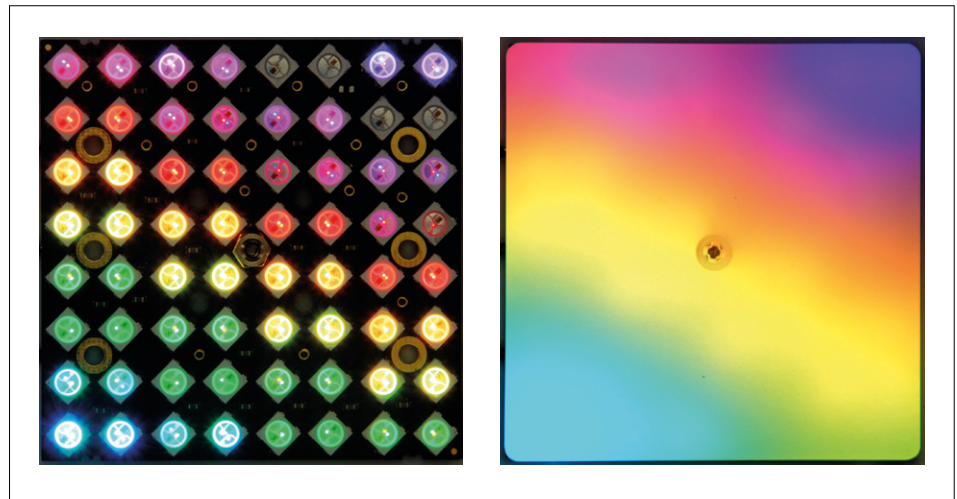


Figure 4. Une plaque de verre acrylique mat permet de rendre flou le contour des LED de la matrice, cela donne de superbes dégradés de couleurs.

peut même afficher en direct des images pixélisées. Jinx! est d'ailleurs doté d'un analyseur de spectre audio.

Projets

Une application pratique est l'**affichage 8x8**. On pourra visser le LED-Matrix-Player directement sur un panneau de 8x8 tout fait ou réaliser sa propre matrice à l'aide de huit bandes, de huit LED chacune. On recouvre le tout d'une plaque de verre acrylique mat, placée à une hauteur comprise entre 5 et 10 mm. Si la structure visible des Digi-Dots devient floue, Jinx! permet de produire des gradients

de couleurs étonnantes – de l'arc-en-ciel au feu ardent du plasma en passant par les étoiles filantes (**fig. 4**).

Un projet passionnant est le **Game Display** qui repose sur un LED-Matrix-Player et un Raspberry Pi. En connectant une clé WLAN à un autre port USB, on crée un réseau Wi-Fi ouvert, accessible par navigateur. Avec un ordiphone, on peut alors jouer à Tetris, Ping-Pong ou Snake. L'agencement des Digi-Dots connaît plusieurs variantes. On peut penser à des sections de bande collées côte à côte ou à des panneaux tout faits (2x16x16, 4x8x8,

Liens

- [1] Stange, Reuss : Buli Button-Lichtspiele, Elektor Special Projekts LEDs 5 (5/2014) : www.elektor.de/leds-5-pdf-de
- [2] LED compatible WS2812 : UCS1903, PL9823, APA104/106, SK6812
- [3] www.led-genial.de/
- [4] LED-Matrix-Player : www.elektor.fr/150510-91
- [5] Projet à télécharger (progiciel, pilote Windows et tutti quanti) : www.elektormagazine.fr/150510
- [6] www.st.com (cherchez « ST-LINK »)
- [7] Gratuitiel Glediator : www.solderlab.de/index.php/software/glediator
- [8] Gratuitiel Jinx! : www.live-leds.de (en anglais)
- [9] Projet Game-Display : www.ledswork.de/wp/2015/09/27/tetris-display-mit-handy-steuerung (en allemand)
- [10] Ben Jordan, *recyclez votre alimentation ATX*, Elektor 6/2013 : www.elektormagazine.fr/120619

Bandes : www.led-genial.de/LED-Stripes, www.elektor.de/neopixel-digital-rgb-led-strip-4-m-60-leds-m, www.elektor.fr/neopixel-digital-rgb-led-strip-1-m-60-leds-m

LED uniques avec puce WS2811 : www.led-genial.de/Leuchtdioden (en allemand)

Forum Digi-Dots : www.ledswork.de (en allemand)

Fiche de caractéristiques WS2812 : www.led-genial.de/mediafiles//Sonstiges/WS2812B.pdf

Fiche de caractéristiques PL9823 : www.led-genial.de/mediafiles//Sonstiges/PL9823.pdf



Figure 5. Une console de jeu Tetris au look attrayant.

voire 512 LED individuelles disposées en matrice). L'idéal serait des panneaux matriciels juxtaposables. Une couche de caoutchouc mousse estampée ou découpée au laser augmente le contraste et la plaque de diffusion de plexiglas rend la console de jeu visuellement attrayante (fig. 5). Sur le site du projet [9], on trouvera un système Linux compilé fonctionnel à télécharger.

Alimentation

Il arrive encore trop souvent que l'on alimente, par le biais du port USB d'un PC ou d'un ordinateur portable, une bande ou une matrice avec un nombre (trop) élevé de LED. Lorsque, sous Jinx!, on appuie sur « Start Output », le port USB se déconnecte alors du système ou l'ordinateur voit sa tension s'effondrer totalement. On peut alors réduire la luminosité des LED avec le curseur « Master », et donc diminuer la consommation ; il vaut

mieux envisager à une alimentation suffisamment dimensionnée dès le départ. Au repos (charge continue par la puce MLI intégrée), chaque LED WS2812 consomme 1 mA. Si les trois couleurs sont paramétrées à la puissance maximale (5 V présents), une LED consomme ± 60 mA ! Pour dix LED, soit 600 mA, un port USB est surchargé, d'où le risque de déconnexion – Matrix-Player n'y est pour rien, il s'agit uniquement d'un dépassement de la capacité d'un port USB. Une centaine de LED consomme 6 A et 1 000 quelque 60 A.

Heureusement il n'est pas question d'utiliser une matrice comme projecteur ou radiateur. On devra donc trouver, pour chaque application, un compromis luminosité/consommation. Lors de l'affichage d'un contenu en couleurs, on pourra paramétrer la consommation entre 50% et 60% du courant maximal

Paramétrage correct de Jinx!

Avant de commencer la configuration, connectez le LED-Controller/LED-Player et assurez-vous dans le Gestionnaire de Périphériques de Windows de son accessibilité via le port COM (fig. 1). Notez le numéro du port COM (ici COM19) pour la configuration de Jinx!.

Lancez Jinx!. Les options de configuration de Jinx! sont très nombreuses, selon les contrôleurs de LED utilisés, le

nombre de LED, ainsi que le type et la disposition des LED connectées. Nous nous limitons ici à la configuration de Jinx! pour travailler avec un seul LED-Controller/LED-Player.

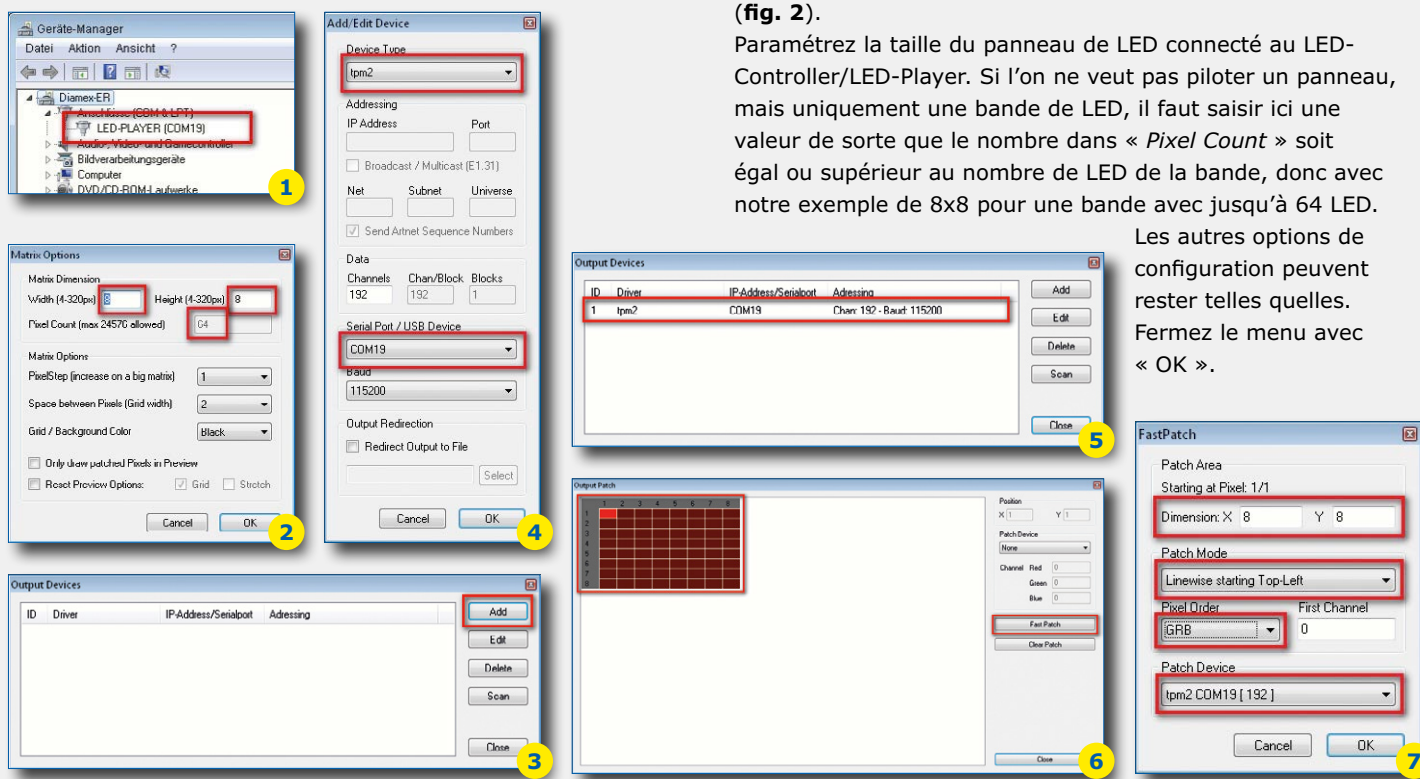
Choisissez le point de menu « Help | Contents ».

Vous y trouverez une notice d'utilisation détaillée de Jinx!.

Choisissez le point de menu « Setup | Matrix-Options » (fig. 2).

Paramétrez la taille du panneau de LED connecté au LED-Controller/LED-Player. Si l'on ne veut pas piloter un panneau, mais uniquement une bande de LED, il faut saisir ici une valeur de sorte que le nombre dans « Pixel Count » soit égal ou supérieur au nombre de LED de la bande, donc avec notre exemple de 8x8 pour une bande avec jusqu'à 64 LED.

Les autres options de configuration peuvent rester telles quelles. Fermez le menu avec « OK ».



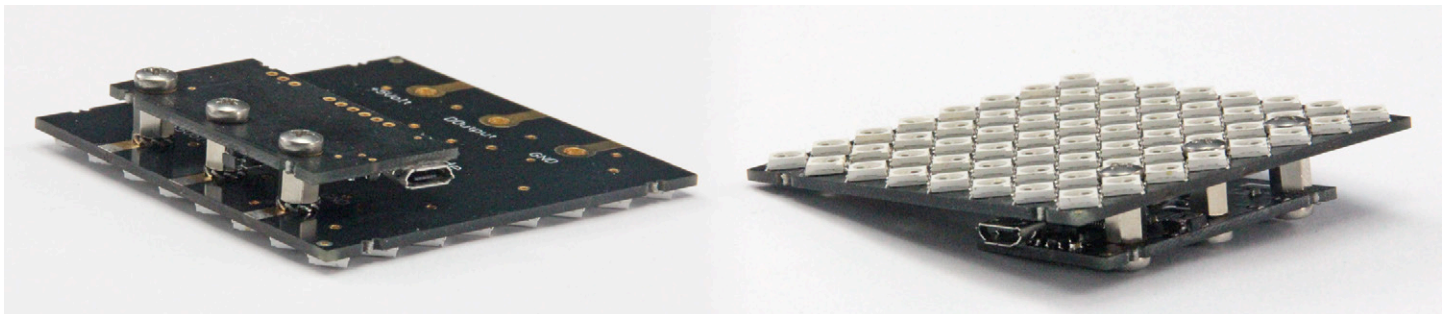
calculé. Un niveau de luminosité de LED supérieur à 70% est à peine perceptible ; de plus, une luminosité élevée présente des inconvénients : dégagement de chaleur et consommation élevés, sans parler d'une réduction sensible de la durée de vie des LED.

Pour une matrice de 1 024 LED, on optera pour une alimentation de 5 V avec un courant nominal de 36 A. Les alimentations de cette classe sont, à raison, dotées de plusieurs borniers. Le conducteur de cuivre

de l'alimentation devra être largement dimensionné : sections de 1,5 à 2,5 mm² au moins. Les pistes des bandes (*stripes*) et des panneaux ne supportent pas des intensités élevées vu la faible épaisseur de la couche de cuivre (35 µm seulement à la production). On tirera donc une ligne de cuivre parallèlement aux rails positif et négatif. De plus, les deux extrémités des bandes sont connectées à l'alimentation. On évite ainsi au mieux une chute de tension qui a pour conséquence des LED

plus sombres à l'extrémité d'une bande ou au bout d'un panneau. Les auteurs utilisent des alimentations fixes de 5 V de Meanwell ; il en existe une riche palette à des prix abordables. On peut aussi envisager d'utiliser une alimentation ATX, dont seul le rail de 5 V serait mis à contribution. Elektor a déjà publié un circuit utilisable [10]. ◀

(150510 – version française : Guy Raedersdorf)



Choisissez le point de menu « *Setup | Output-Devices* » (**fig. 3**).

On y configure le LED-Controller/LED-Player connecté. S'il y a déjà un enregistrement, le supprimer avec « *Delete* ». « *Scan* » permet de détecter automatiquement les appareils à condition qu'ils soient connectés au (W)LAN. Les périphériques USB ne sont pas détectés ; il faut donc les paramétrer manuellement. Pour cela, cliquez sur le bouton « *Add* ».

La fenêtre « *Add/Edit Device* » s'ouvre (**fig 4**).

Sous « *Device Type* » paramétrez le protocole « *tpm2* » que reconnaissent le LED-Player et le LED-Controller-L.

Sous « *Serial Port/USB Device* », réglez le port COM du LED-Controller/LED-Player que vous avez identifié précédemment dans le Gestionnaire de Périphériques. Il se peut que la liste déroulée affiche d'autres ports COM n'ayant rien à voir avec le LED-Controller. Si le port COM requis est absent, il est fort probable que vous n'avez connecté le LED-Controller/LED-Player au PC qu'après avoir démarré Jinx!. Dans ce cas-là, il faut redémarrer Jinx!. Le LED-Controller/LED-Player ignore la vitesse de transmission spécifiée, ne modifiez pas ce paramètre.

Après avoir cliqué sur « *OK* », le LED-Controller/LED-Player devrait maintenant apparaître dans la liste des « *Output Devices* » (**fig. 5**).

Choisissez le point de menu « *Setup | Output Patch* » (**fig. 6**).

Comme il est possible de connecter simultanément plus d'un LED-Controller/LED-Player, il faut dire à Jinx! quelles LED sont à piloter par quel contrôleur, même s'il n'y en a qu'un seul.

La matrice 8x8 à gauche est encore rouge ; l'affectation des LED de la matrice n'a donc pas encore eu lieu. De ce fait, toute tentative d'envoyer dès à présent des données au LED-

Controller/LED-Player serait vouée à l'échec.

Il faut d'abord que la totalité de la matrice soit verte, avant qu'une sortie vers le contrôleur ne soit possible. Pour ce faire, pour notre exemple de configuration, cliquez sur « *Fast Patch* » (**fig. 7**).

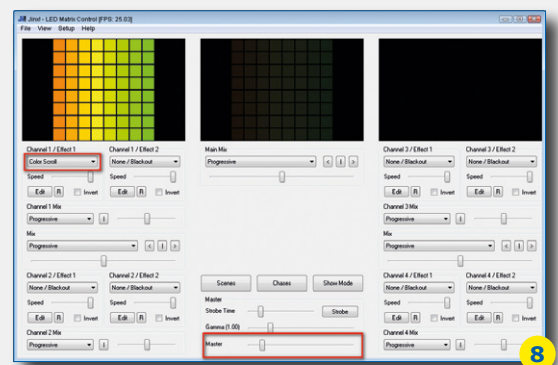
« *Dimension* » doit correspondre à la taille de la matrice, X=8, Y=8 dans notre cas. Pour une bande, on peut conserver le paramétrage « *Linewise starting Top-Left* », dans le cas d'une matrice de LED il faudra peut-être modifier ce paramètre, en fonction du câblage des LED sur la matrice. Si l'on n'est pas certain de son affaire, il faut expérimenter.

Pour les LED WS2812, il faut choisir sous « *Pixel Order* » le format « *GRB* » ; d'autres types de LED peuvent peut-être exiger un ordre différent. Ici aussi : en cas de doute, expérimentez ! Sous « *Patch Device* », on sélectionne le « *Output Device* » créé. Un clic sur « *OK* » ferme le menu de configuration.

Choisissez le point de menu « *Setup | Start Output* » (**fig. 8**).

Paramétrez par ex. le « *Channel 1 / Effect 1* » sur « *Color Scroll* ».

Les LED devraient s'allumer dans les couleurs affichées.

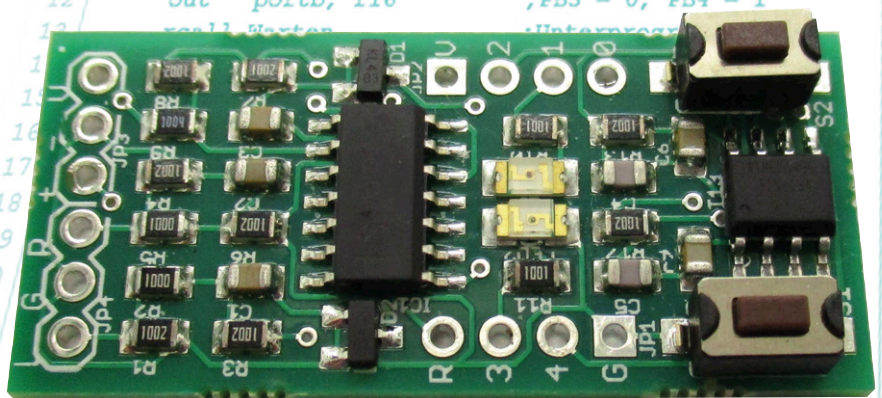


gazouillis de Cheepit

ou comment programmer un µC avec un fichier audio

Burkhard Kainka & Thomas Baum

Des fichiers qui chantent comme des moineaux pour programmer un microcontrôleur ATtiny, c'est original ! Votre tablette ou votre ordiphone est doté d'une sortie audio, utilisable pour charger un fichier hexadécimal dans un contrôleur. Comme les navigateurs lisent les fichiers audio, l'internet est l'endroit idéal pour préparer et partager des applications. Nous présentons ici un circuit de programmation, une petite carte (disponible prête à l'emploi) et un site internet où trouver des exemples de programmes et même des outils de développement.



brne Wartenl



Le téléphone portable dernier cri tend à supplanter le classique PC. Aujourd'hui il y en a même dans les chambres d'enfants ; c'est devenu normal. Ces appareils peuvent-ils servir pour des expériences et des projets électroniques ? Dans le domaine des microcontrôleurs et de leur programmation, la difficulté est que les systèmes sont hermétiques. On trouve facilement des interfaces USB, mais souvent, elles ne sont pas complètes, par exemple la fonction d'hôte USB n'est pas assurée. De plus, la plupart des interfaces sont « murées » pour raison de sécurité. Programmer à l'aide d'un navigateur est à priori exclu, tout comme stocker le code dans le réseau et l'y partager. Mais une autre voie est possible : tout terminal mobile, comme n'importe quel

PC du commerce, dispose d'une sortie audio sur laquelle on peut envoyer des fichiers audio, et cela avec la plupart des navigateurs.

Le matériel

Le Sparrow (le moineau) de Cheepit [1] est une petite carte autonome à microcontrôleur. Contrairement aux habitudes, cet oiseau rare n'a plus besoin d'appareil de programmation, il se sert d'un terminal mobile avec un navigateur et de la sortie audio pour casque d'écoute. Il est même possible de le programmer avec un fichier mp3 ou des sonneries. C'est pourquoi ce système convient également aux applications à programmer avec un mobile. Le Sparrow est si facile à adopter qu'il a aussi fait son nid dans les cours d'initiation des écoles et universités.

La carte porte un ATtiny13A avec 1 Ko de flash et huit contacts. On y trouve encore, à côté de l'interface de programmation, deux LED et deux boutons-poussoirs. Toutes les broches du contrôleur sont accessibles sur embases à picots, ce qui fait de la carte un petit système de développement à usage simple et multiple.

Le schéma de la **figure 2** montre à droite le système à microcontrôleur proprement dit avec l'ATtiny13A et les organes de commande. L'interface de programma-

tion est à gauche. Un quadruple comparateur LM339, filtre passe-bas et limiteur, permet d'effectuer la programmation sur une plage plus large de niveaux d'entrée. Un signal de programmation initialise le microcontrôleur et commande les lignes MOSI et SCK. On constate que le processus s'est bien déroulé par un signal sur MISO et la LED1 verte qui clignote. Pour faciliter les premiers essais, il est bon de souder une barrette femelle coude à six contacts comme sur la **figure 3** pour y connecter la tension d'alimentation et le signal audio. On raccorde, en dessous, aux trois contacts de JP4 (L, GND et R), un jack stéréo ou une prise pour jack, au choix. Il ne faut pas permuter les canaux gauche et droit. Sur un jack, le premier contact correspond à la pointe et au canal gauche.

Le plus simple pour l'alimentation est de prendre deux piles R6 ou AA en série dans un coupleur pour avoir 3 V. Les trois connexions du haut servent à fournir le courant au microcontrôleur (VCC) et à l'interface de programmation (VCC2), le tout avec GND comme masse commune.

Un système d'expérimentation unique

Pour développer son propre logiciel, il faut connaître le circuit de base du

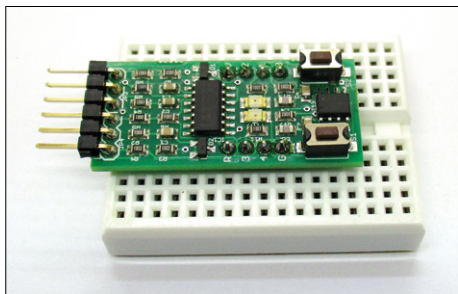


Figure 1. Le Sparrow : Tiny13 plus interface de programmation.

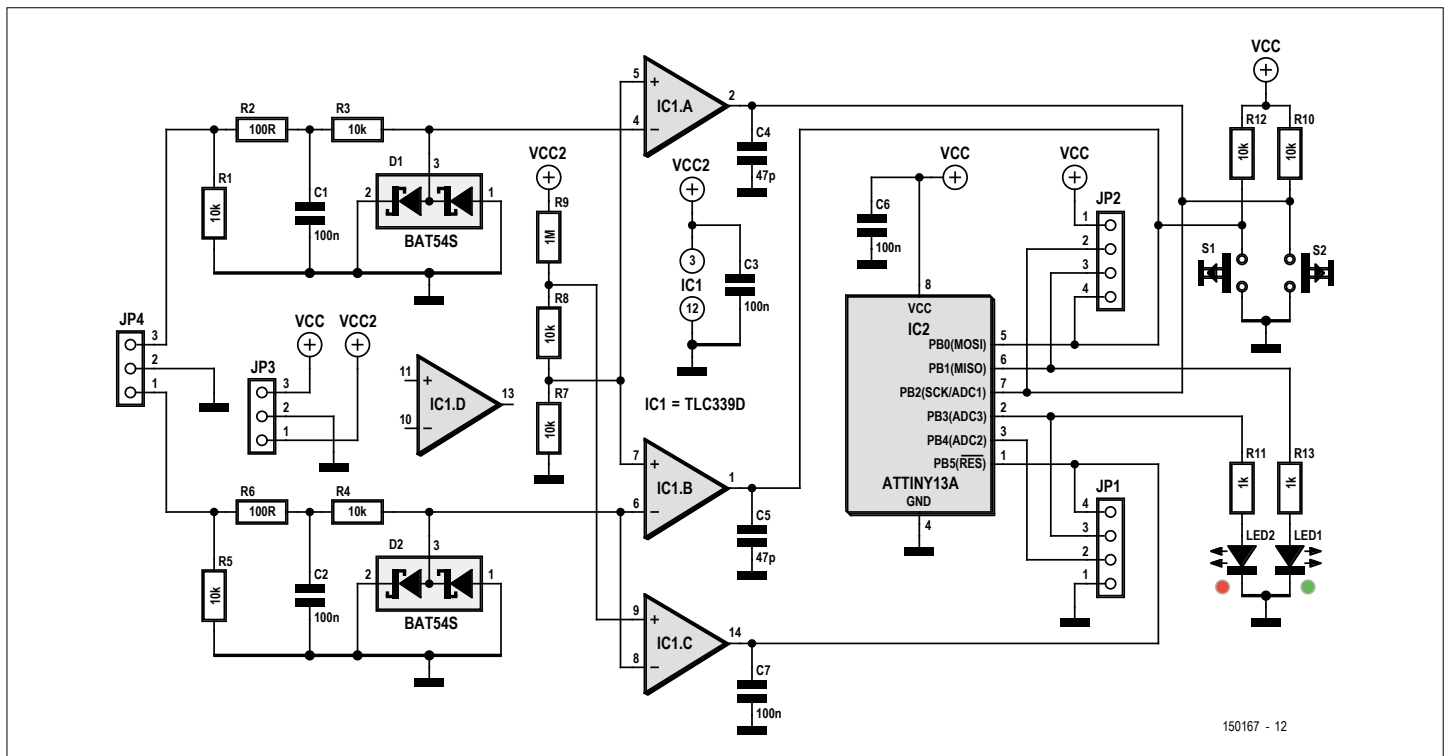


Figure 2. Le circuit en détail.

microcontrôleur de la **figure 4**. On peut déjà faire pas mal de choses avec deux boutons-poussoirs et deux LED, depuis des maquettes pour s'initier à l'électronique numérique jusqu'à des appareils à utiliser à la maison ou pour ses loisirs. Le Sparrow peut aussi servir d'unité centrale de commande pour d'autres projets électroniques du fait que toutes les broches de la puce sont accessibles.

Les cinq lignes de port peuvent être configurées en entrée ou en sortie. PB1 et PB3 sont les sorties « vedette », puisqu'on peut surveiller leur état simultanément sur les LED. Si PB1 délivre un signal MLI, cela influencera la luminosité de LED1. PB4 est utilisable comme entrée analogique de l'ADC2, un convertisseur A/N. Le Sparrow de Cheepit est disponible en version prête à l'emploi [3], mais il y a aussi différentes versions personnelles [2].

Des applis

Pour commencer, il y a sur le site de Cheepit [1] une grande quantité de données de programmation disponibles, appelées *Apps*. La plupart des petits programmes sont développés en Bascom, certains en assembleur et en C. Vous pouvez vous contenter de les récupérer

tels quels, mais vous pouvez aussi regarder leur code source. Le **listage 1** en donne un exemple. On y voit comment activer en Bascom le signal MLI évoqué ci-dessus. On règle le rapport cyclique et par là, la luminosité de la LED verte, au moyen de S1 et S2.

Dans chaque appli, il y a deux boutons de sélection de Cheepit, l'un sur fond clair, l'autre sur fond sombre, comme à la **figure 5**. Le sombre lance le transfert inversé du fichier hexadécimal, celui qu'il faut pour Sparrow. Le transfert non inversé sert à d'autres applications (cf. encadré).

Voici une petite sélection de projets existants.

- Couplage HF inductif : transfert de données sans fil avec Sparrow.
- Sparrow Bot : un petit robot avec deux moteurs de propulsion.
- Dé Sparrow TV : à la **figure 6**, un dé électronique par signal VBS (*Video Blanking Sync*).
- Spoutnik : le célèbre bip-bip du satellite.
- Système d'alarme Sparrow : mesure de luminosité par LED.
- SoundSeriell : une interface série pour sortie audio (**figure 7**).
- Testeur d'humidité : Sparrow réclame

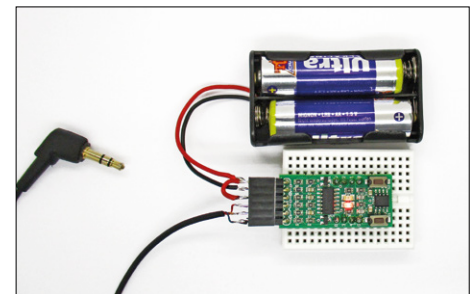


Figure 3. Raccordement à la carte son.

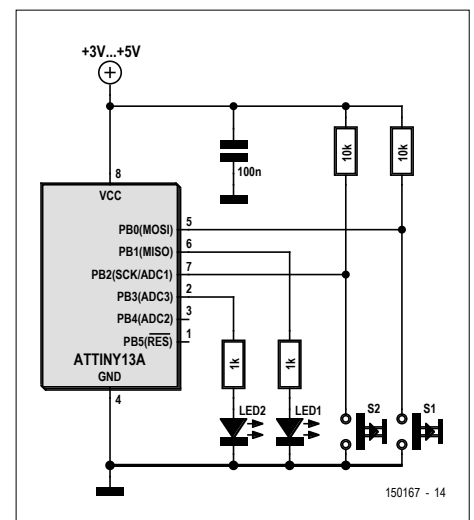


Figure 4. Circuit de base pour les applications, avec deux LED et deux boutons-poussoirs.

Listage 1. Exemple d'appli : commande en MLI

```
'Sparrow_PWM.bas
$regfile = "attiny13.dat"
$crystal = 1200000
$hwstack = 8
$swstack = 4
$framesize = 4
Config Portb.1 = 1
Dim D As Byte

Led1 Alias Portb.1
Led2 Alias Portb.3
S1 Alias Pinb.0
S2 Alias Pinb.2

Config Timer0 = Pwm ,
    Prescale = 8 ,
    Compare B Pwm = Clear Up

D = 50
Do
    If S1 = 0 Then D = D + 1
    If D > 254 Then D = 254
    If S2 = 0 Then D = D - 1
    If D < 1 Then D = 1
    Waitms 10
    Pwm0b = D
Loop
End
```

Listage 2. Le capteur de champ électrique

```
'Sparrow_ADC.bas

$regfile = "attiny13.dat"
$crystal = 1200000
$hwstack = 8
$swstack = 4
$framesize = 4

Dim D As Integer
Ddrb = 2

Config Adc = Single , Prescaler
= Auto
Start Adc
Config Timer0 = Pwm , Prescale
= 8 , Compare B Pwm = Clear Up

Do
    D = Getadc(3)
    D = D / 4
    Pwm0b = D
    Waitms 18
Loop
End
```

l'arrosage des plantes d'intérieur.

- Black Jack (17 et 4) : une carte à jouer avec deux LED.
- Sirène à deux tons : générateur de signal par logiciel.
- Sablier : un Sparrow pour cuire les œufs.

Capteur de champ électrique

Une application particulièrement belle, que ce capteur de champ électrique. Il suffit de souder un fil d'une longueur de 5 cm à PB3 pour mesurer le champ électrique sur cette antenne. On utilise

Listage 3. Fragment du programme en assembleur Logikgatter (porte logique)

```
and:
    rcall input
    and r16, r17
    rcall output
    rjmp and
or:
    rcall input
    or r16, r17
    rcall output
    rjmp or
not:
    rcall input
    com r16
    rcall output
    rjmp not
nand:
    rcall input
    and r16, r17
    com r16
    andi r16, 0b00000010
    rcall output
    rjmp nand
nor:
    rcall input
    or r16, r17
    com r16
    andi r16, 0b00000010
    rcall output
    rjmp nor
xor:
    rcall input
    eor r16, r17
    rcall output
    rjmp xor
xnor:
    rcall input
    eor r16, r17
    com r16
    andi r16, 0b00000010
    rcall output
    rjmp xnor
```

cette ligne comme entrée de l'ADC3. La LED qui y est raccordée ne gêne en rien, on ne mesure que de faibles tensions, inférieures au seuil de la diode. Prenez le « moineau » en main et promenez-vous sur un tapis ; la luminosité de LED1 vous montrera à chaque pas la charge électrique accumulée.

Le programme du **listage 2** comporte un retard de 18 ms, donc proche de la période de 20 ms du secteur à 50 Hz. Tout signal à 50 Hz est ainsi ralenti et bien visible sur LED1. Cela fonctionne aussi pour le 60 Hz. Quand on approche la main de l'antenne, l'amplitude de la tension alternative monte, elle est facilement reconnaissable au changement lent de la luminosité de la LED. Sparrow est ainsi capable de repérer les fils électriques à travers les murs.

Fonctions logiques

L'application *Logikgatter* (en français, porte logique) du **listage 3** est une appli pratique pour étudier l'électronique numérique et l'algèbre de Boole. Elle rassemble toutes les opérations logiques connues, on peut les choisir au démarrage, après quoi Sparrow simule la porte logique avec les deux boutons comme entrées et la LED verte comme sortie.

Outils de programmation

Vous n'êtes pas tenu à des applis toutes faites, vous pouvez aussi transférer des logiciels que vous avez écrits. Cheepit se transforme en outil de programmation polyvalent. Il peut charger n'importe quel fichier hexadécimal dans un Tiny13 ou Tiny25, voire même un Tiny2313. Tous les contrôleurs plus gros utilisent en revanche des blocs d'autres tailles. Actuellement, on peut utiliser des contrôleurs AVR avec 1 Ko ou 2 Ko de flash. Le convertisseur *hex2wav* (**figure 8**) se trouve sur le site de Cheepit.

Il existe une autre solution que la transmission directe, c'est la fonction *share* de la **figure 9**, par laquelle on peut fabriquer le fichier de son sur le site même. Le fichier hexadécimal est alors converti dans un lecteur en ligne et l'on reçoit les données de type son sous forme de texte source html. Chaque membre de la communauté peut ainsi convertir ses propres idées, même très spéciales et aussi les publier.

Les fusibles n'ont pas été oubliés. S'il faut des paramètres spéciaux pour un projet, on peut les modifier avec *Fuse Editor*

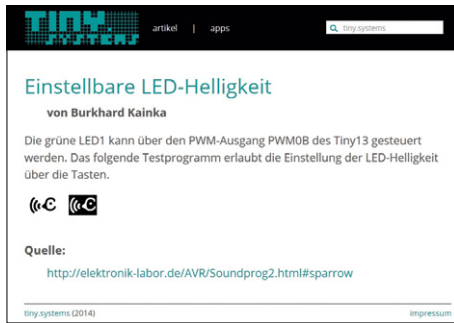


Figure 5. Une appli typique sur le site de Cheepit TinySystems (cf. listage 1).

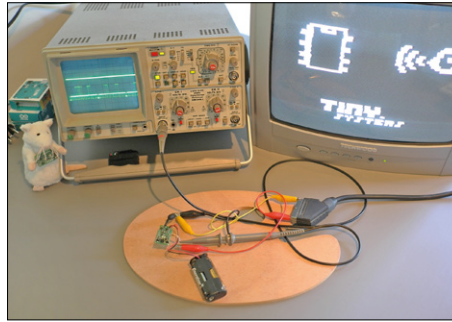


Figure 6. Sparrow délivre un signal VBS.

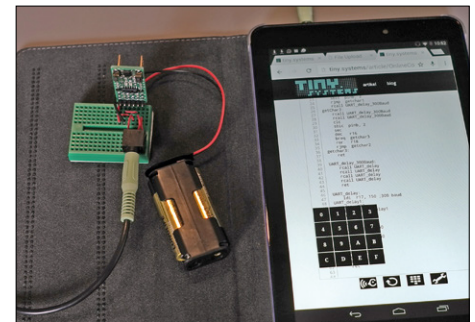


Figure 7. UART par son – un clavier sériel.

(figure 10). Une autre application permet la programmation de l'EEPROM interne. Même le transfert de données sérielles est ainsi réglé. Seul un des canaux stéréo

produit un flux sériel normal de données. Jusqu'ici, la programmation en Bascom, C ou assembleur se faisait encore localement sur son PC. Mais on peut aller

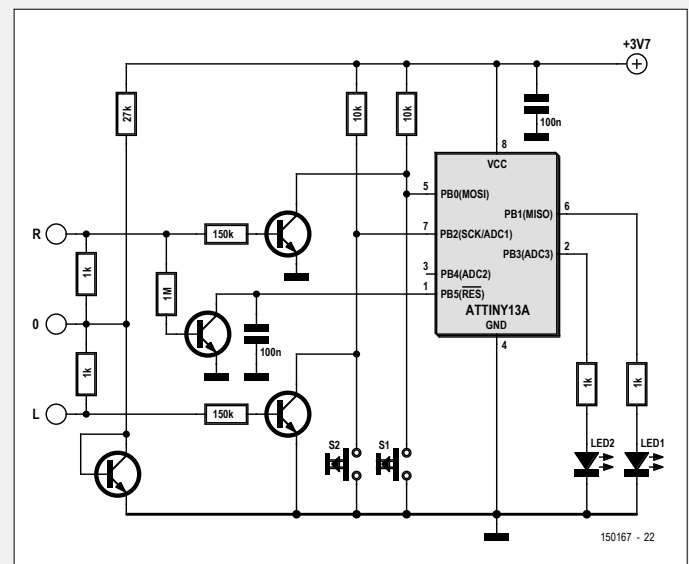
plus loin et déplacer l'environnement de développement vers le réseau. Nous l'avons déjà expérimenté : des programmes ont été convertis à l'aide d'un

Gérer soi-même les signaux faibles

Le circuit simplifié pour reproduire un Sparrow nous a fait découvrir que sur certains terminaux mobiles le niveau de signal audio était faible, moins de 1 Vcc. Quelques composants standard dont chacun dispose probablement suffisent à rectifier le tir.

Comme sur le Sparrow original, le signal de mise à zéro est produit automatiquement depuis la ligne de données. Il faut cependant que le niveau du son soit suffisant, mais une astuce permet de se tirer d'affaire. Elle consiste à relever d'environ 600 mV le niveau de la masse de la sortie audio, ce qui ne cause aucun embarras au téléphone. Mais sur un PC normal, il faut être plus prudent pour ne pas créer une boucle de masse. Ce n'est pas grave, sauf que la tension de polarisation n'est plus là. Or, elle est nécessaire pour que les transistors travaillent aussi bien que les comparateurs de Sparrow.

Les deux transistors sont polarisés à relativement haute impédance. On atteint de la sorte un point de fonctionnement auquel les tensions sur les collecteurs avoisinent encore celle d'alimentation. Des tensions assez faibles du signal suffisent alors à obtenir l'excursion totale. En outre, la haute résistance d'entrée adoucit la pente des flancs. Sur le Sparrow, en revanche, la verticalité des flancs descendants en sortie des comparateurs peut conduire à de la diaphonie sur la ligne adjacente, qu'il faut alors atténuer avec de petits condensateurs. En y regardant bien, on s'aperçoit de



la différence de polarisation du transistor de reset, avec une résistance de base de 1 MΩ. Elle a précisément pour but de déplacer vers le haut la forme du signal de reset. Un signal trop faible n'arriverait pas à faire entrer en mode de programmation et l'opération ne serait pas fiable. La plage de niveaux est plus étroite que sur le Sparrow. Il faut alors jouer un peu avec le réglage de volume pour trouver la meilleure position.



Figure 8. Le convertisseur hex2wav.



Figure 9. Le générateur de code HTML.



Figure 10. L'éditeur de fusibles.

De la sortie casque à l'interface ISP

Tablettes et téléphones tactiles sont tous équipés d'au moins une interface, c'est la sortie pour le casque d'écoute. Cela fait un bon bout de temps que l'on utilise le canal audio pour transmettre des données numériques. Comme système de modulation, c'est généralement le déplacement de fréquence (FSK) qui est en usage, comme sur le télécopieur (fax) ou l'ancien modem analogique. Le transfert de données par FSK souffre pourtant d'un inconvénient majeur, la démodulation du signal est difficile. On peut confier cette tâche à un logiciel sur un contrôleur programmé en conséquence, mais alors il faut quand même passer par un chargeur d'amorçage programmé d'avance dans le contrôleur. C'est mettre un obstacle avant même de commencer. À l'inverse, Cheepit permet de programmer un contrôleur flambant neuf, complètement vierge.

Les microcontrôleurs AVR comme le RISC à 8 bits sont généralement programmés par l'interface ISP. Il s'agit d'un protocole basé sur une interface SPI étendue.

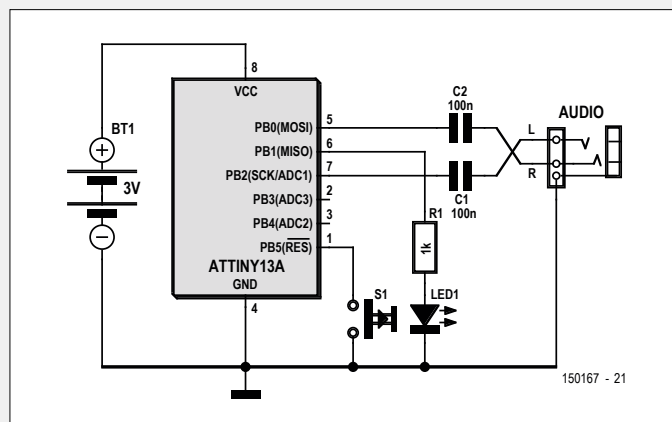
Le tableau suivant montre le brochage du connecteur ISP à six contacts.

brochage ISP	fonction
1 MISO	ligne de données SPI (<i>Input</i>)
2 VCC	tension d'alimentation
3 SCK	ligne d'horloge SPI
4 MOSI	ligne de données SPI (<i>Output</i>)
5 RESET	déclenche la programmation
6 GND	masse

Si l'on examine la marche à suivre pour la programmation par interface ISP, on s'aperçoit que, mise à part la ligne RESET, il ne faut que deux fils (SPI-DATA et SPI-CLOCK) pour écrire dans le microcontrôleur. Le canal de retour (MISO) ne sert, au cours de la programmation, qu'à confirmer la transmission. Une simple LED qui clignote suffit à s'assurer de la réussite de la transmission.

Avec un circuit d'essai (figure), nous approchons de la solution. Pour lancer la programmation, nous disposons d'un bouton de mise à zéro pour mettre la ligne à la masse manuellement. Les lignes de données et d'horloge sont reliées par des condensateurs à la sortie pour casque de la carte son. Comme objet du test, utilisons l'ATTiny13A. Mais prudence, ce n'est pas très facile. Cela ne fonctionne que si la carte son fournit un signal assez fort, environ 3 Vcc. Les condensateurs de couplage ainsi que les diodes de protection des broches de port maintiennent les niveaux des seuils dans le domaine voulu. En outre, il faut pousser sur le bouton au bon moment. On doit souvent recommencer plusieurs fois avant que la transmission se produise. Le circuit de Sparrow apporte la solution, il produit automatiquement le signal de mise à zéro à partir de la ligne de données.

Le protocole SPI réside à présent dans un fichier de son (.wav). Le canal de gauche se charge du signal d'horloge, les données sont à droite. Le protocole (programmation série) est constitué de quatre octets par commande. Pour commencer, on teste une première fois la commande



« Programming Enable » qui lance la programmation. Dès que le contrôleur reconnaît l'octet 0x53, il passe en mode de programmation et renvoie toutes les données avec un retard de 8 bits sur MISO, ce qui fait clignoter la LED.

Voici les quatre octets de la commande *Programming Enable* :

```
10101100 01010011 00000000 00000000
0xAC      0x53      0x00      0x00
```

Il en résulte les octets suivants dans le fichier wav des données codées en PCM (l'en-tête du fichier wav est écrit en vert) :

```
52 49 46 46 78 2A 00 00 57 41 56 45 66 6D 74 20 12
00 00 00 01 00
02 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 01 00 08 00 00 00 64
61 74 61 00 00
00 82 00 FF FF FF 00 00 FF 00 00 FF FF FF 00 00 FF
00 00 FF FF FF
00 FF FF FF 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00
FF FF FF 00 00
FF 00 00 FF FF FF 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 FF FF
FF 00 FF FF FF
00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00
00 FF 00 00 00
FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF
00 00 00 FF 00
00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00 00 FF 00 00
00 FF 00 00 00
```

Dans la charge utile du fichier de données wav, on reconnaît bien les niveaux haut (FF) et bas (00) pour les données et l'horloge. Les deux canaux sont ici alimentés alternativement en mode stéréo. Quatre octets représentent un bit de la transmission SPI, parce que ce bit est toujours pris en considération lors d'un flanc montant sur la ligne d'horloge. C'est ainsi qu'on reconnaît dans les premiers octets des champs de données (00 FF FF FF) un flanc montant sur la ligne d'horloge et un bit de donnée « 1 » :

00 – signal d'horloge LOW
 FF – signal de donnée HIGH
 FF – signal d'horloge HIGH
 FF – signal de donnée HIGH

Les premiers essais sont résumés sur [4].

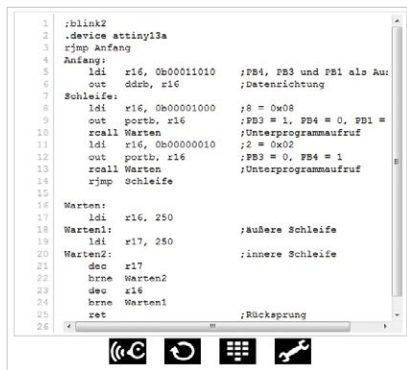


Figure 11. L'assembleur en ligne.

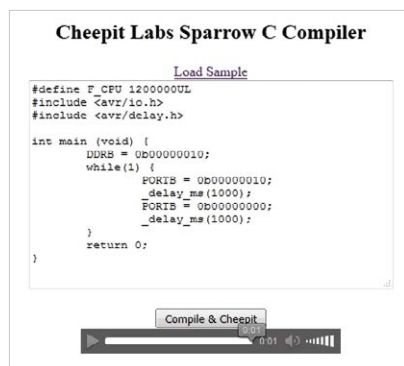


Figure 12. Un compilateur C expérimental.

assembleur en ligne (**figure 11**) et transformés sur le serveur en fichiers audio. N'importe quel navigateur capable d'opérer sur des balises audio HTML5 permet ce genre de programmation. La lecture du fichier audio créé programme le contrôleur lors de la communication et lance le programme transféré. À côté de l'assembleur en ligne, il y a aussi un compilateur C expérimental (**figure 12**). Avec lui, plus rien ne s'opposerait au développement d'applications mobile, on pourrait partir en vacances et s'asseoir sous un palmier pour rédiger un programme (en évitant le coup de soleil) sur un téléphone mobile, le compiler en ligne et le transférer dans le Sparrow.

En perspective

Le projet Cheepit et sa première carte de développement Sparrow en sont encore à leurs balbutiements. Nous espérons que cette présentation aidera l'oiseau à prendre son envol. La programmation par le son offre de nombreuses possibilités en cours de développement et de test. L'une d'elles est la création d'unités d'apprentissage interactives et en ligne, avec leur intégration dans les réseaux sociaux. ◀

(150167 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] <http://tiny.systems/categorie/cheepit/>
- [2] www.elektronik-labor.de/AVR/Sparrow/Cheepit.html
- [3] www.ak-modul-bus.de/stat/entwicklungssystem_sparrow.html
- [4] <http://tiny.systems/article/soundProgrammer.html>

AGENDA

			1	2	3
4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27
28	29	30	31		

janvier à
février 2016

Janvier 2016

♦ **Salon de la plongée sous-marine**
08 au 11/01 - Paris
www.salon-de-plongee.com

♦ **Semaine du son**
18 au 24/01 - Paris
www.lasemaineduson.org

♦ **Salon Maison&Objet**
22 au 26/01 - Paris
www.maison-objet.com

♦ **Congrès**
Embedded Real-Time Software and Systems
27 au 29/01 - Toulouse
www.erts2016.org

♦ **Salon des formations et métiers de l'aéronautique**
29 au 31/01 - Paris
www.salondesformationsaero.fr



Février 2016

♦ **Paris Images Pro**
02 au 03/02 - Paris
www.parisimagespro.fr

♦ **Salon des entrepreneurs**
03 au 04/02 - Paris
www.retromobile.com

♦ **Rétromobile**
03 au 07/02 - Paris
www.retromobile.com

♦ **Paris Manga & Sci-fi show**
06 au 07/02 - Paris
www.parismanga.fr

♦ **Enova – salon des technologies et des services**
10 au 11/02 - Lyon
<http://www.enova-event.com/accueil-enova-lyon>

♦ **Tech Innov – rendez-vous d'affaires de l'innovation**
11/02 - Paris
www.techinnov.events



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.

eRIC Nitro



Alex Robertson (Écosse)

En 2015, je me suis inscrit à un concours de conception pour l'Internet des Objets organisé par le portail DesignShare de RS Components et LPRS, un fabricant et fournisseur de modules radio de faible puissance. Le prix était alléchant puisque le projet vainqueur serait réalisé par LPRS et Elektor. Les participants étaient nombreux, et je fus bien sûr ravi d'apprendre que mon idée avait été primée par le jury : eRIC Nitro, une mini-carte compatible Arduino équipée d'un module radio.

J'aime transposer mes idées dans le monde réel, et pour cela j'utilise des cartes de prototypage que je câble et

soude composant par composant. C'est souvent amusant, mais c'est une étape qui prend du temps et je ne dois pas

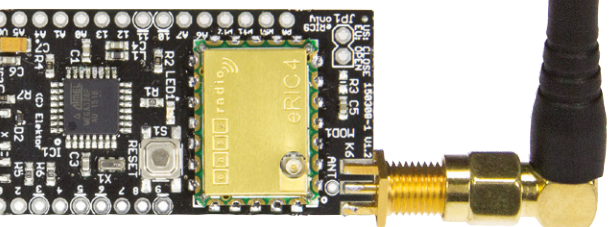
être le seul à préférer mettre mes idées à l'épreuve le plus rapidement possible. Cela ne m'a pas empêché de patiemment construire à la main de nombreux projets reposant sur des capteurs sans fil. Car la radiocommunication me fascine : il y a quelque chose de magique dans la transmission de données par « l'éther ».

Caractéristiques principales

- Module eRIC de LPRS avec sous-ensemble de signaux accessibles sur le circuit imprimé
- Encombrement semblable à celui de l'Arduino Pro Mini
- Format compact : 2,5 x 5,5 cm
- Processeur ATmega328 avec chargeur d'amorçage et liaison série directe avec le module eRIC
- Quartz de 8 MHz
- Régulateur de 3,3 V pour l'alimentation du module eRIC et de l'ATmega328
- Connecteur pour câbles ou cartes FTDI : permet la programmation de l'ATmega depuis l'EDI d'Arduino et fournit une interface série
- Déploiement rapide comme nœud RF programmable, à basse consommation, alimenté par pile
- Consommation totale < 100 µA en mode basse consommation
- Matériel ouvert, code source ouvert

C'est justement ce que rend possible et facilite le module radio eRIC de LPRS [1]. J'ai donc eu l'idée d'une carte compatible Arduino qui incorpore eRIC, et j'ai soumis ce projet au concours de conception LPRS [2]. Le résultat est eRIC Nitro, une mini-carte qui permet de tester rapidement une idée et se révèle très pratique pour les projets destinés à l'IdO, à la fois comme nœud et passerelle. Ses caractéristiques sont données dans l'encadré.

passerelle radio raffinée, à faible puissance



transmises à l'interface RF du module eRIC puis envoyées sur la broche SDO (*Serial Data Out*). Ajoutez une antenne filaire, un condensateur de découplage d'alimentation, alimentez la carte, et voilà n'importe quel projet capable d'établir une communication sans fil. Tout microcontrôleur doté d'une UART matérielle ou logicielle peut communiquer avec eRIC.

eRIC n'est pas qu'une simple passerelle série rigide, vous pouvez remplacer (gratuitement !) son micrologiciel par votre propre code

Le circuit

Les cartes Arduino sont faciles à programmer et ont l'avantage d'être servies par un EDI gratuit, des développeurs aussi nombreux qu'actifs, et une vaste bibliothèque de fonctions à code source ouvert. Si vous avez besoin d'une bibliothèque pour un capteur ou un périphérique, il y a de fortes chances qu'elle existe déjà pour Arduino. Le choix d'un matériel Arduino pour eRIC Nitro s'est donc imposé naturellement.

La section Arduino de la carte eRIC Nitro est dérivée de la carte *open source* Arduino Pro Mini. Les différences sont

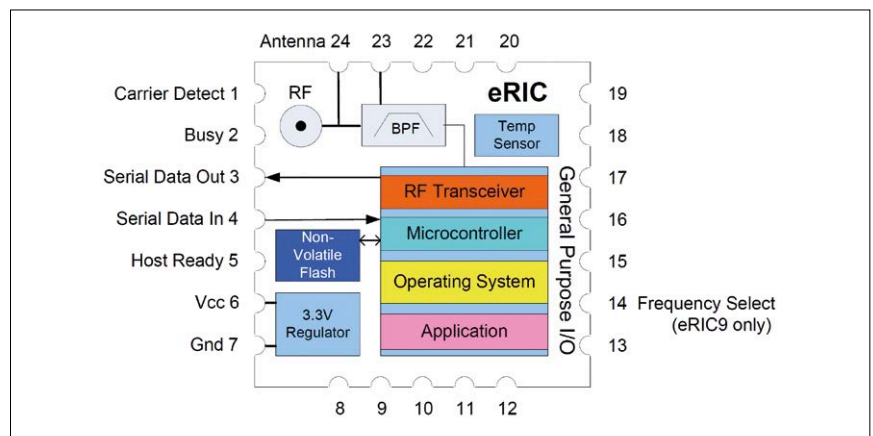


Figure 1. Incroyable, le passage d'eRIC aux rayons X révèle un synoptique (source : LPRS).

Je m'appelle eRIC et je travaille dans la radio

eRIC (*easy Radio Intelligent Controller*) est un module radio à 24 broches (**fig. 1**) sur lequel est implanté un CC430F5137 de Texas Instruments, un système sur puce (SoC) pour signaux mixtes qui combine un cœur de contrôleur MSP430 et une circuiterie RF.

Les modules eRIC émettent et reçoivent dans les bandes ISM autorisées de 433 MHz, 868 MHz ou 915 MHz. La carte Nitro est déclinée en deux versions : avec eRIC4 pour la bande de 433 MHz ; avec eRIC9 pour les bandes de 868 MHz (Europe) et 915 MHz (États-Unis). Les modules eRIC de ce projet sont configurés comme « passerelles série » standard. Lorsque des données sérielles arrivent sur la broche SDI (*Serial Data In*), elles sont

MSP430. Voilà pourquoi eRIC est une vedette adulée de la radio. Pour modifier le *firmware* et compiler un code MSP430, vous aurez besoin du logiciel *Code Composer Studio* (CCS) de Texas Instruments. Le site de LPRS propose un projet CCS d'initiation avec un code d'exemple écrit en C. L'accès aux paramètres d'eRIC permet de réduire le nombre de composants d'un projet puisque ses broches GPIO sont programmables et que les fonctions analogique-numérique sont prises en charge. LPRS fournit un utilitaire PC permettant de « flasher » un code dans eRIC.

La carte Nitro offre par ailleurs toutes les connexions nécessaires au placement d'eRIC en mode « chargeur de démarrage » pour qui souhaite modifier le micrologiciel du MSP430.

mineures (**fig. 2**). Nous avons ajouté un filtre inductif L1 à l'alimentation de l'ATmega328 (IC1) afin d'améliorer, comme recommandé par le fabricant, les performances du convertisseur analogique-numérique. La source d'horloge est différente aussi puisqu'un quartz de 8 MHz (X1) remplace le 16 MHz d'origine. Ce substitut maintient la vitesse d'horloge du μ C dans les limites spécifiées pour une alimentation de 3,3 V.

Nous avons délibérément choisi de garder le brochage aussi proche que possible de celui de la Pro Mini. Comme il y a beaucoup de circuits intégrés dotés d'une interface I²C, il était logique d'amener les broches I²C A4/A5 de l'Arduino sur le connecteur K2 en remplacement des broches I²C A2/A3 originales. La broche d'initialisation RST du module eRIC

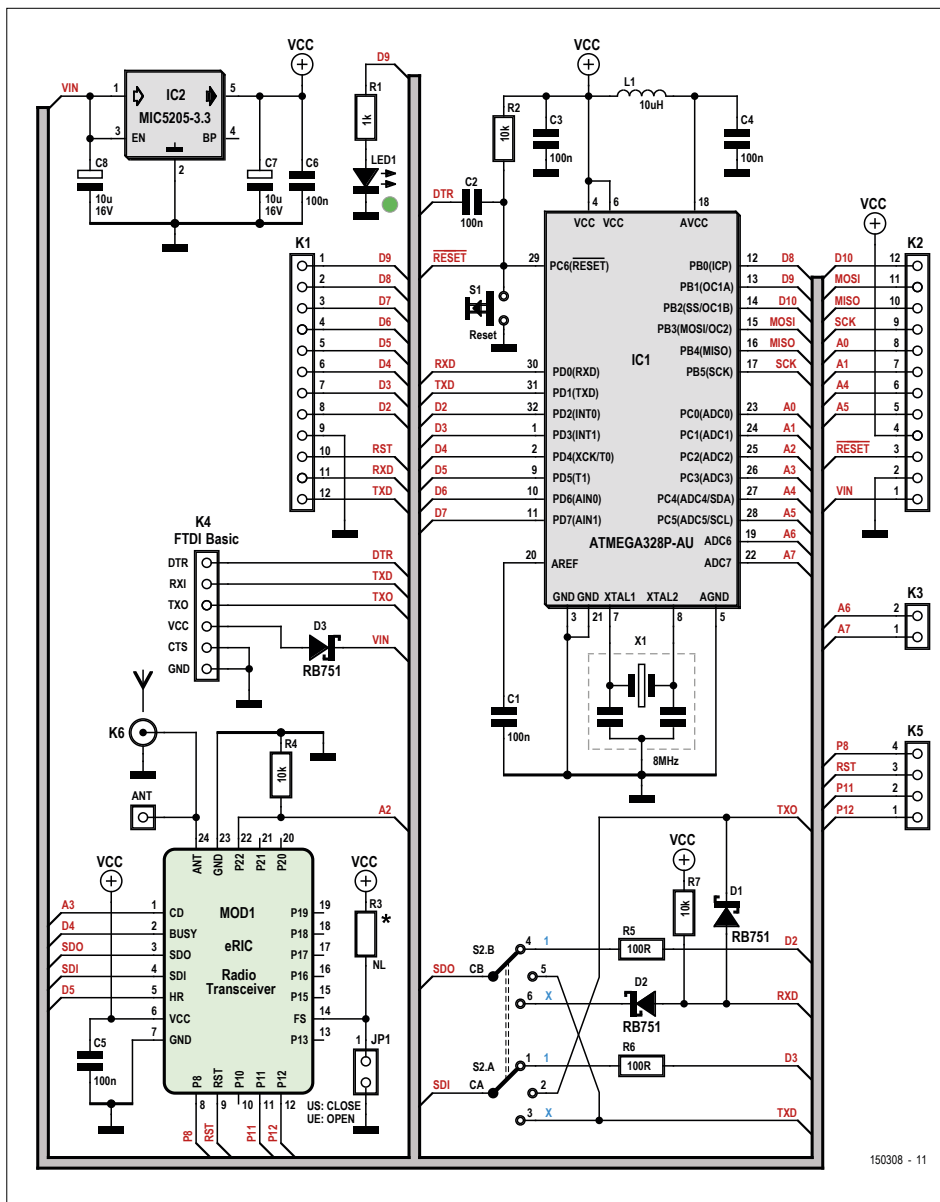


Figure 2. Schéma de la carte eRIC Nitro. eRIC est logé dans le coin inférieur gauche.

(MOD1) a elle aussi été rendue accessible sur une broche de K1 et de K5 en remplacement d'une des broches RESET originales de la Pro Mini. Avoir des broches

d'initialisation séparées pour le μC et eRIC permet de mieux contrôler ce dernier : un programme peut initialiser le module sans qu'il soit besoin d'initialiser le μC .

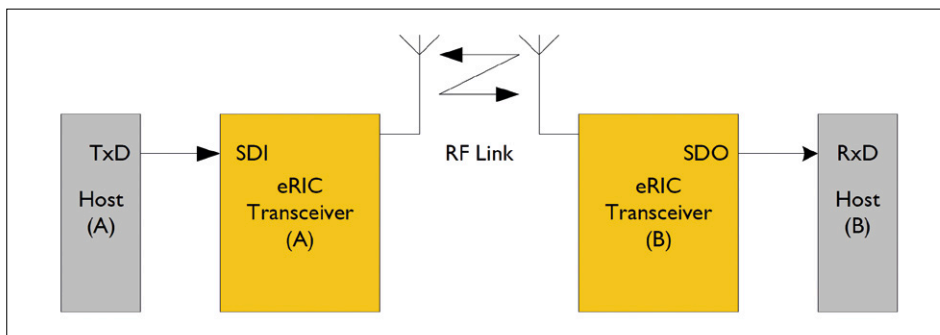


Figure 3. Synoptique de la passerelle série (source : LPRS).

Le régulateur de tension IC2 délivre une V_{CC} de 3,3 V. Son intensité de sortie est normalement de 150 mA à 3,3 V, mais elle dépend en fait directement de la tension d'entrée V_{IN} sur les connecteurs K2 et K4. Si votre projet a besoin de cette valeur de courant, référez-vous à la fiche technique du MIC5205 pour calculer le courant maximal de sortie en fonction de V_{IN} ; ce calcul est important car une tension V_{IN} élevée et une forte charge de courant sur la broche OUT d'IC2 peuvent provoquer sa surchauffe, et donc l'endommager de façon irréversible, et par la même occasion la carte eRIC Nitro.

La carte n'a pas la LED « témoin de tension » présente sur la Pro Mini. Nous l'avons retirée pour réduire la consommation de la carte – et satisfaire les exigences des environnements de faible consommation. Il est toujours pratique de disposer d'une LED accessible depuis un programme, nous en avons donc reliée une à la broche D9 de K1.

Flanqué de son cortège D1, D2, R5, R6 et R7, le commutateur S2 à trois positions permet de relier les broches SDI et SDO d'eRIC soit aux broches RXD et TXD de l'UART du μC , soit à l'UART logicielle en utilisant les broches D2 et D3 ; S2 permet aussi de contourner le μC tout en laissant les lignes SDI/SDO accessibles via les broches TXO/RXI du connecteur K4. Vous n'aurez besoin de R3 et JP1 que si vous utilisez un module eRIC9. JP1 sert à sélectionner sa fréquence (ouvert pour 868 MHz, fermé pour 951 MHz). R3 n'est pas vraiment nécessaire puisque le module comprend déjà une résistance de rappel vers le haut ; nous l'avons mise « au cas où ».

Envoi de données avec eRIC

Les données reçues sur la ligne SDI du module eRIC sont encodées avant d'être transmises via l'interface RF. Le micrologiciel d'eRIC ajoute le préambule nécessaire, la longueur du message et le CRC. De la même façon, le micrologiciel retire le même préambule, la longueur du message et le CRC des données reçues par RF, puis les transmet de façon sérielle sur la ligne SDO.

Le débit par défaut des broches SDI/SDO est de 19200 bauds, avec un débit radio (*over-the-air*) de 38400 bauds. Le format de trame pour un caractère est : un bit de départ, 8 bits de données, pas de parité, un bit d'arrêt (19200n81). Les données reçues par la broche SDI sont

automatiquement placées dans un tampon interne (250 octets max.) Le module transmet son contenu via l'interface RF (ce qui vide le tampon) lorsqu'il détecte qu'aucune donnée n'a été reçue sur la broche SDI durant une période égale à deux caractères (**fig. 3 et 4**).

L'envoi et la réception de données se font sans mise en liaison (*handshaking*) entre eRIC et le µC. On peut recevoir et émettre des données à l'aide des broches SDI et SDO en utilisant uniquement des retards logiciels (le délai de transmission de deux caractères sur la broche SDI). Si une mise en liaison matérielle est néanmoins nécessaire, on peut utiliser les signaux *Clear to Send* (CTS) et *Request to Send* (RTS) sur les broches BUSY et HOST READY (HR). La broche de sortie BUSY passe au niveau bas lorsque le module est prêt à recevoir des données sur la broche SDI. Il ne transmet aucune donnée reçue si la broche d'entrée HOST READY est mise au niveau haut par le µC. Les fonctions BUSY et HOST READY de mise en liaison sont désactivées par défaut par le micrologiciel d'eRIC. Pour les activer, il faut envoyer la chaîne de caractères (commande) ER_CMD#A51 au module. Ces deux broches sont reliées aux broches Arduino D4 et D5, disponibles et exploitables par un croquis si aucune mise en liaison matérielle n'est requise.

Les modules eRIC offrent de nombreuses fonctions intéressantes, p. ex. la possibilité de détecter si une bande de fréquences est occupée par un autre émetteur. Le module possède à cet effet une broche *Carrier Detect* (CD) qui est mise au niveau haut lorsqu'une porteuse RF est détectée dans la bande du récepteur. Sur la carte Nitro, la broche CD est reliée à la broche Arduino A3. La commande ER_CMD#T8 est également utile à cet égard puisqu'elle retourne le *Received Signal Strength Indication* (RSSI) du dernier paquet reçu, autrement dit une indication de son intensité.

La fiche technique du module eRIC décrit en détail tous les paramètres modifiables via le micrologiciel : sensibilité de réception, modes de faible consommation, débits SDI/SDO, ou encore fréquences d'émission/réception.

Connexion de l'antenne et portée

La carte eRIC Nitro a bien sûr besoin d'une antenne pour transmettre des don-

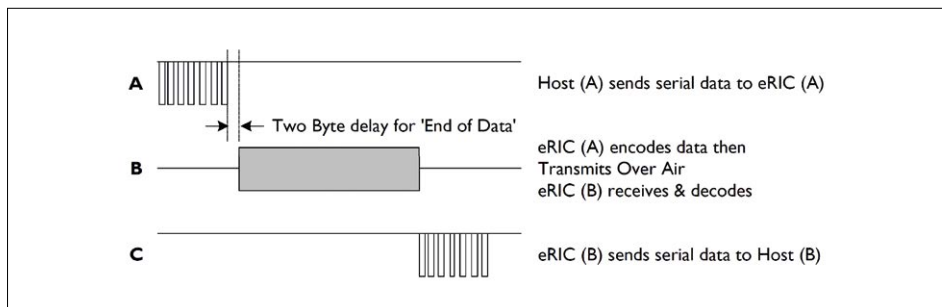


Figure 4. Chronogramme d'une émission-réception (source : LPRS).

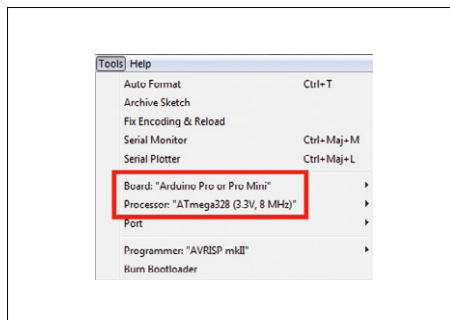


Figure 5. Sélection du type de carte dans l'EDI d'Arduino. Selon sa version, le menu de votre EDI peut être différent.

nées via l'interface RF. Trois types d'antenne sont possibles :

- une antenne à connecteur SMA branchée sur K6 ;
- une antenne externe branchée sur le connecteur UFL d'eRIC ;
- une antenne filaire quart d'onde faite maison.

Si vous utilisez une antenne filaire, soudez la longueur de fil rigide suivante sur la pastille ANT du circuit imprimé : environ 171 mm pour eRIC4, et 84 mm pour un eRIC9 de 868 MHz. Il va sans dire que dans ce cas la présence du connecteur SMA sur la carte est inutile, et que l'emplacement SMA sur le circuit imprimé peut être laissé nu. Si vous utilisez le module eRIC9 à une fréquence de 868 MHz, laissez le cavalier JP1 ouvert ; pour 915 MHz, JP1 doit être fermé.

La portée de l'émission/réception dépend de plusieurs facteurs, dont la puissance (max. 10 mW pour eRIC4), la sensibilité, la présence d'obstacles sur le chemin du signal radio, le type d'antenne, et aussi la fréquence utilisée. Les antennes filaires donnent de bons résultats, mais

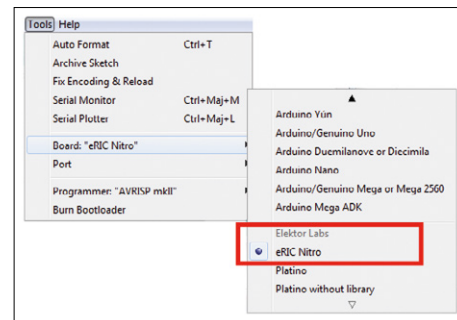


Figure 6. La sélection est encore plus simple avec le paquet Arduino du labo d'Elektor [4].

les performances des antennes SMA et UFL devraient être meilleures. La portée du module de 433 MHz devrait être supérieure à celle des modules de 868 MHz et 915 MHz puisque les pertes de propagation sont théoriquement d'autant plus faibles que la fréquence est basse. N'oubliez pas que l'utilisation des bandes ISM est réglementée en matière de puissance et de fréquence d'émission [3].

Programmation

La programmation de la carte eRIC Nitro est facilitée par une idée bonus d'Elektor : la pré-installation d'un chargeur d'amorçage Arduino dans l'ATmega328. Il s'agit d'une variante du *bootloader* Optiboot original de la carte Uno. La LED1 clignote durant le processus de programmation, ce qui est pratique. La carte peut être programmée depuis l'EDI d'Arduino (version 1.0.6 ou sup.) en sélectionnant une carte « *Arduino Pro or Pro Mini (3.3 V, 8 MHz)* » ou « *Arduino Pro or Pro Mini* » et un processeur « *ATmega328 (3.3 V, 8 MHz)* » (**fig. 5**). Vous pouvez voir la carte eRIC Nitro dans le menu *Type de carte* (**fig. 6**) en installant le paquet Arduino du lien [4] (versions 1.6.6 et sup.).

Le brochage du connecteur à six broches

K4 est identique à celui des cartes Arduino Pro Mini : on peut y relier un câble FTDI TTL-232R ou une carte de liaison FTDI Basic Breakout. La puce FTDI convertit les signaux USB en signaux série et permet de programmer l'ATmega328 depuis l'EDI d'Arduino. La fonction USB-série est également utile lorsqu'on a besoin de communiquer avec la carte eRIC Nitro depuis un PC. Utilisez toujours une puce FTDI à niveaux TTL de 3,3 V, non pas à 5 V, sous peine d'endommager la carte Nitro. Veillez aussi à bien relier les broches FTDI aux broches correspondantes de K4 : les fils vert et noir correspondent aux lettres « G » et « B » inscrites sur le circuit imprimé de la Nitro. Ne vous trompez pas, vous endommageriez la carte ! Pour programmer l'ATmega328 depuis l'EDI d'Arduino, mettez le bouton S2 en position « haute » (près du connecteur K1). Avec S2 dans cette position, les broches SDI/SDO d'eRIC sont reliées aux broches D3/D2 d'Arduino. Lorsque le bouton S2 est « en bas » (près du connecteur K2), les broches SDI/SDO d'eRIC sont reliées aux broches TXD/RXD de l'UART Arduino et interfèrent avec le processus de programmation.

Si vous souhaitez communiquer directement avec eRIC via K4 (en contournant l'ATmega328, donc) avec l'utilitaire PC *easyRadio Companion* de LPRS, mettez S2 en position « intermédiaire ». Avant cela vous devez forcer l'initialisation de l'ATmega en connectant la broche **RESET** de K1 à 0 V (p. ex. avec un cavalier).

Programmes d'exemple

Le labo d'Elektor a écrit des codes d'exemple [5] pour vous aider à démarrer. Le croquis `eRIC_bridge.ino` est à cet égard un bon point de départ. Deux cartes vous permettront de vous lancer dans la communication bilatérale, et vous pourrez ensuite vous appuyer sur le croquis `eRIC_bridge.ino` pour élaborer des projets. L'ajout d'autres programmes d'exemple est prévu.

Chez Nitro y'a tout ce qu'il faut

Le matériel est ouvert, autrement dit vous disposez de tout ce qu'il faut pour construire et programmer votre propre carte eRIC Nitro. Tous les fichiers nécessaires sont sur GitHub [5]. Les fichiers de dessin sont aux formats DesignSpark PCB et Eagle. Notez que l'assemblage de la carte n'est pas à la portée de tous les fers,

Liste des composants

Résistances

Toutes 5 %, 50 V, 0,1 W, 0603
 R5, R6 = 100 Ω
 R1 = 1 kΩ
 R2, R4, R7 = 10 kΩ
 R3 = 10 kΩ (non montée)

Condensateurs

C1-C6 = 100 nF, 0603
 C7, C8 = 10 µF 16 V, tantale

Inductance

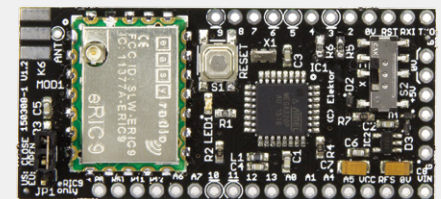
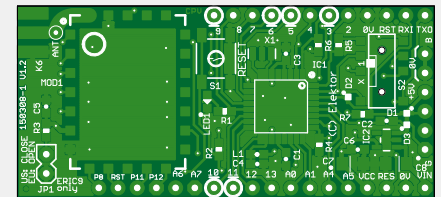
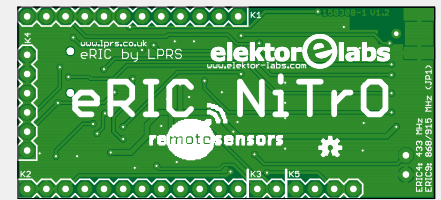
L1 = 10 µH, 0603

Semi-conducteurs

IC1 = ATmega328P-AU
 IC2 = MIC5205-3.3
 D1, D2, D3 = RB751
 LED1 = LED, verte, 0603

Divers

X1 = quartz de 8 MHz, CMS
 K1, K2 = barrette 1x12 contacts, pas de 2,54 mm
 K3 = barrette 1x2 contacts, pas de 2,54 mm
 JP1 = barrette 1x2 contacts, pas de 2,54 mm avec cavalier
 K5 = barrette 1x4 contacts, pas de 2,54 mm
 K4 = barrette 1x6 contacts, pas de 2,54 mm
 K6 = connecteur SMA encartable
 S1 = bouton à effleurement
 S2 = interrupteur à glissière DP3T



MOD1 = module radio eRIC4 ou eRIC9
 circuit imprimé (150308-1)

car certains composants, le quartz p. ex., sont plutôt difficiles à souder manuellement. Citons aussi les diodes Schottky, si petites qu'on les distingue mal sur les pastilles. Si vous n'osez pas relever le défi, l'e-choppe vous propose des cartes préassemblées [6]. Le module eRIC n'est pas monté et doit être commandé séparément puisque vous devez en choisir la version ; son soudage à la main est par contre relativement facile.

eRIC à votre service

La carte eRIC Nitro est une plateforme fantastique pour les projets Arduino qui ont besoin de liaisons sans fil. Internet regorge de capteurs, actionneurs et autres cartes de liaison Wi-Fi qui n'at-

tendent que d'être reliés à cette carte. De plus vous pouvez aussi programmer le module eRIC dans son environnement natif. Alors, qu'allez-vous faire avec eRIC ? ◀

(150308-I – version française : Hervé Moreau)

Liens

- [1] www.lprs.co.uk/easy-radio/eric/
- [2] www.lprs.co.uk/smart-eric-iot-competition/
- [3] www.ti.com/lit/an/swra048/swra048.pdf
- [4] <https://github.com/ElektorLabs/Arduino>
- [5] <https://github.com/ElektorLabs/150308-eRIC-Nitro>
- [6] www.elektormagazine.fr/150308
- [7] www.elektor-labs.com/eric-nitro



anneau de LED programmable compatible avec Arduino

Niek Laskarzewski &
Roy Aarts (stagiaires au labo d'Elektor),
Thijs Beckers (Elektor)

Les illuminations (de Noël) ont poussé tels des champignons hors du sol, mais sont maintenant rangées. C'est toujours l'hiver, les journées sont courtes et sombres, nous avons besoin de lumière. Cet anneau de LED programmable est de saison, mais il convient aussi pour d'autres occasions.

Cela fait un peu plus de 18 ans qu'Elektor avait publié un projet avec 32 LED, pilotées par un seul microcontrôleur. Pour être précis, il s'agit de l'article « Rutile, boule de Noël scintillante à microcontrôleur », publié dans le numéro de décembre 1997. La **figure 1** montre le schéma très simple de ce circuit, bâti autour d'un micro-

contrôleur 87C51 et qui a été la source d'inspiration pour l'anneau de LED programmable décrit ici.

Compatibilité

Contrairement au microcontrôleur du schéma inspirateur, celui de cet anneau de LED programmable est très facile à programmer. Il s'agit d'un ATmega328P, le même que celui qui est utilisé dans la très populaire carte Arduino Uno, et dans notre propre module T-Board 28. L'avantage est que l'on peut programmer le contrôleur avec un Arduino Uno, sans avoir recours à un programmeur spécifique.

Circuit

Le 87C51 utilisé originellement avait l'avantage de pouvoir piloter directement les 32 LED, une par broche. L'ATmega328P n'a « que » 28 broches et n'offre pas cette possibilité. Nous devons donc trouver une astuce pour piloter les LED.

Pour ce circuit, nous avons placé les LED dans une matrice 4x8 (**figure 2**). Ceci nous permet de piloter les 32 LED avec douze lignes de port du microcontrôleur. Bien entendu, nous aurions pu utiliser un registre à décalage 74HC595, mais le tracé du circuit imprimé aurait été plus compliqué. Surtout que nous ne voulions

pas dépasser un diamètre de 7 cm pour cet anneau de LED. Pour l'alimentation du circuit, nous avons pensé à deux piles bouton de type CR2032, pour ne pas s'encombrer d'une alimentation secteur avec son câble, et – indépendamment de la présence d'un bouton marche-arrêt – pour permettre de suspendre n'importe où cet objet de décoration. Nous devons donc faire attention à la consommation, et à cet effet les résistances de limitation de courant R1 à R4 ont une valeur plus élevée. D1 prévient la destruction du microcontrôleur si les piles sont malencontreusement placées à l'envers. C3 découple l'alimentation. Le quartz de 16 MHz et ses condensateurs d'adaptation C1 et C2 déterminent la vitesse d'horloge. Lorsque l'on utilise le micrologiciel (*firmware*) originel, on peut placer le microcontrôleur en mode veille et le rallumer avec le bouton-poussoir S1. S2 permet de sélectionner les différents motifs lumineux. Avant de penser au dessin du circuit imprimé, il fallait valider le schéma du circuit, ce qui fut fait avec un prototype (**figure 3**).

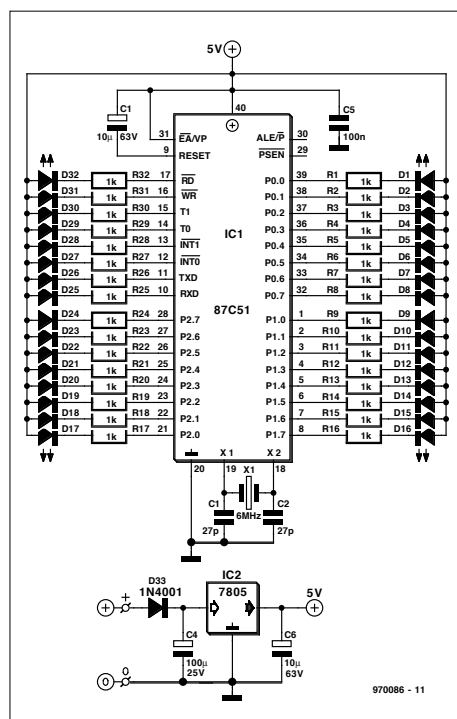
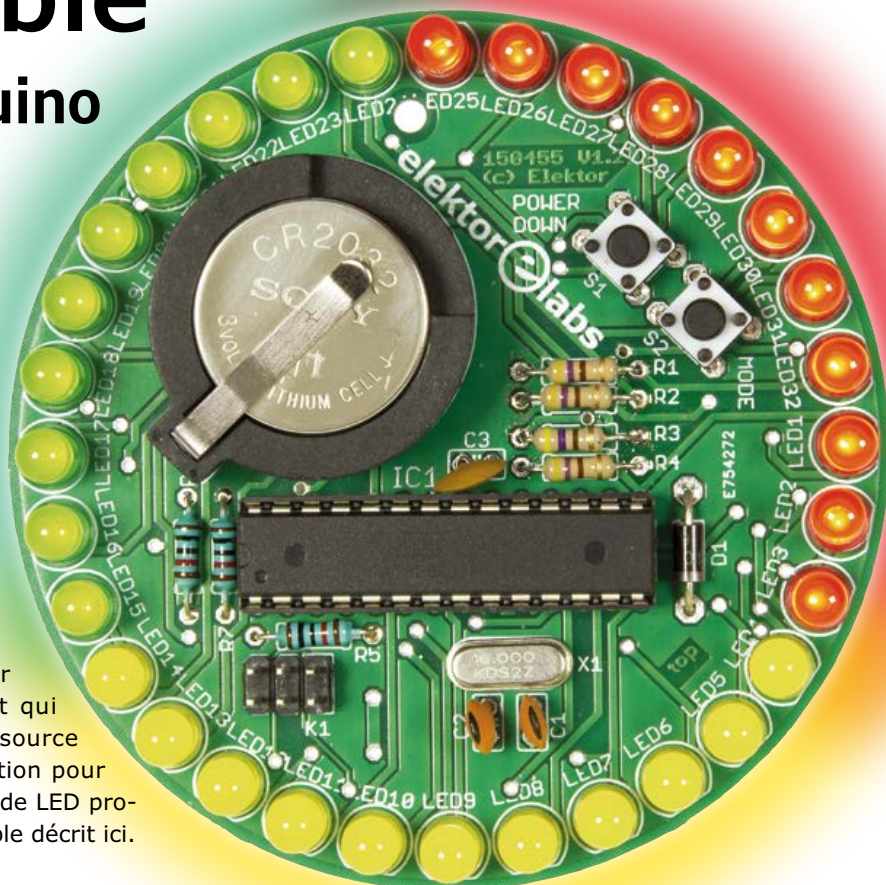


Figure 1. Le schéma du circuit « Rutile, boule de Noël scintillante à microcontrôleur » de 1997.



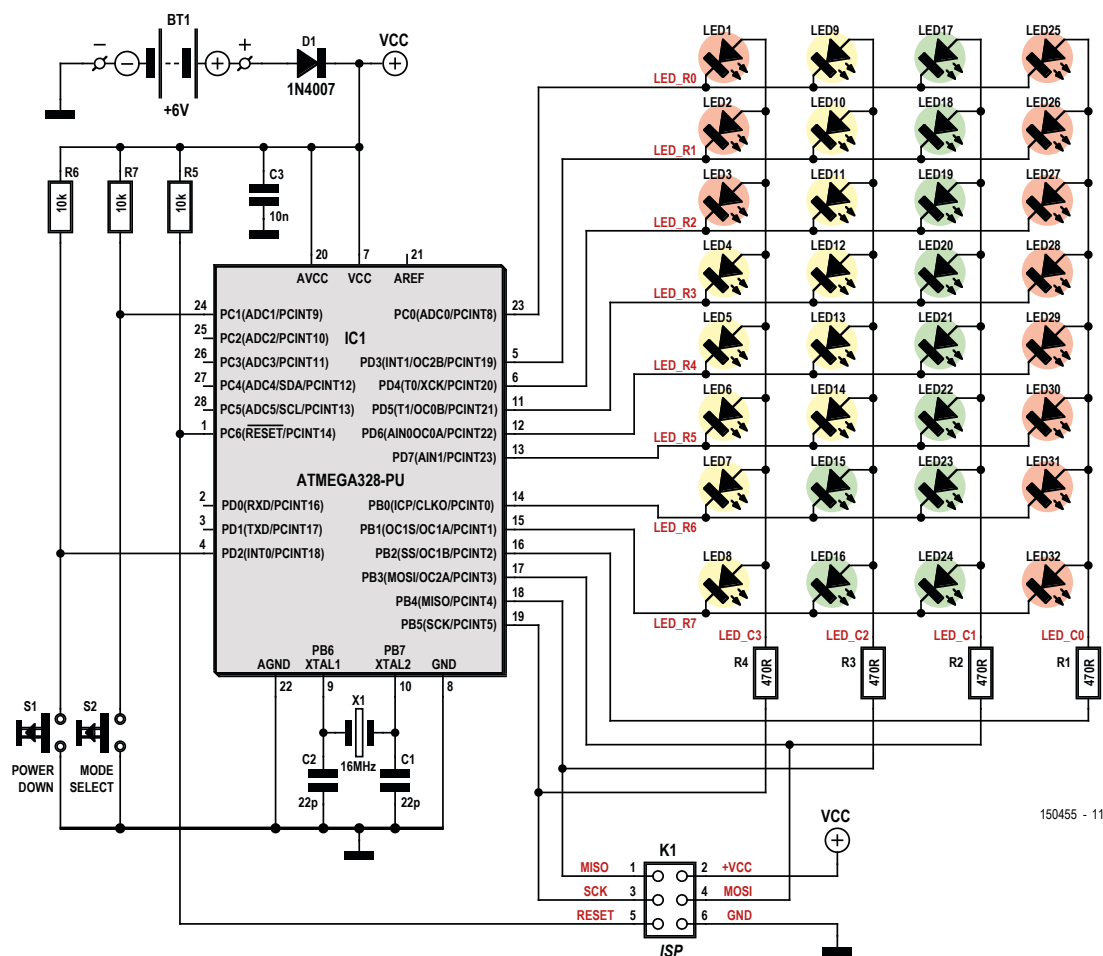


Figure 2. Le circuit est bâti autour d'un ATmega328P. Celui-ci pilote une matrice de LED de façon intelligente.

Logiciel

Un logiciel simple a été écrit pour tester la matrice et la luminosité des LED. Pour piloter autant de LED, une matrice est inévitable ; l'inconvénient est que chaque LED dispose en moyenne de moins de

courant, et éclaire donc moins. L'ATmega328P supporte un maximum de 40 mA sur chaque broche. De ce fait, et considérant l'alimentation par piles qui impose une consommation relativement faible, nous avons choisi d'alimenter au maximum quatre LED à la fois. Il s'ensuit

que nous devons limiter le courant dans chaque LED à 10 mA.

Nous aurions pu opter pour une alimentation simultanée de toutes les LED. Dans ce cas, un courant de 40 mA sur les broches PB2 à PB5 signifiait 5 mA par LED. Avec les LED à haut rendement lumineux actuelles, cela aurait encore constitué une solution satisfaisante. Le logiciel peut toujours être adapté en ce sens, le circuit est conçu de manière à le permettre. Cependant le prototype nous a appris qu'il y a encore beaucoup de LED sur le marché qui demandent plus de courant. Avec 10 mA par LED, la marge est nettement plus large et permet un réglage de la luminosité.

Nous devons par ailleurs mentionner le fait que les résistances R1 à R4 limitent encore un peu plus le courant dans les LED. Dans le cas d'une LED rouge avec une tension de seuil V_f de 1,8 V et une tension d'alimentation de 6 V, le courant maximal est de 8,94 mA $((6-1,8)/470)$. Avec une tension de seuil de 3,3 V –

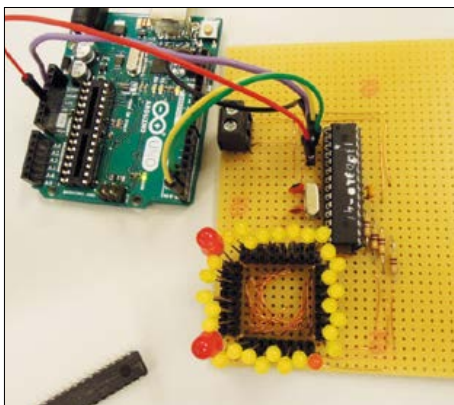


Figure 3. Avant de dessiner un circuit imprimé, le circuit est testé sur une platine à trous.

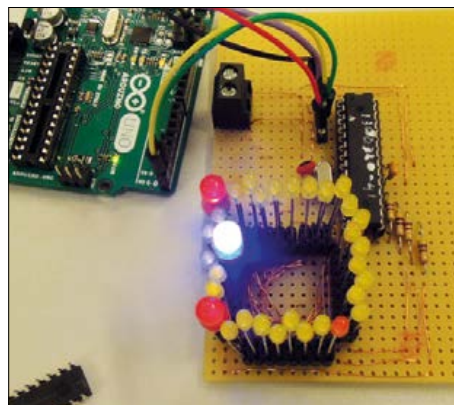


Figure 4. Une LED récente à haut rendement lumineux se contente de beaucoup moins de courant pour éclairer.

Liste des composants

Résistances :

R1-R4 = 470 Ω
R5, R6, R7 = 10 k Ω

Condensateurs :

C1, C2 = 22 pF, 50 V, pas de 2,54 mm
C3 = 10 nF, 50 V, pas de 2,54 mm

Semi-conducteurs :

D1 = 1N4007
IC1 = ATmega328P, programmé (150455-41)
LED 1 à 32 = LED 5 mm à haut rendement lumineux, pas de 2,54 mm

Divers :

K1 = embase verticale 3 x 2 broches, pas de 2,54 mm
S1, S2 = bouton poussoir 24 V, 50 mA, 6x6 mm
X1 = quartz 16 MHz
Support pour deux piles bouton CR2032
Support pour IC1, DIP-28, petit modèle

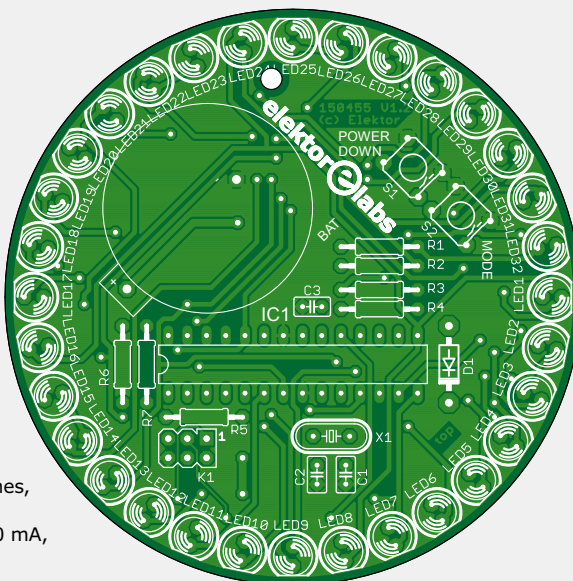


Figure 5. Les LED trouvent leur place au bord du circuit imprimé circulaire, tous les autres composants à l'intérieur de l'anneau.

qui n'est pas inhabituelle pour les LED blanches ou bleues – et une tension d'alimentation de 5 V, le courant n'est plus que de 3,62 mA $((5-3,3)/470)$. Nous voyons à la **figure 4** que c'est bien assez pour les LED à haut rendement lumineux actuelles.

Circuit imprimé

Comme le test du prototype s'est bien déroulé, nous avons reçu le feu vert pour dessiner le circuit imprimé (**figure 5**). Pour 32 LED de 5 mm, il faut un circuit imprimé de 76,2 mm de diamètre, un chouïa de plus que notre objectif de 7 cm.

Les autres composants (à fils ou broches) trouvent tous une place à l'intérieur de l'anneau de LED. Il y a même assez de place pour un connecteur ISP à six broches, qui permet la programmation du microcontrôleur via un programmeur doté d'une interface ISP, sans passer par une carte Arduino Uno.

La construction est d'une simplicité enfantine, du fait de l'utilisation de composants à fils ou broches. Il convient de commencer par les composants au profil le plus bas (les résistances et la diode) et de souder ensuite en fonction de la « hauteur ». On peut ainsi maintenir facilement les composants en place lorsque l'on retourne le circuit imprimé pour la soudure. La **figure 6** montre le circuit imprimé avec tous ses composants.

Les programmes Arduino (*sketches*) peuvent être téléchargés en [1]. Afin de pouvoir programmer ces *sketches* à partir de l'environnement de développement gratuit d'Arduino [2], l'ATmega328P doit être préprogrammé avec un chargeur d'amorçage (*bootloader*) Arduino. Chaque ATmega328P d'une carte Arduino Uno en dispose, mais vous pouvez aussi commander un microcontrôleur de rechange sur www.elektor.fr [3]. Si vous ne disposez pas d'Arduino Uno ou d'un programmeur, vous pouvez commander un ATmega328P programmé sur www.elektor.fr [4]. Et pour vraiment vous faciliter la tâche, vous y trouverez également un kit complet, avec bien entendu le microcontrôleur programmé [4].

Si les composants ont été montés correctement et que le microcontrôleur a été programmé avec le bon micrologiciel, le circuit devrait pouvoir fonctionner dès placement des piles. Et lorsque vous en aurez assez des animations lumineuses préprogrammées, vous pourrez toujours créer vos propres motifs via l'environnement de développement d'Arduino. ◀

(150455 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/150455
- [2] www.arduino.cc/software
- [3] www.elektor.fr, rechercher la référence 130320-41
- [4] www.elektor.fr, rechercher la référence 150455

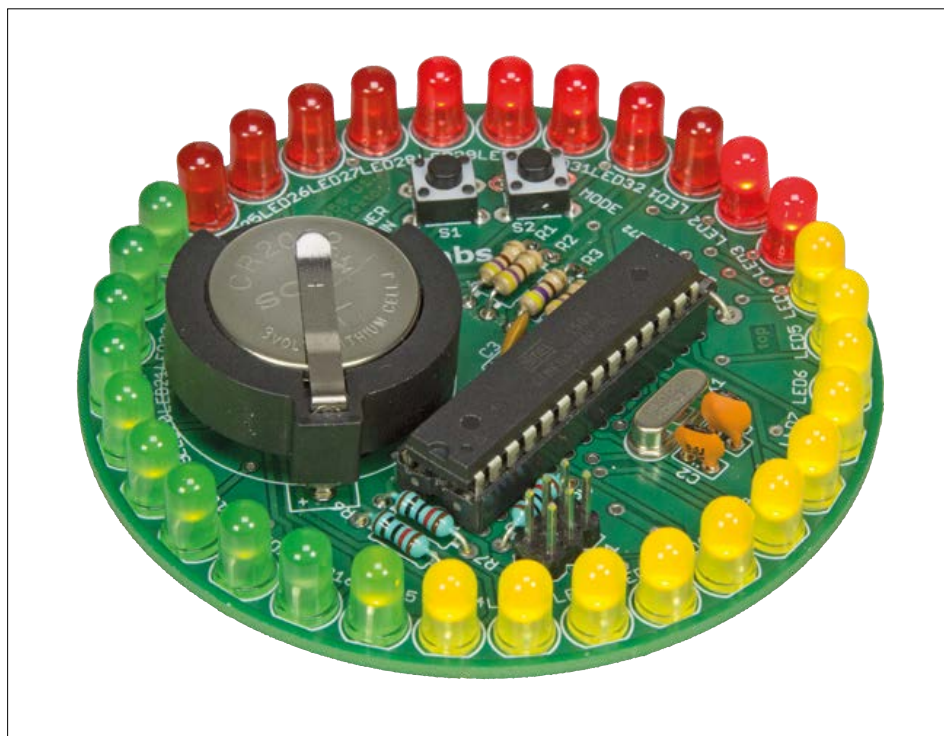


Figure 6. Pour une atmosphère de carnaval, on choisit des LED aux couleurs assorties.

commande pour moteurs à courant continu

impulsions de rotation sous contrôle !

Martin Weiß



Ce système de commande permet de régler la vitesse et le sens de rotation d'un moteur à courant continu (CC) de 12 V. C'est tout ? Non, les options de commande proposées sont nombreuses. Il est possible de fixer la vitesse de rotation manuellement avec un potentiomètre, avec une tension continue de 0 à 5 V/10 V, voire numériquement par I²C.

Au Département de Mécanique des Fluides et d'Aérodynamique de l'UT de Darmstadt, nous étions à la recherche d'un circuit qui permette d'étalonner des capteurs de débit très sensibles, sous LabView de National Instruments (NI). Le dispositif d'étalonnage utilisé pour cela est entraîné par un motoréducteur 12 V. LabView fixe, avec des signaux numériques, le sens de rotation et débloque

le moteur, dont la vitesse de rotation est pilotée par un signal analogique de 0 à 5 V (ou 0 à 10 V).

NI propose des modules USB qui donnent en sortie des signaux analogiques de 0 à 5 V (à un prix raisonnable) et de 0 à 10 V (moins abordables malheureusement). Même si un signal 0/10 V permet de régler plus finement le régime de vitesse d'un moteur CC, cela fonctionne aussi avec un signal 0/5 V – la précision est moindre, mais c'est moins cher. Dès la conception du circuit, nous avons tenu compte des possibilités des produits NI. Plus nous réfléchissions au projet, plus nous nous disions qu'un tel circuit de commande pourrait certainement être utile à d'autres. En effet, on peut grâce à des logiciels modernes tels que LabView doter nombre de systèmes motorisés et de machines courantes, d'une intelligence qui permet, en quelques étapes simples, de retrouver avec un maximum de précision des positions récurrentes.

Nous nous sommes donc tournés vers l'équipe d'Elektor pour développer un circuit ouvert que d'autres pourraient utiliser. Première exigence : le circuit doit

pouvoir se contenter d'une (unique) source de tension de +12 V. Secundo : le circuit doit être équipé d'une interface série I²C, de façon à pouvoir utiliser un microcontrôleur pour la commande. Tertio : le circuit doit disposer d'une possibilité de commande manuelle par potentiomètre et commutateur pour une mise en service facile sans systèmes en amont comme LabVIEW ou un microcontrôleur.

Dans l'ensemble...

Coup d'œil au synoptique de la **figure 1**. Les trois blocs au centre sont communs à tous les types de commande. La commande du régime fait appel au modulateur de largeur d'impulsion (MLI = PWM) SG3524D de Texas Instruments [1]. Aujourd'hui, la commande de la vitesse de rotation des moteurs CC n'est plus effectuée avec des niveaux de tension, mais avec le rapport cyclique d'un signal modulé en largeur d'impulsion. Le SG3524D remplit cette fonction : à partir du signal sur l'entrée analogique, il produit le signal de sortie MLI requis. Le potentiomètre P1 permet de régler entre 18 et 56 kHz la fréquence MLI optimale

Caractéristiques

(Tension de référence = 4,93 V)

- Tension d'alimentation : 12 V
- Courant de sortie maximal : 2 A
- Courant d'alimentation minimal : 11,2 mA
- Plage de MLI (PWM) : 0 à 100 %
- Tension de commande externe :
 - 0,16 V (MLI 0 %, plage 0/5 V)
 - 4,88 V (MLI 100 %, plage 0/5 V)
 - 0,27 V (MLI 0 %, plage 0/10 V)
 - 9,7 V (MLI 100 %, plage 0/10 V)
- Impédance d'entrée (broche 2 de K2) :
 - 6,43 kΩ (plage 0/5 V)
 - 15,36 kΩ (plage 0/10 V)

de commande du moteur. De plus, le SG3524D nous réserve une surprise : à partir de sa tension de service de 12 V, il délivre une tension de référence de +5 V qui supporte des charges de 50 mA ; nous pouvons l'utiliser pour alimenter tous les composants de la carte compatibles avec cette tension.

Pour l'étage de sortie, nous avons réalisé un pont en H pour moteurs à balais afin de pouvoir commuter ou régler facilement le sens de rotation du moteur. Nous utilisons un produit du fabricant ROHM, le BD6222 [2], dont les spécifications, tension d'alimentation jusqu'à 18 V et courant de sortie jusqu'à 2 A suffisent à bien des types de moteurs. La plage de fréquences, 20 à 100 kHz, convient à notre signal MLI (il faut éviter les fréquences de 18 à 20 kHz). Le pilote de pont comporte une protection contre les sous-tensions (UVLO) et surtensions (OVP), un circuit d'arrêt en cas de surchauffe (TSD) et une protection contre les surintensités.

Un triple commutateur analogique 74HC4053 vient s'intercaler entre le modulateur MLI et l'étage de puissance. Selon l'état de l'entrée $\overline{F/R}$, le 74HC4053 change le signal MLI sur les entrées du circuit de commande. Avec un 0 logique sur l'entrée $\overline{F/R}$, le moteur tourne dans le sens normal (avant), avec un 1 logique, dans le sens inverse (arrière). Mais le 74HC4053 peut encore plus : en l'absence de validation sur l'entrée \overline{EN} , les deux sorties de commutation sont à haute impédance (et deux résistances de pola-

À propos de l'auteur : Martin Weiß

Courriel : martinweiss-elektronik@gmx.de

Technicien diplômé d'État, je pratique la mécanique des fluides et l'aérodynamique à l'Université Technique (UT) de Darmstadt. Je m'occupe principalement de la connectivité matérielle des divers systèmes et composants relatifs aux technologies de mesure et de contrôle des bancs d'essais des divers départements. Je développe des solutions individuelles (électroniques) adaptées aux spécificités de l'application.

risation haute forcent les entrées du circuit de commande au niveau haut). Le circuit de commande reconnaît cet état et assure un freinage rapide du moteur. Passons au bloc en bas à gauche. Il s'agit du convertisseur numérique/analogique (CN/A) AD5301 d'Analog Devices [3], qui convertit les données I²C en une tension analogique sise dans la plage de 0 à 5 V. Il a une résolution de signal de 8 bits ; on pourra, selon la précision requise et le μ C de commande, utiliser la version à 10 bits, AD5311, ou 12 bits, AD5321, compatibles broche à broche toutes deux. Un cavalier (JP1) sert à déterminer si la tension analogique appliquée au modulateur MLI vient de la borne K2 ou du CN/A. Le synoptique montre également des options de connexion pour le signal $\overline{F/R}$ (avant/arrière) et de validation \overline{EN} (K1A), le signal I²C (K1B), la tension analogique du régime de vitesse (K2), l'alimentation 12 V (K3) et le moteur (K4). À gauche on voit les quatre options de commande : par I²C, tension analogique 0/5 V (voire 0/10 V) et manuellement par potentiomètre et commutateurs.

... et en détail

Le circuit de la **figure 2** est à peine plus compliqué que le synoptique, mais certains détails sont « critiques ». On pourrait imaginer que pour obtenir les deux tensions de commande 0/5 V et 0/10 V, un simple diviseur de tension à deux résistances pris à l'entrée du modulateur MLI SG3542D suffit. Impossible : la fourchette de tension de commande autorisée à la broche 2 va de 0,74 à 3,58 V environ. Il faut donc ajouter un offset, si le signal MLI doit vraiment pouvoir varier entre 0 et 100 %, cet offset est bien sûr différent pour les deux plages de tension de commande. Au lieu d'utiliser deux cavaliers (encombrants), nous avons opté pour un cavalier à souder « à 3 voies », JP2, sur la carte ; il reste ouvert pour 0/10 V et est fermé par un plot de soudure pour 0/5 V, ce qui court-circuite les deux résistances R2 et R4 et les met ainsi hors-jeu. La mise en place du (véritable) cavalier JP1 permet de choisir l'un des quatre modes de commande du **tableau 1**.

La seconde astuce du circuit concerne la commutation du signal MLI, soit sur la

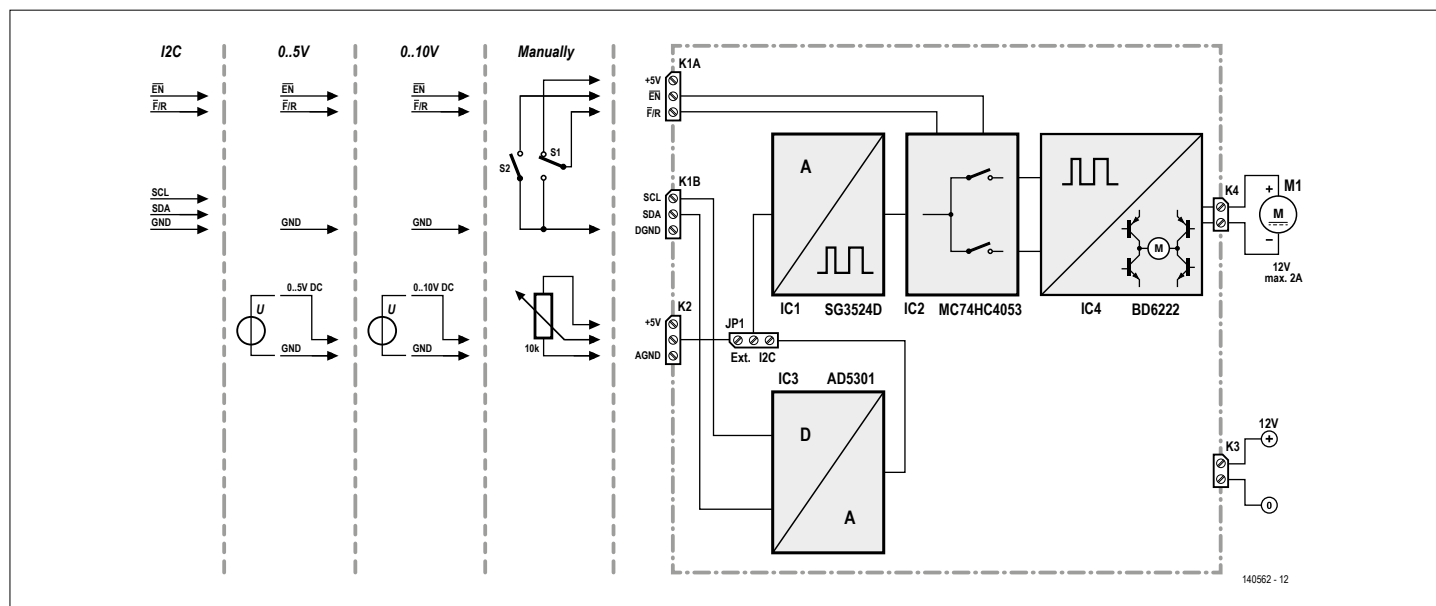


Figure 1. Le synoptique éloquent de la commande de moteur pourvu de toutes les options de commande.

broche FIN soit sur la broche RIN du circuit de commande du moteur.

Un signal de validation \overline{EN} empêche le moteur de tourner en continu dans un sens ou dans l'autre.

Si \overline{EN} est un 1 logique, les sorties du commutateur analogique sont à haute impédance et les entrées FIN et RIN du circuit de commande du moteur sont forcées à +5 V par les résistances R11 et R12 : le pont en H commute en mode freinage. En mode freinage (*brake*), on a 0 V à la sortie du pont en H pour moteur CC et ce dernier s'arrête immédiatement. Lorsque $\overline{EN} = 0$, le commutateur analogique commute, en fonction du réglage de l'entrée $\overline{F/R}$, en mode avant ou arrière et la commande du régime du moteur se fait par la tension analogique. Si l'entrée \overline{EN} sur K1A est ouverte, la résistance de polarisation haute R10 empêche un démarrage intempestif du moteur. Si l'on souhaite une mise en vitesse progressive du moteur, celle-ci devra être commandée par le système en amont. Les résistances R9 et R10 (et les connexions in-

Tableau 1. Paramétrage des cavaliers

mode	JP1	JP2
I ² C	I ² C	en place
0/5 V	ext.	en place
0/10 V	ext.	ouvert
man.	ext.	en place

utilisées du commutateur analogique) empêchent des connexions ouvertes au cas où l'on ne connecterait rien à K1A.

En bas à gauche, on trouve quelques condensateurs de découplage pour l'alimentation régulée de 12 V, ainsi que la LED de signalisation, LED1. Les deux condensateurs électrochimiques C9 et C10 acceptent sans broncher les courants de découplage élevés du circuit de commande du pont en H. Les composants de l'entrée I LIM reprennent un câblage standard de l'amplificateur de limitation de courant interne du SG3524D.

L'interface I²C

Les deux lignes I²C SDA et SCL comportent des résistances de polarisation haute, R13 et R14, que l'on peut activer avec les cavaliers JP3 et JP4. Cela n'est nécessaire que si le bus I²C du système

de commande ne comporte pas de telles résistances. Les deux cavaliers JP5 et JP6 permettent de choisir l'adresse du CN/A entre 0001100 et 0001111. On peut ainsi commander indépendamment les uns des autres quatre moteurs CC sur un bus I²C. Dès que le circuit est « sous tension », le CN/A est activé lui aussi. Bien que sa consommation ne soit que de 150 μ A, il est possible, par le biais de trois modes de mise en sommeil, de l'abaisser jusqu'à 200 nA. Une instruction sérielle permet de choisir, pour la sortie de tension mise hors circuit, une résistance de sortie définie : 1 k Ω , 100 k Ω ou *tri-state* (haute impédance). Dans le cas d'applications ayant trait à la sécurité, lorsqu'aucune tension de commande n'est appliquée sur l'entrée du SG3524 pour la modulation MLI, il est recommandé d'utiliser la variante à résistance de sortie de 1 k Ω forcée à la masse. Si vous souhaitez utiliser cette configuration du côté du logiciel, le cavalier \overline{PD} JP7 doit être enfiché en position 0, sinon le mettre en position 1.

La tension de sortie du CN/A est pratiquement égale à la tension d'alimentation. Pour une tension de référence du modulateur MLI de 4,934 V, la tension de sortie maximale de l'AD5301 est de 4,898 V, soit à peine 36 mV de moins. Sur un premier

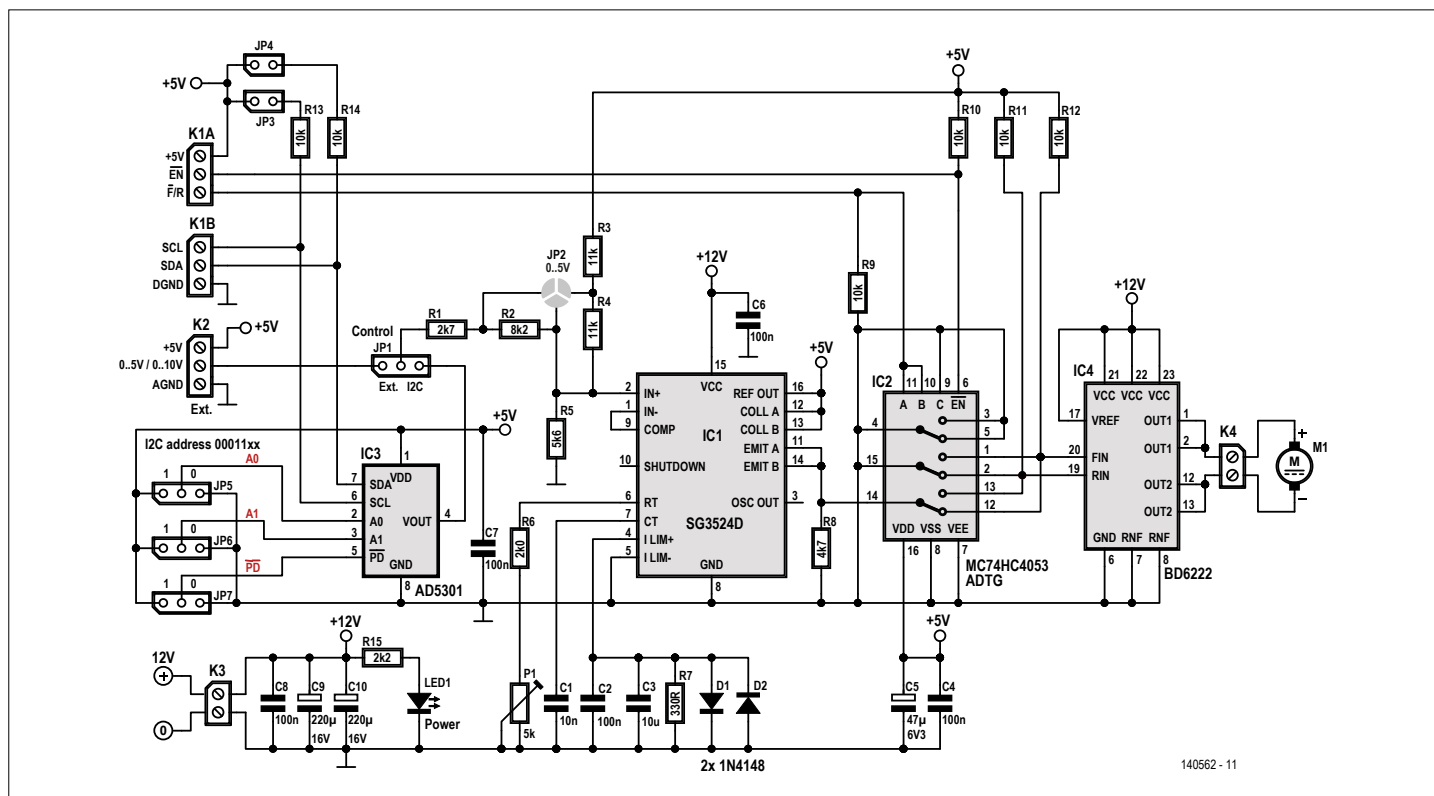


Figure 2. Le circuit de la commande de moteur.

prototype, nous avons mesuré 9,28 mV comme tension minimale.

Réalisation et mise en service

Pour faire que le circuit imprimé (disponible dans l'e-choppe d'Elektor [4]) soit le plus compact possible, nous utilisons essentiellement des composants CMS (notre excuse : la plupart des circuits intégrés n'existent d'ailleurs que sous cette forme naine). Seuls les cinq borniers encartables et les six cavaliers sont des composants traversants ; ils occupent la majeure partie de ce circuit imprimé de 56,5 x 50,2 mm². Le cavalier JP1 peut être remplacé par un pont de câblage si l'on ne prévoit pas de changer le mode de commande et on pourra omettre les cavaliers restants si l'on n'utilise pas l'I²C. En dépit de tous les CMS, la réalisation du circuit ne devrait pas poser de problème à un électronicien expérimenté, armé de la sérigraphie de l'implantation des composants de la **figure 3** et de la liste des composants. Réalisation terminée et après examen visuel, on pourra tester le circuit sans programmation complexe et/ou source d'alimentation supplémentaire pour peu que l'on connecte, conformément à la configuration de commande manuelle sur la figure 1, un potentiomètre (10 à 100 kΩ) et une paire de commutateurs.

Remarque importante : seul le module MLI fournit la tension de +5 V ! Les bornes +5 V sur K1A et K2 doivent être utilisées comme SORTIES uniquement. Ne **jamais (!)** brancher la tension de service active, provenant par ex. d'un circuit à µC, aux broches +5 V. À l'inverse : si un µC se contente de quelques milliampères, il pourra même être alimenté depuis le circuit de commande.

Le réglage du circuit se résume à celui de la fréquence de la modulation MLI. Le potentiomètre ajustable P1 permet de régler une fréquence (mesurée) entre 16 et 48 kHz. On pourra déterminer la fréquence optimale sur la base des caractéristiques du moteur, ou – si l'on n'a pas sa fiche technique – la déterminer par essais. Moteur toussotant = fréquence est trop faible ; s'il chauffe (à moins d'avoir des oreilles de chauve-souris, il sera difficile de détecter un bourdonnement ou un sifflement à ces fréquences), la fréquence choisie est trop élevée. La fréquence MLI doit en tous cas être supérieure à 20 kHz, car sinon le pont en H se met en grève. En règle générale, un potentiomètre en

Liste des composants

Résistances

(tous CMS 0805, 150 V 5 %, 0,1 W)
 R1 = 2,7 kΩ
 R2 = 8,2 kΩ
 R3, R4 = 11 kΩ
 R5 = 5,6 kΩ
 R6 = 2 kΩ
 R7 = 330 Ω
 R8 = 4,7 kΩ
 R9 à R14 = 10 kΩ
 R15 = 2,2 kΩ
 P1 = ajustable 5 kΩ CMS
 (Bourns 3314G-502E)

Condensateurs

C1 = 10 n, 50 V, X7R, CMS 0805
 C2, C4, C6, C7, C8 = 100 n, 50 V, X7R, CMS 0805
 C3 = 10 µ, 16 V, X5R, CMS 0805
 C5 = 47 µ, 6,3 V, 0,5 Ω, tantale, CMS boîtier B
 C9, C10 = 220 µ, 16 V, 0,1 Ω, tantale, CMS boîtier E

Semi-conducteurs

D1, D2 = TS4148RY, CMS 0805 (Taiwan Semiconductor)
 LED1 = LED, verte
 IC1 = SG3524D, CMS SOIC-16 (Texas Instruments)
 IC2 = MC74HC4053ADTG, CMS TSSOP-16 (ON Semiconductor)
 IC3 = AD5301BRMZ, CMS MSOP-8, uniquement si implémentation I²C (Analog Devices)
 IC4 = BD6222FP-E2, SMD HSOP-25 (ROHM)

Divers

K1A, K1B, K2 = bornier encartable à 3 contacts, RM 5
 K3, K4 = bornier encartable à 2 contacts, RM 5
 JP1, JP5, P6, JP7 = embase 1 x 3 contacts,

verticale, RM 2,5

JP3, JP4 = embase 1 x 2 contacts, verticale, RM 2,5

JP1, JP3 à JP7 = cavalier, RM 2,5

Circuit imprimé (140562-1)

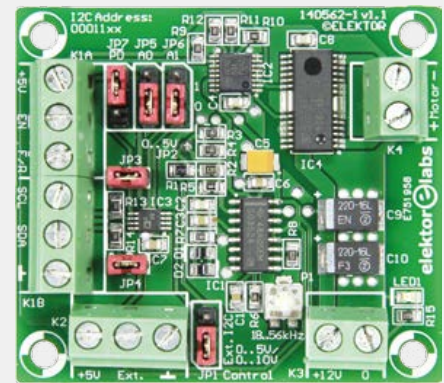
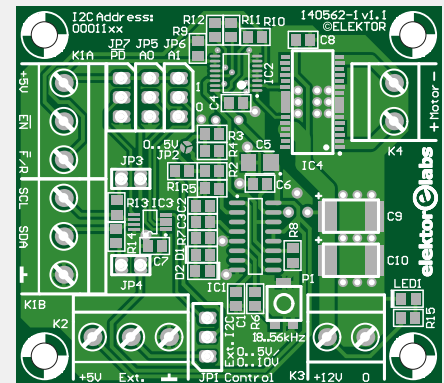


Figure 3. Mini-circuit imprimé de la commande de moteur : vierge et dotée de ses composants.

position médiane est une bonne base. Au labo d'Elektor, nous avons mesuré 11,2 mA en consommation minimale du circuit, lorsque rien n'est branché ni sur K1, ni sur la broche 1 de K2 et que la broche 2 de K2 et le cavalier JP7 sont au niveau bas. Si l'on enlève le cavalier JP1, la tension d'entrée de IC1 (broche 2) devrait être de 1,68 V (si plage 0/5 V) ou 1 V (si plage 0/10 V). Les deux tensions se situent dans la plage de commande du SG3524D, la consommation de courant est ainsi plus élevée, atteignant 14 à 15 mA.

On pourra tester la commande I²C à l'aide, par exemple, d'une carte de liaison (**Break-out-Board**) FT311D [5]. Sur le pont JP1, il suffit de fermer CFG2 pour mettre le FT311D en mode I²C. La démo I²C de FTDI est simple, mais très utile : régler l'adresse de périphérique de l'AD5301 sur 0001100 (JP5 et JP6 à 0), saisir les trois champs de données *device*

address (indiquer l'adresse de périphérique de l'AD5301), *address* (partie MSB des données, une adresse de registre) et *write bytes* (partie LSB des données) ; la tension correspondante apparaît déjà à la sortie du circuit intégré. Si on saisit 0C, 0F et F0 par ex., le CN/A est réglé à sa tension de sortie maximale. ◀

(140562 – version française : Guy Raedersdorf)

Liens

- [1] www.ti.com/product/sg3524/description
- [2] www.rohm.com/web/global/products/-/product/BD6222FP
- [3] www.analog.com/en/products/digital-to-analog-converters/da-converters/ad5301.html
- [4] www.elektormagazine.fr/140562
- [5] www.elektormagazine.fr/130516

circuit imprimé pour alimentation universelle avec trois tensions de sortie au choix

Ton Giesberts et Harry Baggen (labo d'Elektor)

Pour le générateur de fonctions par DDS du numéro de novembre, nous avons conçu une alimentation séparée qui fournissait trois tensions différentes. Le circuit imprimé de l'alimentation est dessiné de telle manière qu'elle peut facilement délivrer d'autres tensions. Nous décrivons ici quelques configurations possibles.

Beaucoup de circuits électroniques actuels ne se contentent plus d'une seule alimentation, mais en ont besoin de plusieurs. Par exemple, une alimentation symétrique pour la partie analogique et une alimentation séparée de 3,3 ou 5 V pour la partie numérique. On peut bien entendu mettre circuit et alimentation sur un seul circuit imprimé, mais dans bien des cas c'est très pratique d'avoir l'alimentation – et pourquoi pas son transformateur aussi – sur un circuit imprimé séparé.

Le circuit imprimé de l'alimentation de notre générateur de fonctions par DDS [1] est conçu de telle manière qu'il peut être utilisé dans d'autres projets. La **figure 1** reprend le schéma de cette alimentation. Pour cette application, les composants avaient été dimensionnés pour fournir des tensions de +15 V, -15 V et 3,3 V. Cependant, on peut facilement modifier chaque tension de sortie. Les régulateurs utilisés, des LM317T et LM337T [2], peuvent fournir une tension de 1,5 à 37 V (en valeur absolue) et un courant maximal de 1,5 A ;

attention, ces régulateurs existent aussi en version -M, qui ne peuvent débiter que 0,5 A. Les capacités en puissance peuvent être modifiées en montant sur le circuit imprimé un autre modèle de transformateur de la firme Block. Les transformateurs vendus par Block offrent diverses puissances et tensions de sortie, les dimensions restant identiques ; pour les plus fortes puissances, seule la hau-

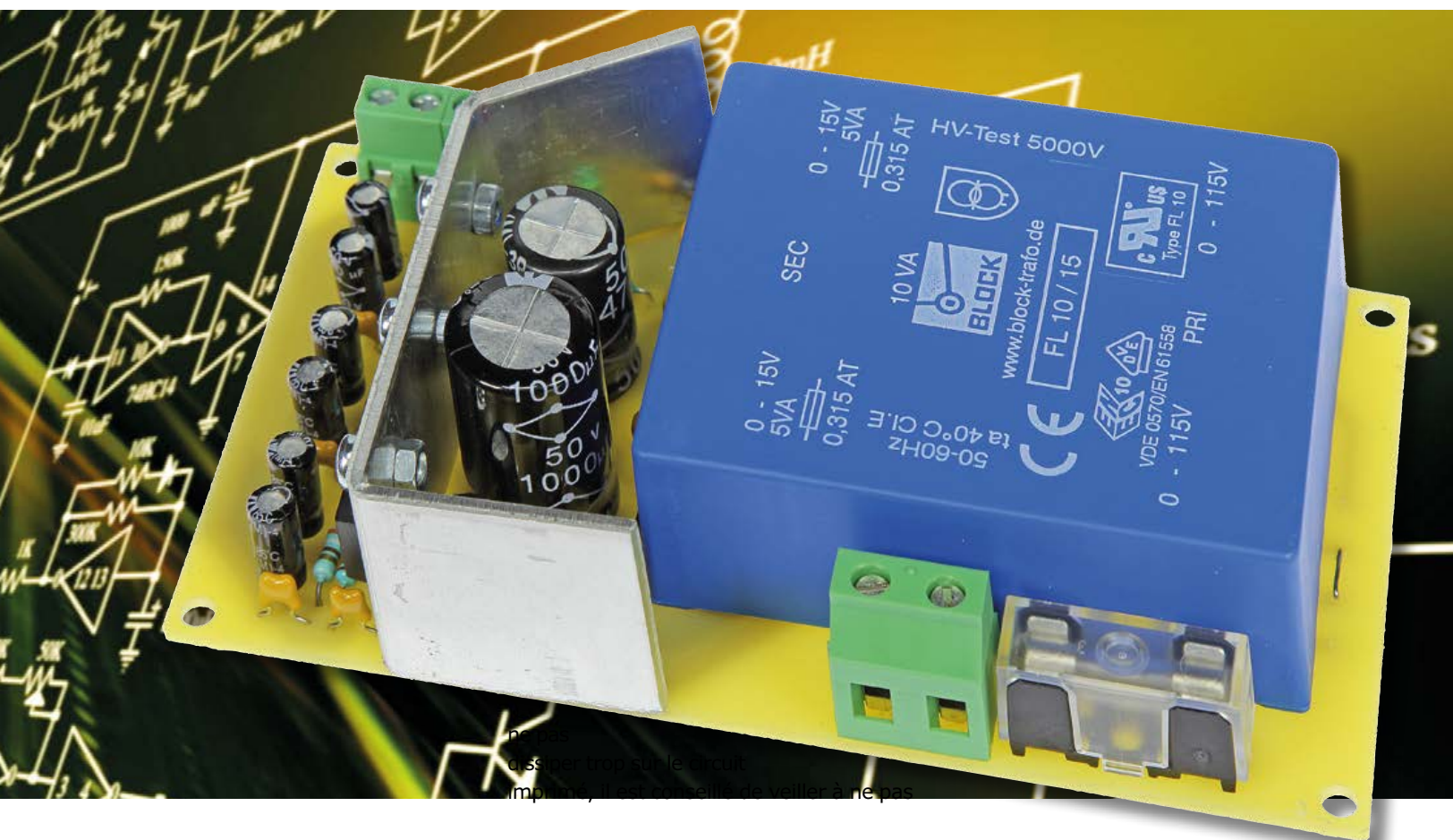
teur du transformateur change. Nous passons en revue ci-après ces diverses modifications possibles.

Tensions de sortie

De combien de sources de tension avez-vous besoin ? Une, deux ou trois ? Si une alimentation symétrique vous suffit, laissez tomber IC3 et ses composants associés. S'il vous faut deux alimentations

Tableau 1. Résistances pour différentes tensions de sortie.

tension	secondaire transformateur	tension minimale C5/C6/C17	valeur R1/R3/R5	valeur R2/R4/R6
3,3 V	2 x 8 V	16 V	240 Ω	390 Ω
5 V	2 x 9 V	25 V	240 Ω	750 Ω
6 V	2 x 12 V	25 V	240 Ω	910 Ω
8 V	2 x 12 V	25 V	240 Ω	1,3k Ω
9 V	2 x 12 V	25 V	240 Ω	1.5k Ω
12 V	2 x 15 V	35 V	240 Ω	2k Ω
15 V	2 x 18 V	35 V	200 Ω	2,2k Ω
18 V	2 x 18 V	35 V	200 Ω	2,7k Ω
24 V	2 x 24 V	50 V	200 Ω	3,6k Ω



positives, alors c'est IC2 et ses composants que vous pouvez ignorer. Et pour une seule alimentation, utilisez IC1 (ou IC2, en fonction de la polarité) et les composants associés.

Déterminez ensuite les tensions nécessaires. Le **tableau 1** reprend les valeurs des résistances pour les tensions usuelles. Vous pouvez calculer vous-même ces valeurs pour d'autres tensions :

$$U_{\text{sortie}} = 1,25 \times (1 + R2/R1)$$

[respectivement R6/R5 ou R4/R3].

Si R1 est égale à 240 Ω ou moins, l'erreur de calcul due au courant qui circule entre la broche « adjust » et la masse est négligeable.

L'intensité maximale du courant fourni par le LM317 est de 1,5 A. En fonction de la place disponible pour un radiateur sur le circuit imprimé, il est conseillé de veiller à

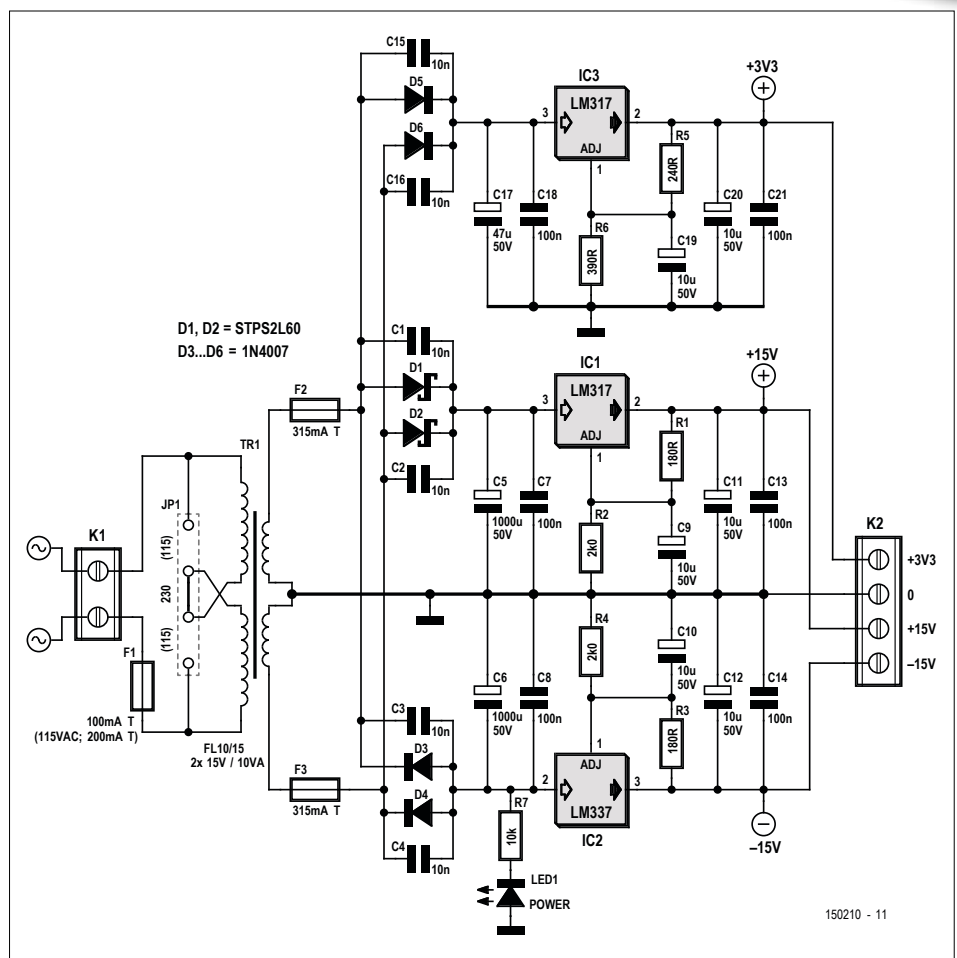


Figure 1. Schéma de l'alimentation du générateur de fonctions par DDS.

Pour d'autres configurations, voir texte et liste des composants adaptée.

dissiper trop de puissance. Nous revenons sur ce point plus avant dans l'article.

Transformateur d'alimentation

Pour le transformateur d'alimentation de la firme Block, on peut choisir parmi les séries FL10, FL14, FL18, FL24 et FL30 [3]. Ils s'adaptent tous au circuit imprimé de la **figure 2**. Le nombre correspond à la puissance nominale du transformateur. Un second identifiant après une barre de fraction donne la tension des deux secondaires ; nous avons le choix entre 5, 6, 8, 9, 12, 15, 18 et 24 V. Par exemple FL14/18 correspond à 14 VA et 2 x 18 V. N'oubliez pas que la tension du secondaire doit être plus élevée de quelques volts que la tension de sortie : la différence de tension entre entrée et sortie d'un LM317 doit être d'au moins 3 V, et il faut aussi tenir compte des chutes de tension sur les diodes et de l'ondulation de la tension redressée. Pour une tension de sortie de ± 12 V, un transformateur

délivrant 2 x 15 V conviendra parfaitement. Une bonne estimation de la puissance nécessaire peut être obtenue en multipliant le courant de sortie souhaité par la tension au secondaire du transformateur, puis par $\sqrt{2}$, et en arrondissant à la valeur entière supérieure.

Condensateurs électrochimiques et diodes

Pour redresser la tension au secondaire du transformateur, nous utilisons deux diodes par régulateur. Pour des courants de sortie jusque 1 A, les diodes 1N4002 ou 1N4007 reprises sur le schéma conviennent ; pour des courants supérieurs – jusque 1,5 A – des diodes Schottky type STTH2R06 seront nécessaires.

Pour la valeur des condensateurs électrochimiques, on peut prendre environ 2 000 μF par ampère de courant de sortie ; la tension de service doit être supérieure d'au moins 5 V à la tension de crête redressée (voir aussi **tableau 1**).

Encore une remarque concernant la valeur de C17. Dans le circuit original, sa valeur a été maintenue basse intentionnellement, afin de diminuer la dissipation d'IC3, due à une chute de tension élevée (20 V en entrée pour 3,3 V en sortie). Si on souhaite un courant de sortie plus intense pour IC3, il sera peut-être nécessaire de monter C17 à plat ou sur le côté du circuit imprimé, suite à un manque de place. Une autre possibilité est d'omettre C17 et de dimensionner C5 en fonction de la somme des courants d'IC1 et IC3. On reliera alors les connexions positives de C5 et C17 à l'aide d'un fil isolé sous le circuit imprimé.

Refroidissement

Pour conclure, nous devons encore aborder le refroidissement des régulateurs. Il y a de la place sur le circuit imprimé pour une plaque d'aluminium (coupée par vos soins aux dimensions voulues), sur laquelle sont vissés les régulateurs. Chaque régulateur doit bien entendu être isolé par une plaquette, et le boulon par une bague adéquate. Faites aussi attention à la longueur des boulons ; s'ils sont trop longs, ils risquent de toucher les gros condensateurs électrochimiques, ce qui n'est pas le but recherché. Choisissez-les donc les plus courts possible.

L'épaisseur de la plaque d'aluminium telle que sur la photo est suffisante pour environ 5 W. Si la puissance à dissiper est plus élevée, la plaque devra être plus haute ou bien déborder du circuit imprimé. En première approximation, on peut considérer que pour une puissance de 10 W, il faut une surface au moins deux fois plus grande. On peut estimer la puissance dissipée par chaque régulateur en multipliant le courant de sortie maximal choisi avec la différence de tension entre entrée et sortie ; on additionne alors la dissipation de tous les régulateurs utilisés.

Avec ces conseils, vous voilà armés pour réaliser – avec ce circuit imprimé – une alimentation adaptée à chaque projet ! ◀

(150553 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liste des composants

Résistances :

R1 à R6 = voir tableau 1
ou formule dans le texte
R7 = 10 k Ω , 5%, 0,25 W

Condensateurs :

C1, C2, C3, C4, C15, C16 = 10 nF / 50 V, Y5V, pas de 5 mm
C5, C6 = environ 2 000 μF par ampère de courant de sortie, voir tableau 1 pour la tension de service minimale, pas de 5 ou 7,5 mm, diamètre max. de 16 mm
C7, C8, C13, C14, C18, C21 = 100 nF / 50 V, X7R, pas de 5 mm
C9, C10, C11, C12, C19, C20 = 10 μF / 50 V, pas de 2 mm, diamètre max. de 6,3 mm
C17 = 47 μF / 50 V, pas de 2,5 mm ou 3,5 mm, diamètre max. de 8 mm (ou bien montage sur le côté du circuit imprimé)

Semi-conducteurs :

D1 à D6 = 1N4002 (jusqu'à 1 A)
ou STTH2R06 (jusqu'à 1,5 A)
IC1, IC3 = LM317, boîtier TO-220
IC2 = LM337, boîtier TO-220
LED1 = LED verte, 3 mm

Divers :

K1 = bornier pour CI à 2 voies, pas de 7,5 mm
K2 = bornier pour CI à 4 voies (2x2), pas de 5 mm
TR1 = transformateur 2x115 V au primaire, 2x5 à 24 V au secondaire, 10 à 30 VA (par exemple Block FL 10/15 [2])
F1 = fusible à action retardée, 100 mA (230 V) ou 200 mA (115 V) pour les puissances jusqu'à 18 W, au-delà 200 ou 400 mA
F2, F3 = fusible (valeur en fonction du transformateur)
Porte-fusible pour F1, F2, F3, 20 x 5 mm,

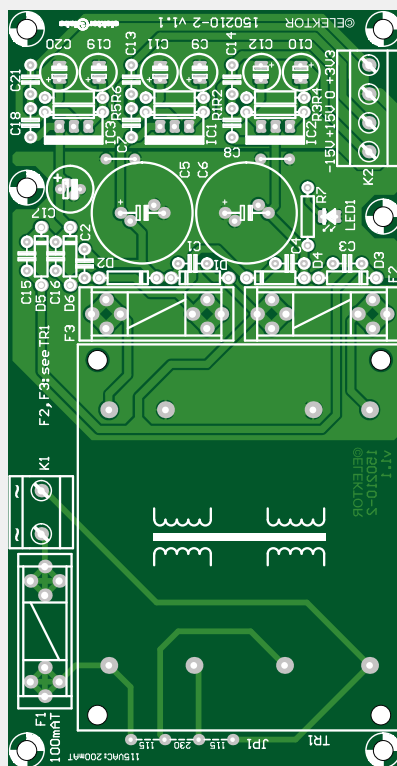


Figure 2. Pour être complets, nous reprenons ici (à 80% de sa taille réelle) le dessin du circuit imprimé.

avec cache
JP1 = cavalier pour la sélection de la tension secteur (1 pour 230 V, 2 pour 115 V)
circuit imprimé (150210-2)

Liens

- [1] Générateur de fonctions par DDS, Elektor 11/2105 : www.elektormagazine.fr/150210
- [2] www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf
- [3] www.block.eu/en_UK/products/393252.htm

survolteur continu

haute tension à partir d'une alim de labo

Martin Oßmann (Allemagne)

Obtenir 350 V_~ à partir d'une alimentation de laboratoire qui n'en donne qu'une trentaine, c'est possible avec un simple convertisseur *push-pull*. Ce survolteur statique vous procure jusqu'à 50 W, à vous de régler tension et courant maximum avec les boutons de l'alimentation.

La plupart des électroniciens disposent d'une alimentation de laboratoire variable, capable de délivrer jusqu'à 3 A sous 30 V. Une alimentation à haute tension branchée sur le secteur c'est plus rare et nettement plus cher d'ailleurs. Sauf exception, une dépense injustifiable ! Le survolteur de courant continu présenté ici est apte à multiplier la tension de l'alimentation par un facteur 6 ou 12. On profite alors de tensions de sortie atteignant sans difficulté 350 V avec une puissance de 50 W. Les réglages restent ceux de l'alimentation de laboratoire, pour la tension comme pour la limitation de courant, au bénéfice de la simplicité d'utilisation. En outre, les tensions d'entrée et de sortie ont le privilège d'une isolation galvanique, encore un souci en moins. Le circuit se résume à un convertisseur *push-pull* simple, mais robuste. Je vais aussi vous indiquer comment calculer les composants, pour que vous puissiez en adapter le schéma à d'autres applications.

Structure

Au centre du dispositif (**fig. 2**), un transformateur dont le primaire compte $2 \times N_p$ spires, le secondaire N_s spires. Les interrupteurs S1 et S2 relient tour à tour la tension d'entrée U_{in} à chacun des primaires. La tension au secondaire est redressée par deux diodes en circuit doubleur de tension, de manière à disposer en sortie d'une tension de $\pm U_{out}$ d'amplitude $U_{out} = N_s/N_p \times U_{in}$. L'intérêt du convertisseur *push-pull*, c'est que la tension de sortie reste nettement plus indépendante de la charge, pour peu que le tout soit bien proportionné pour réduire les pertes. En particulier, le cir-

cuit est encore stable à vide, autant dire qu'il ne requiert pas de régulateur de tension.

Tensions

Examinons la tension sur chaque composant, nous connaissons les tensions limites à prévoir à la conception. Quand l'interrupteur S2 est fermé (**fig. 3**), c'est la bobine de droite qui supporte la tension d'entrée U_{in} . Cette tension est induite par le transformateur dans la bobine de gauche du primaire. Aussi, sur l'interrupteur de gauche (c'est un transistor) se trouve le double de la tension d'entrée. Il faut encore prévoir un supplément qui tient compte des dépassements dans les oscillations. En conséquence, le transistor sera un IRFL540 qui résiste à 100 V et peut encaisser sans danger des

tensions d'entrée de 40 V.

Cette figure nous fait aussi découvrir ce qui se passerait si le second interrupteur était également fermé : un court-circuit sur le double de la tension d'entrée. À nous de veiller à ce qu'il ne se produise jamais de chevauchement. Mais il nous faut aussi considérer la sortie. Si S2 est fermé, la diode de gauche conduit et la diode de droite doit pouvoir bloquer une tension inverse de $2 \times U_{out}$. J'ai donc pris comme diodes de sortie des MUR1560 qui tolèrent 600 V en inverse. Elles peuvent redresser sans difficulté des tensions de sortie de ± 250 V (en + et en -, 500 V en tout).

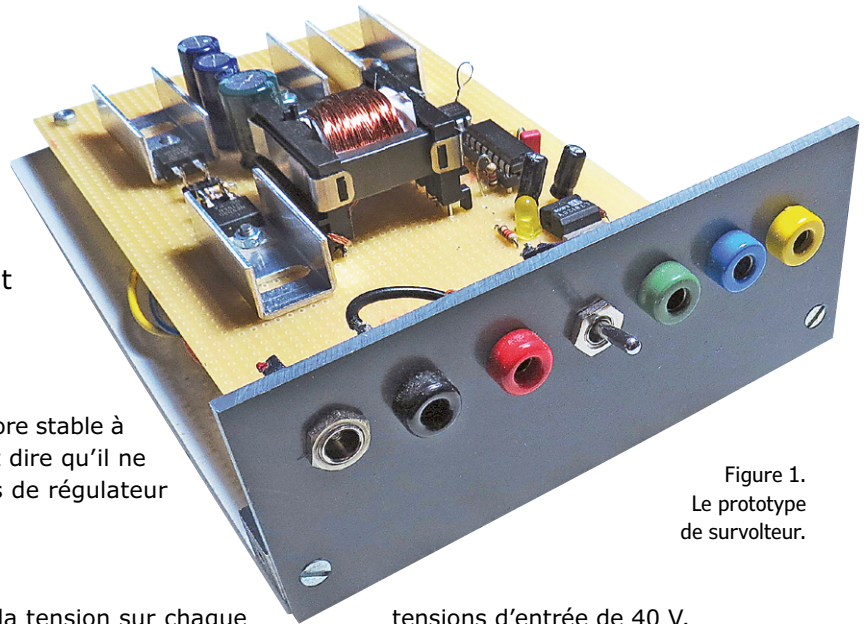


Figure 1.
Le prototype de survolteur.

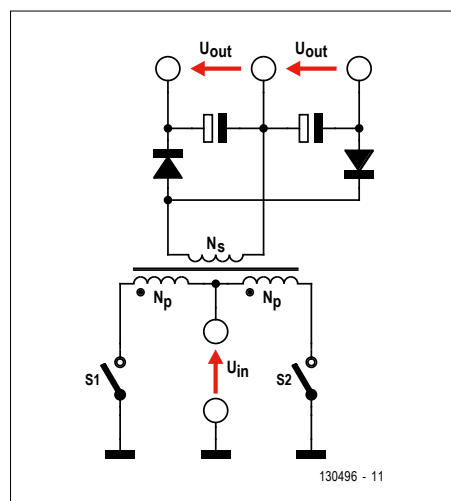


Figure 2. La structure du convertisseur *push-pull*.

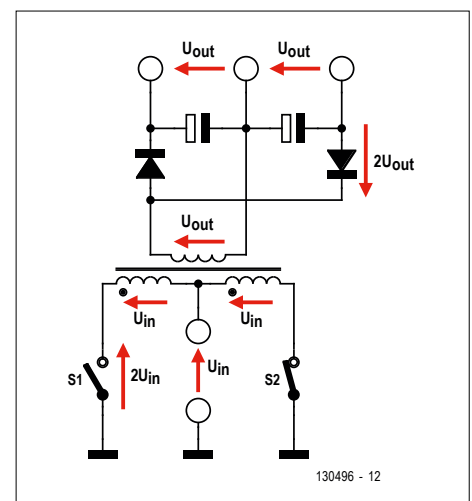


Figure 3. La répartition des tensions dans un convertisseur *push-pull*.

Mais la tension influence aussi un autre paramètre : la saturation du transformateur. La **figure 4** en donne le schéma équivalent. La tension au primaire est rectangulaire, d'une valeur de $\pm U_{in}$ avec un rapport cyclique de 1 : 1. La tension fait circuler dans l'inductance principale L_m un courant de magnétisation I_m de forme triangulaire comme à la **figure 5**. Dans la foulée, l'induction magnétique B_m dans le noyau prend la même forme triangulaire avec comme valeur de pointe B_{pk} . De la tension induite, égale à la tension d'entrée, on peut calculer, par la loi de l'induction, sa variation dans le temps :

$$\frac{\Delta B}{\Delta \tau} = \frac{2 B_{pk}}{T/2} = \frac{U_{in}}{N_p A_e}$$

où $T = 1/f$ est la période de la tension rectangulaire, f la fréquence et A_e la section effective du noyau. On en déduit :

$$B_{pk} = \frac{U_{in}}{4 N_p A_e f}$$

J'ai pris un noyau ETD29 de section $A_e = 76 \text{ mm}^2$. La fréquence est de $f = 80 \text{ kHz}$ et le nombre de spires $N_p = 8$. Pour une

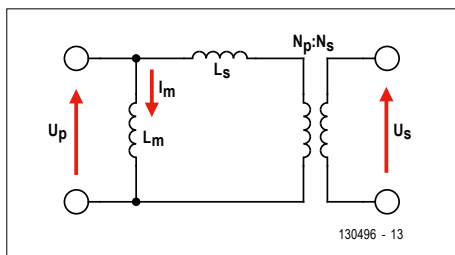


Figure 4. Le circuit équivalent du transformateur.

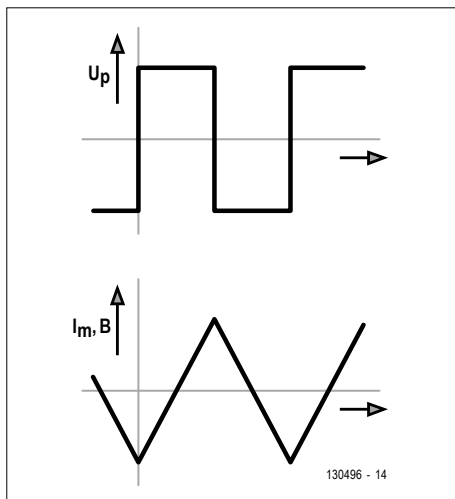


Figure 5. Tension, courant magnétisant et induction.

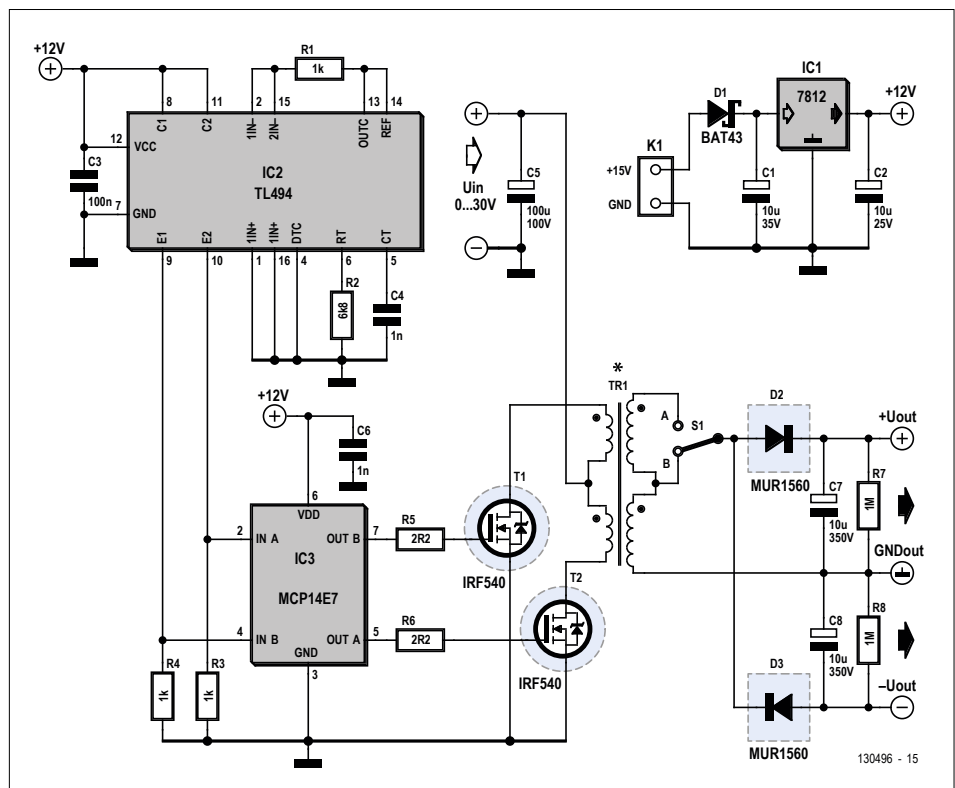


Figure 6. Le circuit complet du survolteur continu.

tension d'entrée de 30 V, on a donc, exprimé en **tesla** :

$$B_{pk} = 150 \text{ mT}$$

Les matériaux usuels des noyaux, le N30 par exemple, acceptent jusqu'à 300 mT environ, donc avec 30 V, il reste de la marge, on approcherait de la limite de la saturation pour une cinquantaine de volts.

Courants

Bien sûr, il y a aussi des pertes attribuables aux courants. C'est que, pour une puissance de 50 W et une tension de 10 V, le courant dans les MOSFET et les enroulements primaires atteint 5 A. La moitié du temps, il traverse le MOSFET et l'enroulement de gauche, l'autre moitié, la partie de droite. Au total, les pertes sont les mêmes que si le courant parcourait tout le temps l'une des moitiés. La résistance d'un MOSFET est de $0,077 \Omega$, elle occasionne en tout une dissipation de 2 W environ, donc 1 W par MOSFET, d'où un refroidissement moindre et plus facile à gérer avec un boîtier TO220. Selon le fabricant, la longueur moyenne d'une spire sur le noyau ETD est de 52,8 mm, la résistance d'un primaire est donc de $0,014 \Omega$ et subit une perte de 0,4 W.

Avec 50 W et 120 V en sortie, le courant avoisine 0,4 A, la perte est inférieure à 0,1 W. La perte dans les redresseurs vaut $0,7 \text{ V} \times 0,4 \text{ A} = 0,28 \text{ W}$ qui se répartit sur les deux diodes. C'est acceptable.

La construction

Le circuit complet du survolteur continu est représenté à la **figure 6**. C'est IC2, un TL494 qui produit des signaux de commande exempts de tout chevauchement. Ils sont amplifiés par le tampon de portes logiques IC3 pour attaquer à faibles pertes les transistors MOSFET T1 et T2 qui doivent fournir les courants au transformateur. L'interrupteur S1 sélectionne le rapport de transformation. Dans une position, le survolteur fonctionne en sextupleur, de 30 V, il fait environ $\pm 90 \text{ V}$; dans l'autre position, il multiplie par 12, les 30 V deviennent $\pm 180 \text{ V}$.

Observons les signaux de grille des deux MOSFET à la **figure 7**. Ils n'empiètent pas l'un sur l'autre et ont une amplitude de 12 V. Rien n'empêche d'utiliser, à la place de ces transistors à niveaux logiques, des MOSFET dont la tension de seuil de grille est de 4 à 5 V.

Rien de critique dans la construction elle-même, il faut simplement respecter la polarité des enroulements primaires,

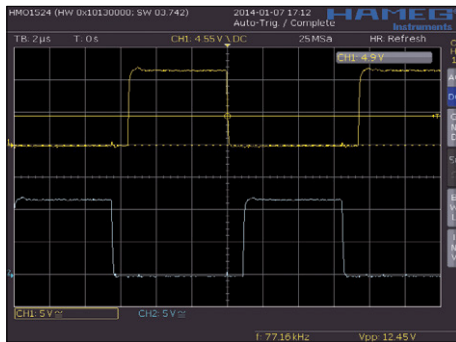


Figure 7. La commande de grille.

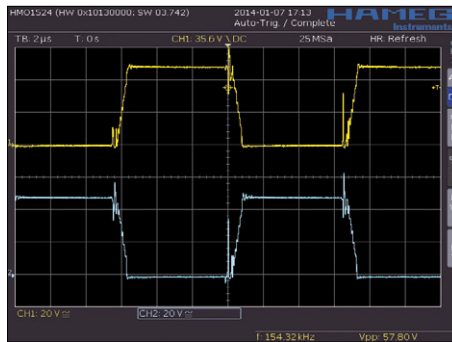


Figure 8. Les signaux de drain au primaire.

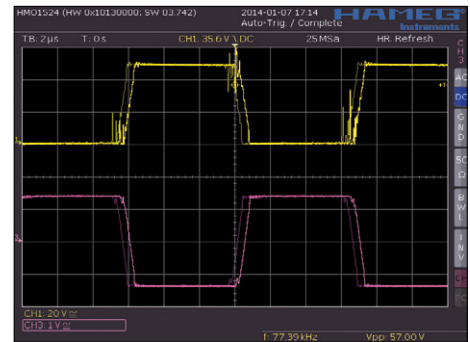


Figure 9. La tension sur l'enroulement secondaire.

repérée par des points dans le schéma. De petits radiateurs suffiront bien aux composants de puissance : la figure 1, c'est mon prototype. On voit à la **figure 8** les tensions de drain des MOSFET pour une tension d'entrée de 25 V. Elles ont une valeur de pointe de $2 \times$ la tension d'entrée, sans oscillations parasites. La **figure 9** montre en haut le signal de drain pour $U_{in} = 25$ V et en bas, mesurée avec une sonde 100 : 1, la tension au secondaire : la tension produite est bien de 6×25 V = ± 150 V.

Bobiner le transformateur

J'ai utilisé un noyau ETD29 sans entrefer. On peut prendre n'importe quel matériau de ferrite de qualité disponible : 3F3, 3F4, N27, N30... L'important, c'est que primaire et secondaire soient bien couplés. On y enroule les fils ensemble, en bifilaire, le tout ne fait qu'une seule couche. Le fil est en cuivre émaillé de 0,4 mm, on en prend un toron de quatre fils ensemble de la longueur voulue que l'on peut aisément bobiner soi-même à l'aide d'une visseuse sans fil. On bobine le toron en double sur 8 spires (**fig. 10**). Si les deux enroulements primaires ne sont pas bien couplés, la symétrie est faussée et il se peut

que la saturation soit atteinte, avec pour conséquence des pertes considérables. Finalement, on y ajoute 2×24 spires pour former le secondaire en utilisant un toron de 3 fils de cuivre émaillé de 0,4 mm. Les bobinages et les différentes couches sont isolés les uns des autres par de la bande isolante (**fig. 11**).

Mise en service

Pour terminer, quelques conseils d'utilisation. Pour l'alimentation de la commande, le plus simple est encore le bloc secteur. La tension d'entrée à multiplier, mieux vaut la prélever sur une alimentation de laboratoire. Lors de la première mise en service, faites monter lentement sa tension tout en surveillant le courant, il ne doit s'élever que de quelques dizaines de milliampères tout au plus. S'il est plus fort, c'est qu'il y a une panne, comme une inversion de polarité dans les bobinages du primaire. Branchez un multimètre sur la sortie. Vous pouvez régler la puissance de sortie avec la limitation de courant de l'alimentation de labo. Sauf si vous avez installé un ampèremètre à la sortie pour surveiller la consommation, gardez à l'œil le courant primaire. Avec la limitation de courant à l'entrée, le survolteur est à l'abri d'un court-circuit.

Les lecteurs fervents tubistes auront déjà trouvé une application de choix pour ce survolteur : produire la haute tension d'anode des circuits à tubes, à partir de 12 V par exemple. Voir en faire un module compact comme celui de la **figure 12**. Pensez alors à bobiner sur le noyau un tertiaire pour le chauffage des filaments. Le survolteur peut aussi fournir la HT pour le tube cathodique d'un oscilloscope. On peut déjà hausser la tension produite en augmentant le nombre de spires au secondaire. Auquel cas, il faut veiller à la rigidité diélectrique, notamment des redresseurs, comme on l'a vu. Autre solution, utiliser plusieurs bobinages au secondaire, chacun muni d'une seule diode et d'un condensateur tampon. Facile, dans ce cas de produire les différentes tensions nécessaires. Mais en tout cas, il faut prévoir entre les bobinages une isolation suffisante pour éviter les arcs électriques.

Attention aux dangers de l'expérimentation sur les hautes tensions. Contrairement à certaines décharges électrostatiques plutôt inoffensives, ce survolteur peut fournir beaucoup de courant !

Rappel pour qui l'aurait oublié : le courant continu est paralysant. ⚡

(130496 – version française : Robert Grignard)

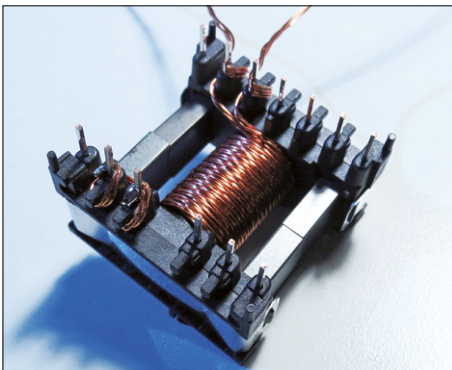


Figure 10. Le transformateur après bobinage du primaire.

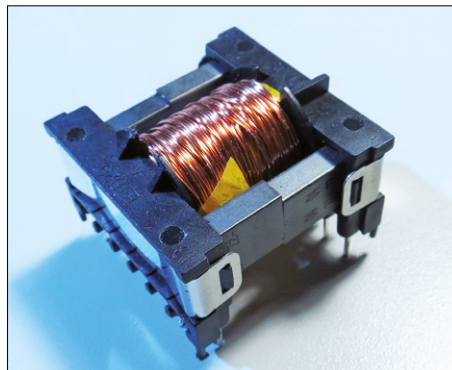


Figure 11. Le transformateur terminé.

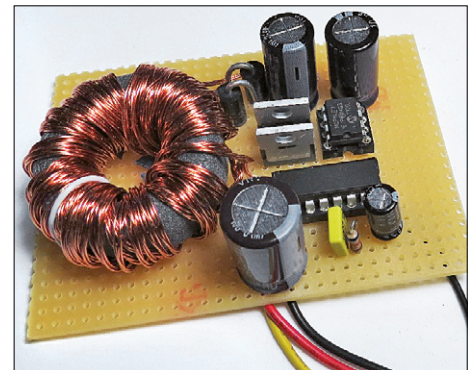
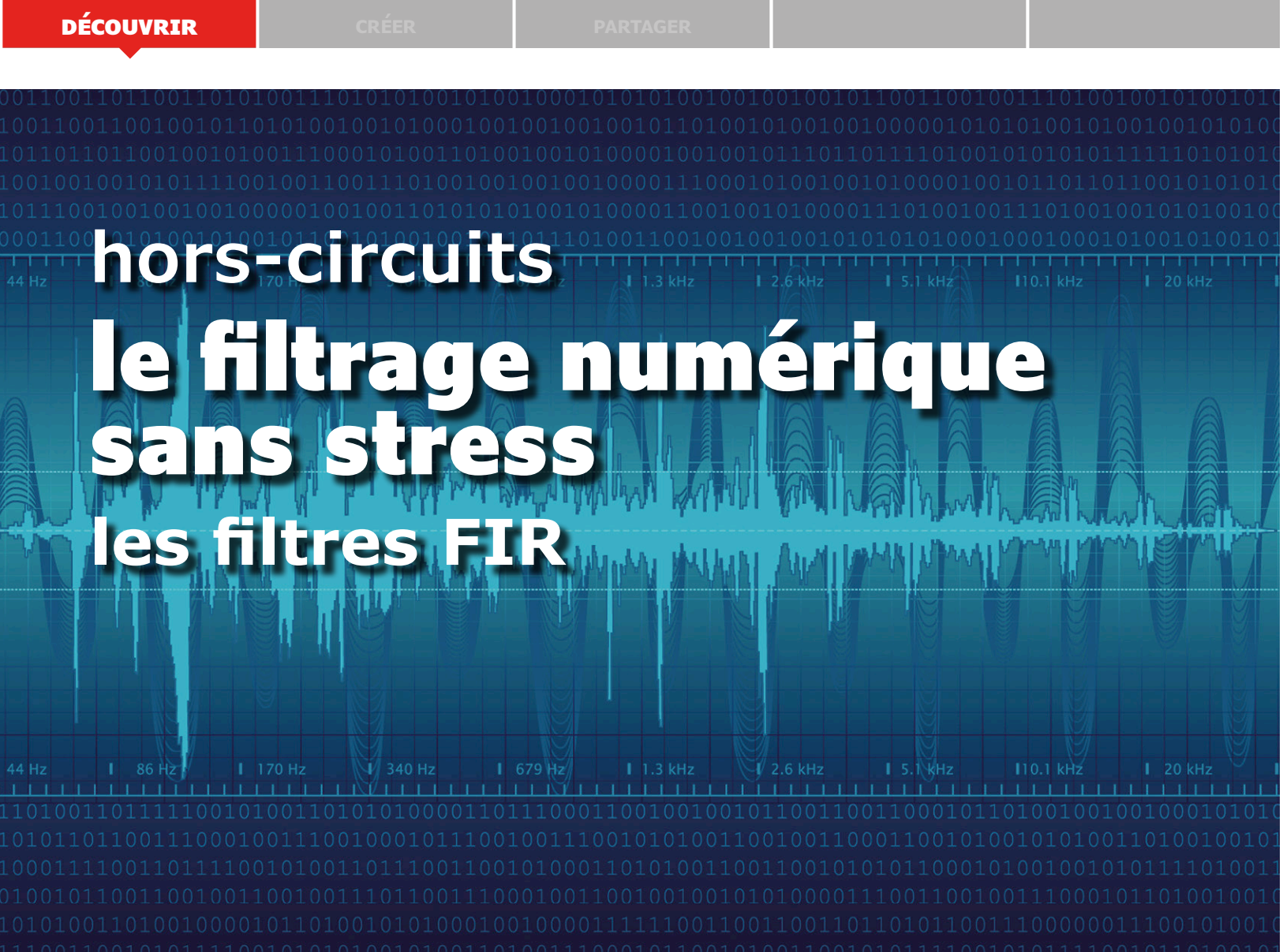


Figure 12. Un module compact pour alimenter des tubes électroniques.



hors-circuits le filtrage numérique sans stress les filtres FIR

Robert Lacoste (Chaville)

Jusqu'à présent les articles de la série *hors-circuits* s'intéressaient à l'électronique analogique. Maintenant nous allons passer au traitement numérique du signal. Pas d'affolement ! Je ne vous noierai pas sous des formules mathématiques incompréhensibles. Je ne change pas de méthode, je continue de vous expliquer avec des mots simples comment ça marche, et surtout comment utiliser ces techniques dans vos projets.

Nous commencerons par le filtrage numérique, et plus particulièrement par une classe de filtres numériques appelés filtres à réponse impulsionnelle finie, ou filtres FIR (pour **Finite Impulse Response**). À quoi peuvent-ils bien servir ? Imaginez que vous utilisez un convertisseur analogique/numérique (CA/N) pour interroger un capteur, et que la valeur mesurée lue fluctue un peu trop. Pour atténuer les variations, vous allez probablement mesurer plusieurs valeurs et en calculer la moyenne, voire une moyenne glissante. Un tel algorithme

n'est ni plus ni moins qu'un filtre FIR particulièrement simple. Toutefois, vous le verrez au fil de cet article, il est possible de faire bien mieux sans beaucoup plus de complexité.

Notre amie la transformée de Fourier...

Avant parler de FIR, quels sont vos souvenirs sur la transformée de Fourier ? Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) est un mathématicien et physicien français. En 1822, il écrit en gros que toute fonction périodique peut être exprimée

comme la somme de plusieurs fonctions sinus. Nous ne sommes pas mathématiciens, passons directement à la vision « ingénieur » de la chose : pour nous, une « fonction » est un signal numérisé, c'est-à-dire une suite discrète de nombres. Pour reprendre mon exemple, ce serait la suite des valeurs lues sur le CA/N. Si l'on considère que cette suite de nombres se répète à l'infini, nous avons là la période d'un signal périodique qui peut être représenté comme une somme de sinus. La transformée de Fourier est la fonction mathématique qui permet de trouver les-

dites sinusoïdes en fonction des valeurs du signal.

Pour simplifier, je me limite aux signaux « réels » (par opposition aux signaux dits « complexes », mais qui ne le sont pas tant que ça...), et j'ometts quelques détails techniques. Hypothèse : vous avez rempli un tableau avec 1024 échantillons du signal, à un taux d'échantillonnage de 250 kéch/s. Ce taux d'échantillonnage limite la connaissance sur le signal à des fréquences inférieures à la limite de Nyquist, soit $250 \text{ kéch/s} / 2 = 125 \text{ kHz}$. Une transformée de Fourier prend ces 1024 échantillons et les convertit en une somme de 513 fonctions sinus de fréquences comprises entre 0 et 125 kHz, avec un pas de $250/1024 = 244,14 \text{ Hz}$; la première fonction sinus est la valeur moyenne du signal, c'est-à-dire l'offset continu (DC). Pour chaque fréquence, la transformée de Fourier (ou plus exactement ici ce qu'on appelle une transformée de Fourier discrète, ou DFT) donne l'amplitude et la phase du sinus correspondant.

Une transformée de Fourier permet donc de convertir un signal en sa représentation fréquentielle (et vice-versa, car l'opération est réversible).

Avez-vous entendu parler de *Fast Fourier Transform* ou FFT ? C'est juste un algorithme qui permet de calculer rapidement une DFT.

Passons à la pratique sur un cas simple. Sur la **figure 1**, la courbe de gauche est la représentation d'un signal à huit points aléatoires. Après le calcul de la transformée de Fourier, on obtient une composante continue et quatre sinusoïdes (courbes en vert au milieu). Observez attentivement : une des sinusoïdes a une longueur d'une période, la seconde occupe deux périodes, etc. Chaque sinusoïde a une amplitude et une phase donnée. Si on additionne ces quatre sinusoïdes, on obtient la courbe présentée en rouge. Maintenant l'instant magique : superposons la courbe rouge et la courbe de départ (à droite), elles concordent. La somme des sinus est donc bien exactement égale au signal de départ, pour les points pour lesquels celui-ci était défini.

Pour les exemples de cet article, retenir que j'ai utilisé SciLab, un logiciel de calcul numérique sur PC puissant, gratuit

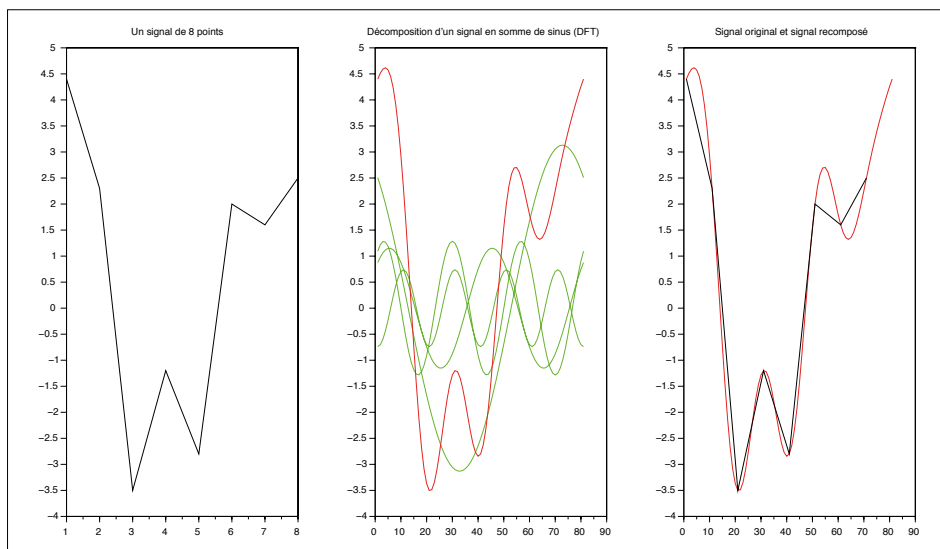


Figure 1. À gauche un signal arbitraire défini par huit points. Au centre, les quatre composantes sinusoïdales calculées par une DFT de fréquences $1/T$, $2/T$, $3/T$ et $4/T$ (vert) et leur somme (rouge), qui correspond parfaitement avec le signal de départ sur chaque point.

et à code source ouvert. Je vous encourage vivement à le télécharger [1] et à récupérer ensuite les fichiers source de mes exemples [2]. Exécutez ensuite ces fichiers pour reproduire les exemples, puis lisez le code source pour saisir ce qui se passe et modifiez-le à votre gré. C'est la meilleure solution pour comprendre réellement ces notions...

Filtrer dans le domaine fréquentiel

On pourrait bien sûr écrire des livres entiers sur la transformée de Fourier [3], mais ces notions de base nous suffiront pour l'instant. En effet la transformée de Fourier nous donne une première méthode très directe pour réaliser des filtres numériques : filtrer un signal n'est

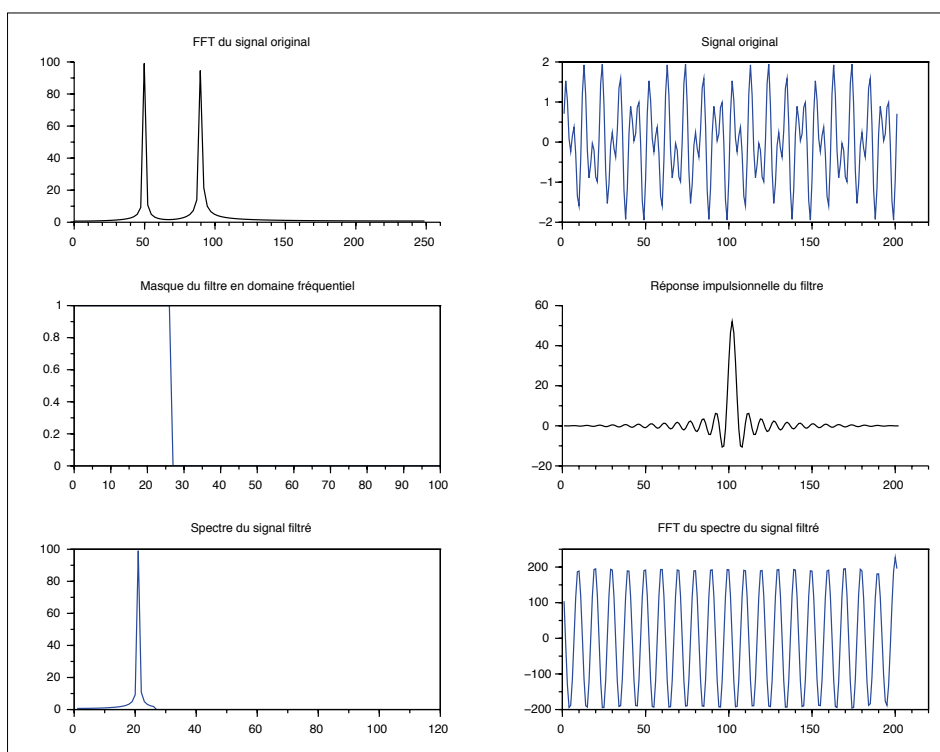


Figure 2. Un filtre passe-bas dans le domaine fréquentiel : en haut un signal somme de deux sinus et son spectre. Au milieu, le masque de fréquence et sa transformée de Fourier. En bas, le spectre filtré et le signal correspondant.

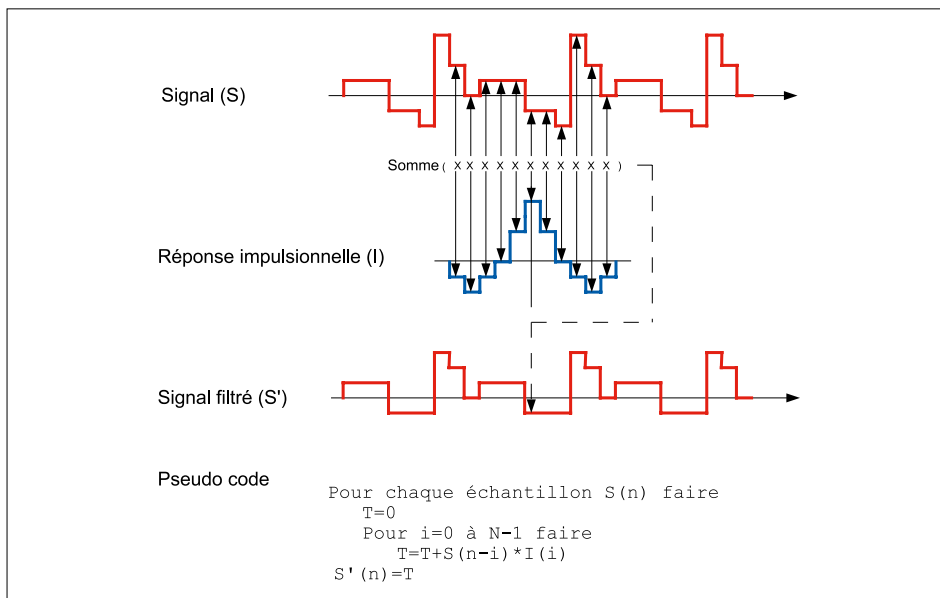


Figure 3. Une convolution entre deux signaux nécessite N multiplications et N additions pour chaque échantillon de sortie. Pour chaque point, la réponse impulsionnelle est alignée avec les N derniers échantillons du signal, puis les deux sont multipliés terme à terme et additionnés.

ni plus ni moins que modifier son spectre de fréquences.

Revenons à notre échantillon de signal de 1024 points numérisé à 250 kéch/s. Notre objectif : réaliser un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure de 20 kHz. Il suffit de calculer la transformée de Fourier de l'échantillon pour obtenir son spectre fréquentiel de 0 à 125 kHz. Ensuite il faut retirer de ce spectre toutes les composantes au-dessus de 20 kHz. Une solution est de multiplier terme à terme le

spectre du signal avec un masque rectangulaire, c'est-à-dire un tableau égal à un du continu à la fréquence de coupure, et nul ensuite. Vous obtenez alors le spectre en fréquence du signal d'entrée, mais filtré. Calculez la transformée de Fourier inverse de la chose, et voilà le signal filtré. En résumé, pour ceux qui préfèrent les formules : si S est le signal et M la réponse en fréquence recherchée alors le signal filtré S' est obtenu avec $S' = \text{IDFT} (\text{DFT} (S) \times M)$. C'est très exacte-

ment ce qui est illustré sur la **figure 2**. N'oubliez pas de lire le code source Sci-Lab pour les détails, il y a une ou deux subtilités.

La véritable force de cette méthode est qu'il est possible de réaliser pratiquement tout filtre linéaire avec le même algorithme. Rien ne vous interdit de concevoir un filtre plus complexe comme un filtre passe-bande ou même un filtre avec plusieurs bandes passantes et des gains différents dans chaque sous-bande : il suffit de définir la réponse en fréquence souhaitée et le calcul est strictement le même.

Et dans le domaine temporel ?

Cette méthode de filtrage dans le domaine fréquentiel est très flexible, mais a deux inconvénients. Tout d'abord elle nécessite de calculer des transformées de Fourier, ce qui consomme pas mal de mémoire et de puissance de calcul. La seconde difficulté est que cet algorithme travaille par construction sur des blocs entiers de données : vous devez attendre d'avoir assez d'échantillons pour remplir une mémoire tampon avant de calculer la DFT du bloc. Cet algorithme est donc difficilement utilisable pour un filtrage en temps réel.

Comment faire mieux ? En restant dans le domaine temporel, ce qui nous mènera aux filtres FIR. D'abord, faisons un peu de maths. Si A et B sont deux signaux quelconques alors on a :

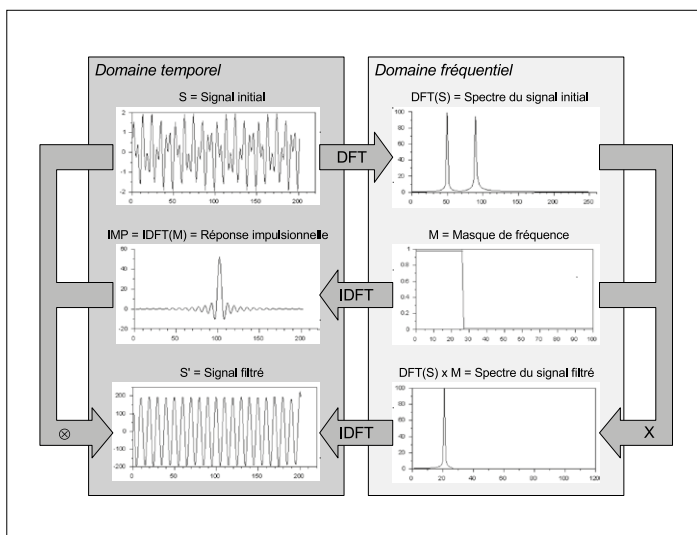


Figure 4. Deux manières différentes de calculer le signal filtré, soit dans le domaine fréquentiel avec des DFT/IDFT, soit dans le domaine temporel par une convolution. Le résultat est strictement le même.

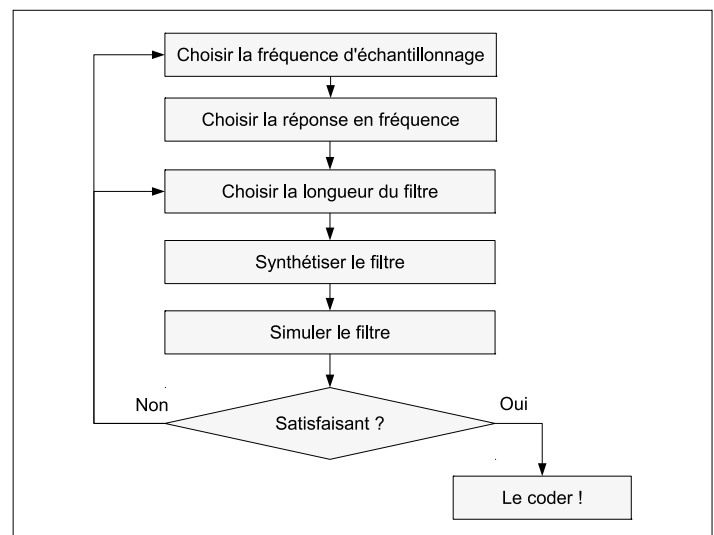


Figure 5. La mise en œuvre d'un filtre FIR est un processus en sept étapes, souvent itératif...

$\text{IDFT}(\text{DFT}(A) \times \text{DFT}(B)) = A \oplus B$.

Dans cette formule, le symbole bizarre « \oplus » est ce que les matheux appellent un produit de convolution, ce qui n'est rien de plus que des boucles de calcul imbriquées avec des multiplications et des additions.

La **figure 3** explique de manière simple le calcul du produit de convolution dans le cas de signaux réels. À quoi peut servir ce résultat ? Rappelez-vous qu'avec la méthode fréquentielle le signal filtré est $S' = \text{IDFT}(\text{DFT}(S) \times M)$. Si l'on remplace le masque de fréquence M par la transformée de Fourier de quelque chose, disons par $\text{DFT}(\text{IMP})$, alors on a $S' = \text{IDFT}(\text{DFT}(S) \times \text{DFT}(\text{IMP}))$, c'est-à-dire $S' = S \oplus \text{IMP}$. Bingo, le signal filtré S' peut donc être calculé directement par une convolution entre le signal original S et ce signal IMP , plus besoin de transformées de Fourier ! La **figure 4** illustre ce tour de passe-passe. Qu'est-ce qu'IMP ? $\text{IMP} = \text{IDFT}(M)$, c'est-à-dire le signal de sortie du filtre si on applique sur son entrée un signal constitué d'un point à 1 suivi de plein de 0, soit une impulsion élémentaire. On appelle donc IMP la réponse impulsionnelle du filtre, qui est de longueur finie puisque M l'est. Vous savez donc maintenant pourquoi cet algorithme s'appelle **Finite Impulse Response** ou FIR.

Avec cette méthode, l'opération de filtrage n'est donc basée que sur des signaux dans le domaine temporel : il

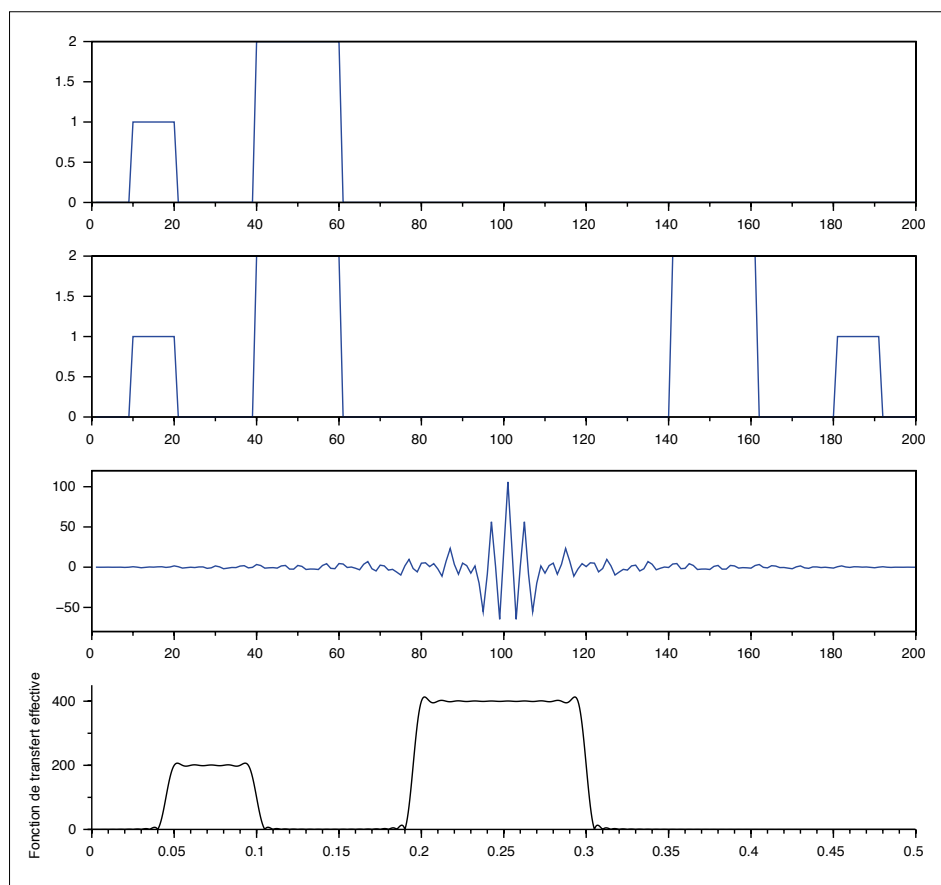


Figure 6. Un exemple de filtre FIR. En haut la réponse en fréquence désirée, ensuite la même réponse étendue aux fréquences négatives puis la réponse impulsionnelle calculée. Enfin en bas la réponse en fréquence du filtre simulée avec plus de points sur l'axe des fréquences.

suffit d'effectuer en temps réel le produit de convolution du signal à filtrer avec la réponse impulsionnelle du filtre

désiré (réponse généralement précalculée). Si vous m'avez suivi, vous avez compris que l'algorithme FIR donne très

Listage 1. Ce script Scilab est le code complet nécessaire pour synthétiser et simuler un filtre FIR. Le résultat de ce script est à la figure 6.

```
//-----
// Exemple de synthèse simple de filtre FIR
// sous SciLab
//-----

// Spécification de la réponse en fréquence voulue
ntaps=200;
wanted(1:ntaps)=0;
wanted(10:20)=1.0;
wanted(40:60)=2.0;
subplot(4,1,1);
plot(wanted);

// Copie inversée dans la seconde moitié
// (freq. négatives)
for i=1:ntaps/2;wanted(ntaps-i+1)=wanted(i);end;

subplot(4,1,2);
plot(wanted);

// Calcul de sa FFT, c'est à dire
// de la réponse impulsionnelle
fircoeff=real(fftshift(fft(wanted)));
subplot(4,1,3);
plot(fircoeff);

// Calcul de la réponse en fréquence effective
[hm,fr]=frmag(fircoeff,1000);
subplot(4,1,4);
plot2d(fr',hm');
xtitle('','','Fonction de transfert effective');
halt();
xdel();
```

exactement le même résultat qu'un filtrage par application d'un masque dans le domaine fréquentiel (transformée de Fourier, multiplication par un masque de fréquence, puis transformée de Fourier inverse). C'est seulement une méthode de calcul plus efficace pour les signaux en temps réel.

FIR en pratique

Finie la théorie ! Comment coder un filtre FIR dans votre prochain projet ? La **figure 5** montre la démarche à suivre. Comme pour tout système de traitement numérique, il faut d'abord choisir la fréquence d'échantillonnage, c'est-à-dire l'horloge de votre CA/N. La règle usuelle, décrite par monsieur Nyquist, est : *un peu plus que deux fois la fréquence maximale du signal d'entrée*. Il me faudrait tout un article sur ce sujet, mais retenez qu'en

pratique l'échantillonnage doit être significativement plus rapide, sinon le filtre anti-repliement indispensable avant le CA/N est impossible à construire. Ensuite définissez la réponse en fréquence théorique souhaitée (M). Prenez une feuille de papier ou votre logiciel préféré, placez sur un axe la fréquence du continu à la fréquence de Nyquist (moitié de la fréquence d'échantillonnage), et tracez la réponse du filtre désirée. La **figure 6** donne un exemple de filtre complexe avec deux bandes passantes et des gains respectifs de 1 et 2. La troisième étape consiste à définir ce qu'on appelle le nombre de *taps* (« points de calcul ») du filtre FIR, c'est-à-dire le nombre de points de la réponse impulsionnelle IMP. Ce nombre dictera aussi la puissance de calcul nécessaire pour le traitement. Comment faire ? Rappelez-vous que IMP et M sont transfor-

mées de Fourier l'un de l'autre. Donc IMP a deux fois plus de points que la réponse en fréquence M : plus la réponse en fréquence doit être définie finement, plus il faudra de *taps*. Par exemple, si vous concevez un simple filtre passe-bas avec une fréquence de coupure « gentille » au milieu de la bande passante, alors un filtre FIR à quelques *taps* suffira. Par contre si vous avez besoin d'une bande passante de 1/100 de la bande de fréquence alors vous aurez peut-être besoin d'un filtre beaucoup plus complexe. Jetez un œil à la **figure 7** qui illustre la réponse en fréquence d'un filtre passe-bas simple avec différentes longueurs d'IMP.

Synthétiser un FIR

La quatrième étape est la plus magique : la synthèse du filtre FIR, c'est-à-dire le calcul de la réponse impulsionnelle IMP.

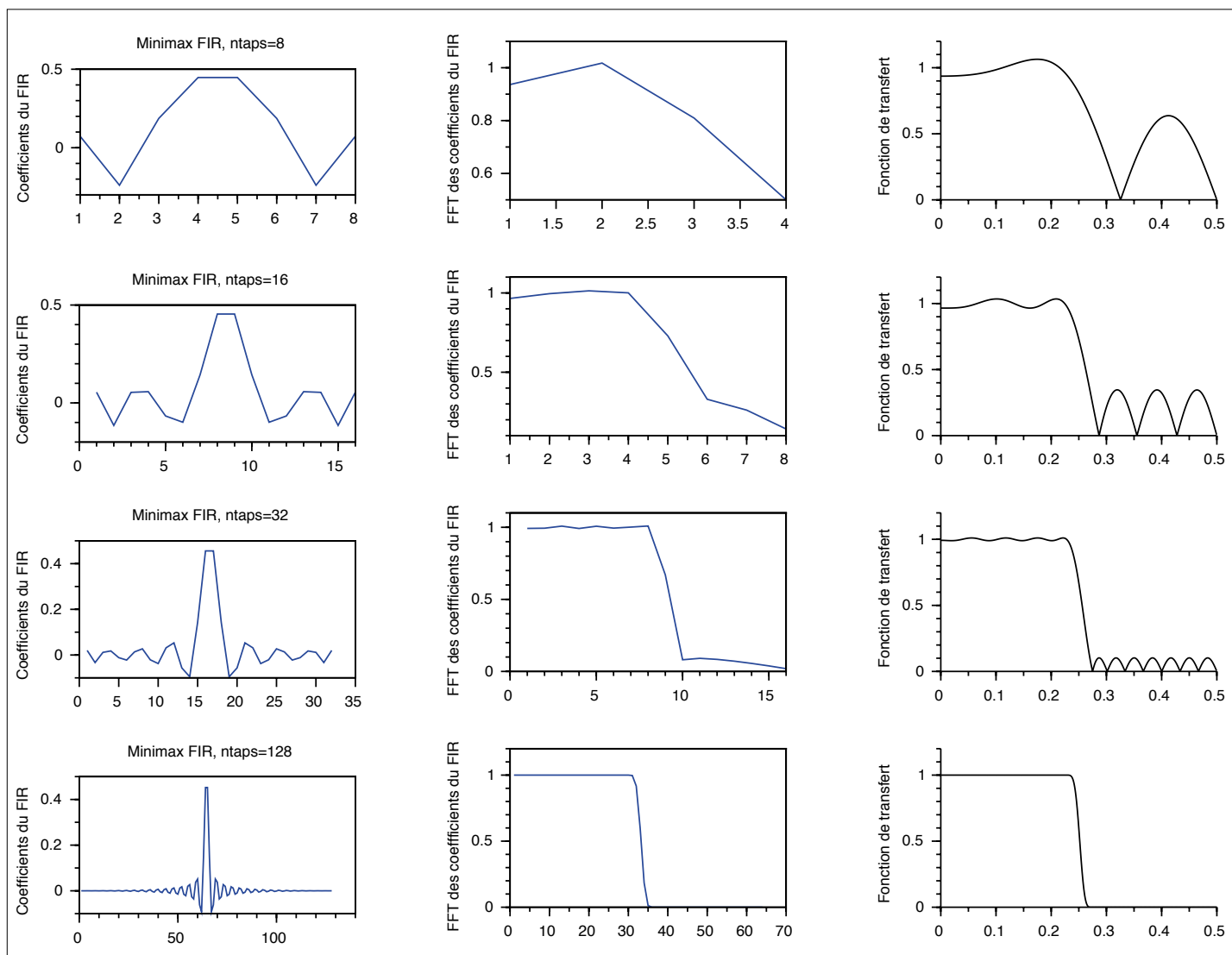


Figure 7. Des filtres passe-bas avec respectivement 8, 16, 32 et 128 *taps*, calculés par la méthode du MiniMax. Bien sûr, plus de *taps* donnent un meilleur filtre, mais avec plus de calculs...

La méthode la plus directe est d'utiliser très exactement la méthode présentée ci-dessus, à savoir calculer la transformée de Fourier de la réponse en fréquence souhaitée. Pour cela, utilisez un outil comme Scilab ou même Excel (qui a une fonction FFT, si, si !). En pratique c'est juste un peu plus subtil pour des questions de fréquences négatives et de fenêtrage, mais vous avez saisi l'idée. Regardez le **listage 1** qui donne l'intégralité des commandes SciLab nécessaires. Mathématiquement parlant, vous obtiendrez un filtre parfait, c'est-à-dire un filtre dont la réponse réelle sera exactement la réponse spécifiée à chacune des fréquences discrètes N utilisées pour le définir. Cependant il est aussi très important de savoir comment se comportera le filtre pour les fréquences « entre » ces fréquences discrètes. D'où la cinquième étape : la simulation de la réponse fine du filtre. Vous pouvez faire cette simulation en programmant vous-même un petit logiciel (production de signaux sinusoïdaux de fréquences croissantes, filtrage avec le filtre FIR synthétisé, mesure et tracé de l'amplitude de sortie pour chaque fréquence, etc.). L'autre solution est d'utiliser une fonction prête à l'emploi, disponible dans SciLab : *frmag*. La figure 6 montre le résultat de l'exécution du listage 1, très proche de la réponse souhaitée. Si le résultat ne vous satisfait pas, modifiez les hypothèses et recommencez.

Il existe des techniques de synthèse plus élaborées qui permettent d'optimiser le filtre pour un nombre donné de *taps* et pour une liste de contraintes fixée par le concepteur. Ces techniques limitent les oscillations de la réponse en fréquence entre les valeurs de consigne à l'aide d'algorithmes d'optimisation. L'un d'eux, qui utilise l'algorithme Minimax, est supporté dans SciLab, voir la documentation de la fonction *eqfir* ou les exemples en [2].

À vous de jouer !

La dernière étape est la plus facile : prenez votre microcontrôleur DSP ou FPGA préféré, et codez les quelques lignes nécessaires pour réaliser le calcul en temps réel du filtre FIR (**listage 2**). La réponse impulsionnelle sera stockée dans un tableau statique en ROM ou similaire. Votre filtre FIR devrait fonctionner comme prévu, une fois la chasse aux bugs finie. Allez, un cadeau pour ceux qui ont eu le courage de lire cet article jusque-là : il

Listage 2. Une fois le filtre précalculé sur votre PC, le codage d'un FIR sur un microcontrôleur ne nécessite que quelques lignes de code.

```
DATATYPE CalculeFIR(DATATYPE in)
{
    DATATYPE s;
    int i,index;

    // Stocke la nouvelle valeur dans
    // un tampon circulaire
    LastNCurrent=(LastNCurrent+1)%NTAPS;
    LastN[LastNCurrent]=in;

    // Calcule la convolution
    s=0;
    for(i=0;i<NTAPS;i++)
    {
        index=LastNCurrent-i;
        if (index<0) index+=NTAPS;
        s+=IMP[i]*LastN[index];
    }

    // Retourne la valeur de la convolution,
    // qui est le signal filtré
    return(s);
}
```

existe des logiciels qui simplifient grandement la conception d'un filtre FIR et créent **automatiquement** le code nécessaire en C ou VHDL. L'un d'eux, développé par Adrian Kundert, est même gratuit : Winfilter [4].

Un dernier mot : certains pensent que le filtrage numérique est réservé aux applications haut de gamme, avec des DSP très puissants. C'est bien entendu faux, tout dépend du débit des données. Imaginez que vous travaillez sur un signal audio échantillonné à 44 kéch/s. Un filtre FIR de 8 *taps* permet déjà de faire des choses très intéressantes, et nécessite de calculer pour chaque échantillon 8 multiplications et 8 additions, soit $8 \times 44\,000 = 352\,000$ additions et multiplications par seconde. C'est largement faisable sur un minuscule microcontrôleur à 32 bits comme un Cortex M0, du moment que les calculs

sont effectués sur des nombres entiers. Si vous êtes astucieux, vous remarquerez aussi que la réponse impulsionnelle est toujours symétrique, ce qui permet de diviser le nombre de multiplications par deux... De plus de nombreux processeurs, et pas seulement des DSP, disposent d'une instruction baptisée MAC (*Multiply and Accumulate*) justement prévue pour calculer des convolutions en un seul cycle d'horloge par point...

Conclusion : lâchez-vous, essayez un filtre FIR dans votre prochain projet ! Mes deux prochains articles présenteront d'autres types de filtres numériques qui répondent aux doux noms de CIC et IIR. ◀

(150635)

Cet article a été publié dans la revue *Circuit Cellar* (n°207, octobre 2007).

Liens

- [1] Logiciel Scilab : www.scilab.org
- [2] Exemples de cet article : www.elektormagazine.fr/150635
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier
- [4] Logiciel Winfilter : www.winfilter.20m.com



bienvenue dans votre e-choppe

Elektor recommande



Générateur de fonction par DDS, 10 MHz

Ce générateur de fonction, essentiel dans un labo, produit différents signaux (sinus, carrés, dents de scie) d'une amplitude de 0 à 16 Vcc (carré : 18 Vcc).



Deux potentiomètres multitours et huit boutons-poussoirs servent aux différents réglages. Un écran (128 x 128 pixels, de téléphone portable) affiche mesures et menus : forme, fréquence, balayage de fréquence, contraste, mesure amplitude/fréquence, rapport cyclique (carré uniq.). Un μ C ARM7 (ADuC7024BSTZ62) pilote le cœur du générateur, une puce AD9834 DDS (Direct Digital Synthesis). Le micrologiciel écrit en C peut être chargé de deux façons : connecteur JTAG ou interface série. Le circuit imprimé logé dans un boîtier Hammond a besoin de trois tensions d'alimentation (± 15 V, +3.3 V). Le circuit imprimé 150210-2 (LM317/337) permet de réaliser l'alimentation du générateur.

Ton Giesberts, Elektor Labs

www.elektor.fr/dds-function-generator

Vos favoris :

1. Authentique écran tactile de 7" Raspberry Pi
www.elektor.fr/rpi-touchscreen



2. Red Pitaya V1.1
www.elektor.fr/red-pitaya
3. Carte d'E/S Android
www.elektor.fr/android-i-o-board
4. Domotique avec Zelio Logic
www.elektor.fr/domo-zelio
5. L'intégrale des articles d'Elektor (PDF)
www.elektor.fr/compilation-arduino-e-book
6. T-Board bien ARMée
www.elektor.fr/t-board-arm

Maîtrisez les microcontrôleurs à l'aide d'Arduino



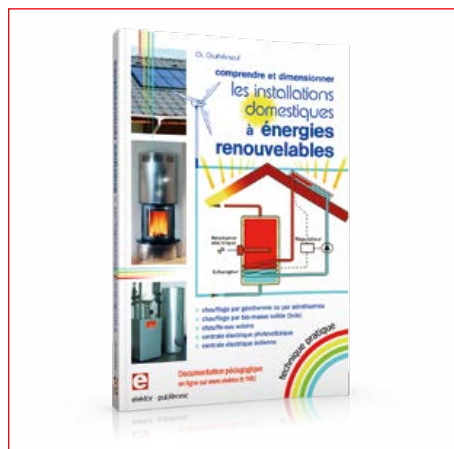
Des montages Arduino inédits, étudiés spécialement pour se débarrasser définitivement de ses amis et de sa famille, et pour se retrouver enfin seul et libre de passer tout son temps à apprendre la programmation des microcontrôleurs ! Le seul livre sérieux de micro-électronique et de micro-informatique dans lequel il soit question d'Arduino mais aussi de Blanche-Neige, de la Cucaracha (en stéréo), de Saint Augustin, de Scarlatti et de Pindare (pas Pandore).



Prix (membres) : 36,85 €

www.elektor.fr/livre-arduino

Les installations domestiques à énergies renouvelables (PDF)



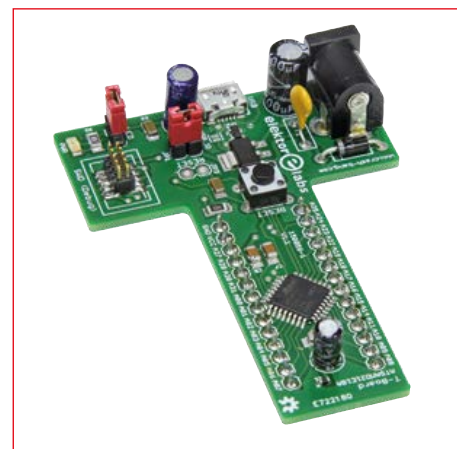
Réchauffement climatique : vous voulez vous engager concrètement par la mise en oeuvre d'une énergie renouvelable chez vous ! Pour cela, vous devez acquérir assez de compétences pour évaluer la pertinence des propositions techniques avancées par les professionnels ; pour chaque énergie renouvelable, il faut la connaissance du vocabulaire, des principes physiques, et des méthodes de dimensionnement des matériels. C'est la mission de cet ouvrage.



Prix (membres) : 17,55 €

www.elektor.fr/installations-domestiques-pdf

T-Board bien ARMée



T-Board Elektor avec un microcontrôleur SAM D à 32 bits d'Atmel, de type ARM Cortex-M0+ (ATSAMD21E18), cadencé à max. 48 MHz avec 256 Ko de mémoire Flash et 32 Ko de SRAM. Toutes les entrées/sorties et les broches d'alimentation sont accessibles sur un connecteur SIL à 14 voies, ce qui permet un enfichage direct dans une plaque d'essai, tout en conservant de la place pour le prototypage. Publié dans Elektor en novembre 2015



Prix (membres) : 22,46 €

www.elektor.fr/t-board-arm



Le Pack Découverte SR2PACKBD permet de mettre en oeuvre les montages décrits par Gérard Guihéneuf dans son ouvrage « Domotique avec Zelio Logic à votre maison plus intelligente grâce à la domotique ». Le pack contient le module Zelio Logic SR2B121BD, le câble de connexion à un PC SR2USB01 et le CD-

ROM du logiciel de programmation Zelio Soft 2 (outil de programmation graphique). L'automate programmable compact Zelio Logic SR2B121BD comporte huit entrées TOR dont quatre entrées analogiques 0-10 V ainsi que quatre sorties à relais, un afficheur LCD rétroéclairé et des touches.

L'alimentation régulée ABL8MEM24012 (vendue séparément) délivre les 24 V CC nécessaires pour donner vie à l'automate.

Pack Découverte Zelio Logic

automate Zelio Logic pour une domotique bon marché et facile à mettre en oeuvre

WunderBar, ou l'IdO en morceaux

Conçu avec goût, pour les développeurs d'applications IdO

e-choppe Elektor en ligne

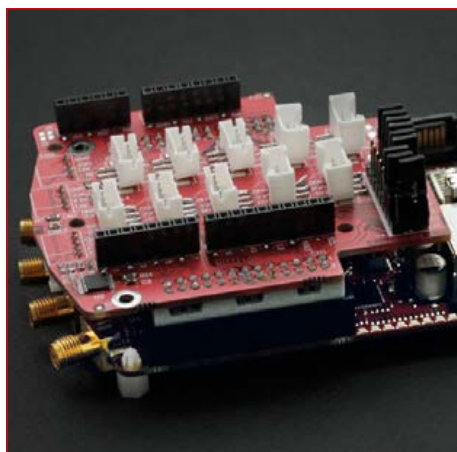
Votre panier d'achats pour l'électronique



Prix (membres) : 179,95 €

www.elektor.fr/pack-decouverte-zelio

Module d'extension pour capteurs pour Red Pitaya



Ce module d'extension pour capteurs qui vient s'enficher sur la plateforme Red Pitaya permet à l'utilisateur d'interagir avec plus de 30 capteurs, indicateurs et actionneurs, directement depuis l'environnement *Visual Programming*. Ce module d'extension est un accessoire idéal pour les débutants qui veulent apprendre en s'amusant et mettre en pratique leurs idées, mais aussi pour les développeurs chevronnés qui veulent un prototype rapidement.



Prix (membres): 22,46 €

www.elektor.fr/red-pitaya-extension

Domotique avec Zelio Logic



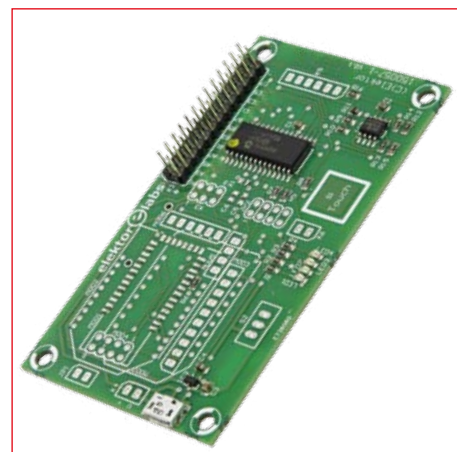
Le module programmable compact Zelio Logic avec 12 entrées/sorties est une solution technique bon marché et facile à mettre en oeuvre, dans un logement, pour automatiser l'éclairage, piloter le chauffage, optimiser la consommation d'électricité ou encore pour se protéger contre les intrusions. Ce livre 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

Carte d'E/S Android



La carte d'E/S Android permet de piloter les ports d'un microcontrôleur PIC avec un appareil sous Android, par Wi-Fi, USB ou Bluetooth (versions 2.0 et 4.0). Les classes JAVA (bibliothèques) spécialement développées pour commander la carte d'E/S Android permettent de se concentrer sur l'application plutôt que sur la manipulation des entrées/sorties. La carte d'E/S Android basée sur un PIC16F1938-I/SO permet d'accéder aux 25 broches d'E/S.



Prix (membres): 22,46 €

www.elektor.fr/android-i-o-board



par **Ken Mills**

Ce kit de démarrage professionnel pour PIC de marque E-blocks contient une version non limitée de Flowcode 6 pour PIC, de quoi développer facilement et rapidement des systèmes à base de PIC. Ce kit convient à la fois aux programmeurs débutants et aux développeurs aguerris. Flowcode 6 est un langage de programmation graphique (organigrammes) avec de nombreux composants prêts à l'emploi. Cela permet de gagner du temps. En outre le simulateur intégré aide à détecter les erreurs. Ce kit bon marché contient un multi-programmateur USB (incl. PIC16F877), une carte



LED, une carte à boutons-poussoirs et une carte LCD. La carte de programmation comporte un système appelé DzGhostdz (surveillance du matériel et identification rapide des problèmes). Les nombreuses cartes complémentaires permettent de construire toutes sortes de systèmes. Toutes les cartes sont accompagnées de feuilles de caractéristiques avec schémas, ce qui permet de réaliser ses propres cartes. Ce kit est un produit fantastique pour les débutants et les experts qui veulent développer rapidement des systèmes. Il permet également d'approfondir ses connaissances en matière d'interfaces et de protocoles

www.elektor.fr/pic-starter-kit

... vous aussi envoyez-nous votre avis sur votre produit favori d'Elektor ; si nous le retenons pour une publication, vous recevrez en échange un bon d'achat de 100 € à valoir dans l'e-shoppe d'Elektor...

J'essaye : www.elektor.fr/rotm



< **ENCORE DES CADEAUX** >

CINQ EUROS DE REMISE

SUR VOTRE PREMIÈRE COMMANDE DE 2016

CODE: EL-2016



Ce bon est valable jusqu'au 29.02.2016



Ce kit d'apprentissage est animé par la carte (Arduino) Uno R3 de SunFounder. Il contient aussi un module convertisseur CC-CC pour réduire la tension d'entrée et un module pour piloter le moteur (L298N). Grâce au *shield* avec les capteurs, la carte Uno de SunFounder peut exploiter plus d'entrées/sorties, donc il est possible d'ajouter nombre de fonctions ! Avec les sketchs fournis en exemple, la voiture peut avancer/reculer, tourner à gauche/droite, suivre une ligne/lumière et éviter des obstacles.



Pack Découverte Zelio Logic

automate Zelio Logic pour une domotique bon marché et facile à mettre en oeuvre

Kit Smart Car pour Arduino

Kit d'apprentissage : suivi de ligne, suivi de lumière, évitement d'obstacle...

e-choppe Elektor en ligne

Votre panier d'achats pour l'électronique

Contenu du kit

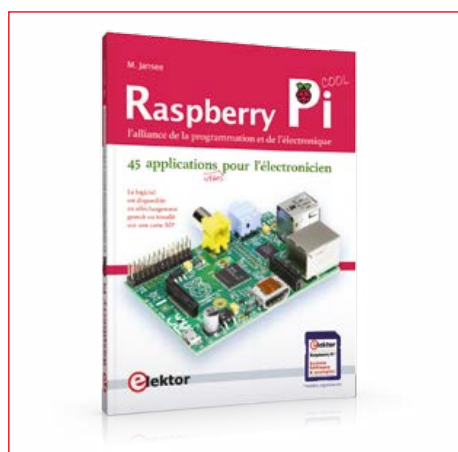
- 1 lot x plaques acryliques
- 1 pack x attaches filetés
- 1x microservo Tower Pro SG90
- 1x microservo Tower Pro MG995
- 2x réducteur
- 4x roue
- 1x carte SunFounder UNO R3
- 1x pilote de moteur CC
- 1x convertisseur-abaisseur CC-CC
- 1x mod. boutons-poussoirs
- 1x commutateur photoélectrique
- 4x mod. phototensible
- 2x mod. évitement d'obstacle
- 5x mod. suivi
- 1x support pour pile double 18650
- 2x câble plat (13 cm)
- 1x câble USB
- fil
- 1x tournevis



Prix (membres) : 112,46 €

www.elektor.fr/smart-car-kit-for-arduino

Raspberry Pi : 45 applications utiles pour l'électronicien



Après une courte présentation du R. Pi, vous installez le logiciel. Suit une introduction brève au système Linux et à la programmation en Bash, Python et Javascript. L'auteur expose seulement ce qui est nécessaire pour comprendre les projets et les adapter à vos besoins, puis il vous propose des projets plaisants, certains simples (clignotant alternatif, commande de moteurs), d'autres compliqués (régulation de vitesse de moteur, serveur ouïe avec CGI...)



Prix (membres) : 30 €

www.elektor.fr/rpi

Personnalisez vos montages Arduino



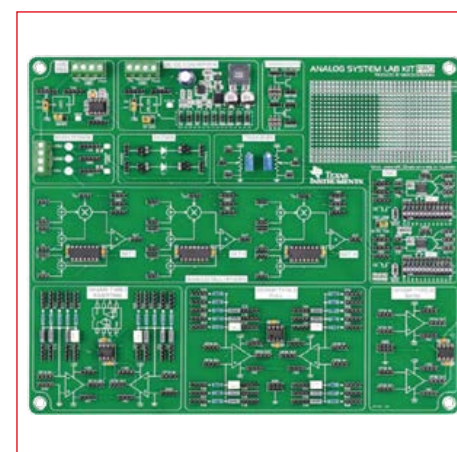
L'objectif de ce livre est de vous emmener à pas guidés vers la maîtrise d'Arduino. Les projets sont regroupés par thème, avec des bases théoriques. Vous apprendrez à exploiter des techniques essentielles (conversion analogique-numérique, modulation de largeur d'impulsion, pilotage de différents types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



Prix (membres) : 31,05 €

www.elektor.fr/personnalisezArduino

Kit laboratoire analogique d'expérimentation



Ce kit permet aux élèves ingénieurs d'effectuer des expériences d'électronique analogique. C'est une plateforme ou un banc d'essai à moindre coût pour réaliser presque tous les systèmes analogiques qui utilisent des circuits intégrés universels comme les ampli-ops et les multiplieurs analogiques. ASLK PRO (Analog System Lab Kit PRO) contient trois ampli-ops (TL082) et trois multiplieurs de précision à large bande (MPY634) de Texas Instruments.



Prix (membres) : 116,96 €

www.elektor.fr/analog-system-lab-kit-pro

bienvenue dans la section **PARTAGER**

Thijs Beckers (Elektor NL)

Une joie partagée est une joie démultipliée !

Des problèmes domestiques ? Le labo d'Elektor peut vous aider. S'il s'agit de problèmes électroniques, bien entendu. De la gestion de l'eau à la dictature du téléphone. Mais pas seulement. Vous trouverez beaucoup de projets sympathiques et utiles sur le site web de notre labo (www.elektor-labs.com). Et si vous êtes « partageur », vous êtes à la bonne adresse. La page « bruits de labo » plus loin dans cette section ne montre que la partie visible de l'iceberg.

Dans sa rubrique Rétronique, Jan Buiting (rédacteur en chef de l'édition anglaise) nous parle entre autres de l'étonnante sensibilité de l'oscilloscope Tektronix Type 503 qu'un aimable lecteur lui a offert pour ses chroniques. Vous y découvrirez aussi pourquoi une bande passante de 450 kHz (vous avez bien lu !) est une qualité et non pas un défaut.



Vous savez tous que la plateforme Red Pitaya est un puissant instrument de mesure à code source ouvert, de la taille d'une carte de crédit. Cet appareil de mesure autour duquel gravite une communauté prouve que le **partage** d'informations peut mener à de grands résultats ! (Parlez-en donc à la communauté des *makers*...) Le banc d'essai de ce mois-ci est consacré à deux toutes nouvelles applis pour Red Pitaya.

Avez-vous déjà entendu parler du *steampunk* ? Ce genre littéraire ne donne pas des idées qu'aux artistes et esprits créatifs, mais aussi aux électroniciens, ce qui aboutit dans certains cas à des machines extraordinaires. Harry Baggen a sélectionné pour vous quelques exemples exceptionnels. Admirez le tourne-disque entraîné par une machine à vapeur et l'imprimante 3D déguisée en ancien coffre de voyage. Nous remercions vivement l'internet, le plus grand réseau de partage d'informations au monde.

Nous avons d'autres informations étonnantes à **partager** avec vous, par exemple comment un briquet peut servir de générateur – une découverte accidentelle de Luc Lemmens, un chercheur de notre labo. Tout cela éveille votre curiosité ? Alors, tournez la page et poursuivez la lecture... ◀

(150564 – version française : Eric Dusart)



des étincelles pour déclencher un dispositif

Harry Baggen (labo d'Elektor)

Un briquet comme générateur ? Si vous avez besoin d'une source de lumière qui puisse délivrer de courtes impulsions sur un large spectre – par exemple pour tester un capteur de lumière – cela peut être un bon moyen. Même si vous ne fumez pas (ou plus) !

On tombe parfois (ou souvent ?) par hasard sur un phénomène remarquable. Rassurez-vous, nous n'avons pas vu d'OVNI au-dessus du château d'Elektor ! Il s'agit en fait d'une observation technique dans notre laboratoire. Luc Lemmens, un de nos concepteurs, travaillait à un projet de ce numéro, un « bouton-poussoir sans fil pour quiz », et il testait la sensibilité de la liaison infrarouge (IR) installée sur le circuit imprimé. Cette liaison consiste en une LED IR qui envoie des impulsions de rayonnement IR vers un récepteur de type TSOP58238. Tous deux « regardent » dans la même direction, et le récepteur ne reçoit des impulsions que lorsqu'elles sont réfléchies, par exemple par une main. Comme la LED émettrice et le récepteur sont relativement

proches l'un de l'autre, ce dernier réagit cependant parfois au rayonnement parasite de la LED. Pour éviter cet effet et mieux diriger le rayonnement de la LED, Luc a voulu l'entourer d'un morceau de gaine thermorétractable. Afin d'ajuster le morceau de gaine autour de la LED, il a utilisé son briquet pour le chauffer. À sa grande surprise, le récepteur a semblé réagir au briquet (le circuit était toujours sous tension). Après avoir muni la LED de son morceau de gaine ajusté, il a continué ses expériences et a constaté que le récepteur IR réagissait bien – jusqu'à une distance de quelques dizaines de centimètres – aux étincelles produites par la pierre du briquet. Et pas à la flamme, qui n'était donc pas nécessaire !

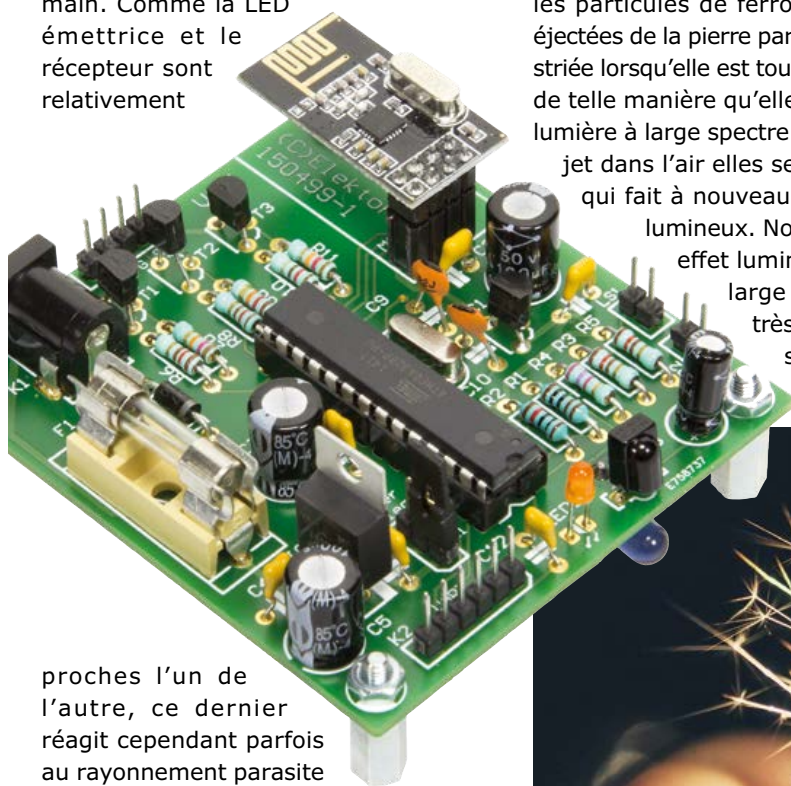
L'explication « saute aux yeux », mais on n'y pense certainement pas tout de suite : les particules de ferrocérium, qui sont éjectées de la pierre par la molette d'acier striée lorsqu'elle est tournée, s'échauffent de telle manière qu'elles produisent une lumière à large spectre ; lors de leur trajet dans l'air elles se refroidissent, ce qui fait à nouveau varier le spectre lumineux. Nous avons donc un effet lumineux avec un très large spectre, mais de très courte durée. Ce spectre contient

pas mal d'infrarouges, ce qui fait réagir le récepteur (dont la plus grande sensibilité se situe autour de 950 nm). Ce circuit intégré contient bien une batterie de filtres, mais les impulsions lumineuses des particules de ferrocérium les passent sans encombre, vu qu'il n'y a pas de décodage des impulsions à la sortie (ça ne marcherait donc pas avec le récepteur IR d'un téléviseur).

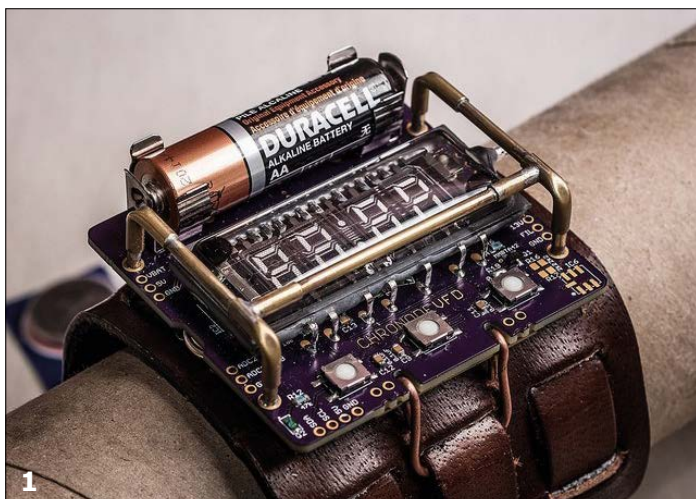
Cela devrait en principe fonctionner aussi avec un briquet muni d'un allumage piézoélectrique, et nous avons bien entendu voulu le tester. Quelqu'un avait heureusement un tel briquet dans sa poche. Le récepteur a en effet réagi, mais le briquet devait être placé beaucoup plus près. Cela vient sans doute du fait que l'étincelle produite par l'élément piézo est relativement petite, et que cet élément est entouré d'un écran métallique. Mais ça marche bien aussi !

Vous voulez tester un récepteur IR ? Eh bien, mesurez le signal de sortie et produisez quelques étincelles avec un briquet. Bon à savoir ! ◀

(150570 – version française : Jean-Louis Mehren)



proches l'un de l'autre, ce dernier réagit cependant parfois au rayonnement parasite de la LED. Pour éviter cet effet et mieux diriger le rayonnement de la LED, Luc a voulu l'entourer d'un



de l'électronique à vapeur ? ce n'est qu'une question d'habillage

Harry Baggen (labo d'Elektor)

Comment donner à un appareil moderne l'air de venir du 19^e siècle ? Si vous tapez *steampunk* dans un moteur de recherche, vous constaterez que beaucoup de gens s'intéressent au rétrofuturisme, même des électroniciens. Nous vous présentons ici une sélection d'objets électroniques à la sauce *steampunk*.

Il y a peu de temps encore, quand un collègue m'a parlé de *steampunk*, je n'avais aucune idée de ce dont il s'agissait. Une courte explication et un peu de recherche sur l'internet ont comblé mes lacunes. J'ai même été surpris par le nombre de personnes qui s'intéressent à ce mouvement. Pour ceux qui n'ont aucune idée de ce que c'est : le *steampunk* est un sous-genre littéraire de la *fantasy* ou de la science-fiction qui se caractérise par des histoires qui se passent à l'époque où la machine à vapeur était la principale source d'énergie (c'est-à-dire le 19^e siècle). Ces histoires sont parsemées d'éléments de science-fiction ou de *fantasy*, comme de futures machines ou inventions techniques, ou de machines existantes (comme des ordinateurs) mais qui auraient été inventées plus tôt que dans la réalité. Vous trouverez plus de détails sur Wikipédia entre autres.

Le *steampunk* est devenu une culture en soi, avec ses vêtements et ses appareils. Il existe des magasins spécialisés dans ce style où vous trouverez des vêtements, des masques, des bijoux, etc.

Nombre de technophiles fabriquent des appareils de style *steampunk*. Il peut s'agir de vieux appareils transformés dans un style victorien ou de tout nouveaux appareils à l'esthétique *steampunk*. Si vous allez fouiner sur l'internet, vous trouverez des objets extravagants et surprenants. En voici quelques exemples.

La belle montre minimaliste ChronodeVFD de J. M. De Cristofaro, plus connu sous son pseudo « johngineer » [1]. Il a créé pour son usage personnel une montre numérique avec

un écran VFD (*vacuum fluorescent display*), d'où son nom (en anglais). Il a conçu cet objet de telle sorte qu'il y ait de la place pour une armature métallique. Elle ne sert pas seulement à protéger le cadran, mais aussi à donner un air cyberpunk — comme il dit — à sa montre. L'ensemble est assez joli, avec son bracelet en cuir et son armature en laiton. Même la pile Duracell est coordonnée à l'ensemble, du fait de ses couleurs noir et bronze.

Mike Cochran, propriétaire de la société CopperSteam, s'est spécialisé dans la conception et la production de systèmes audio et de sculptures *steampunk*. Sur son très bel amplificateur à tubes SteamAmp II [2], le boîtier en bois et en cuivre est vraiment impressionnant. Les transformateurs sont enveloppés dans une armature ressemblant à une chaudière à vapeur et des tubes de raccordement complètent l'ensemble. La « chaudière » du milieu est même dotée d'une ouverture de contrôle sur le côté. On a vraiment l'impression de regarder une véritable machine à vapeur. Pourrez-vous encore vous concentrer sur la musique ?

Et tant que nous sommes dans l'audio : l'une des créations *steampunk* les plus originales à mon avis, c'est le tourne-disque conçu par Simon Jansen, le Steampunk-o-phone [3]. En fait, il ne voulait pas créer un appareil rétrofuturiste, mais un tourne-disque entraîné par une mini-machine à vapeur. Il a tout fabriqué lui-même, même la machine à vapeur. Comme un vieux gramophone à pavillon ne semblait pas pouvoir bien fonctionner, il a finalement opté pour une version plus moderne,



avec une tête de lecture légère. Le plateau tournant est réellement entraîné par une petite machine à vapeur. Il n'y a pas d'autre moteur ! Remarquez que la vitesse est réglée avec une carte Arduino qui adapte le nombre de tours en modifiant la pression de la vapeur de la chaudière. Ce réglage n'est pas optimal et le concepteur admet que le son n'est pas parfait, mais est-ce le plus important ? Un projet épatant en tout cas !

Pour les accros des ordinateurs, le portable *steampunk* est un objet séduisant, si vous en avez les moyens. Richard Nagy s'est spécialisé depuis quelques années dans ce secteur et a conçu plusieurs modèles de portables, d'écrans et de claviers *steampunk*. Vous pouvez en acheter sur le site Datamancer [4]. Ces portables sont de véritables petits bijoux qui fonctionnent parfaitement bien. Le capot est même doté d'une plaque gravée avec une illustration (voir le site pour en savoir plus). Il n'y a pas de portable disponible à l'écriture de ces lignes, mais vous trouverez encore différents claviers et moniteurs.

Que diriez-vous d'une imprimante 3D *steampunk* ? Après avoir acheté une imprimante 3D, John Davis s'est dit que ce serait élégant de loger son imprimante dans une caisse extravagante qui a la forme d'un coffre des années 20 [5]. L'adaptation du coffre (et de l'imprimante) lui a demandé beaucoup d'efforts pour que tout fonctionne parfaitement. Il est possible de fermer le coffre, avec deux ceintures qui maintiennent le tout bien

► Un tourne-disque entraîné par une machine à vapeur

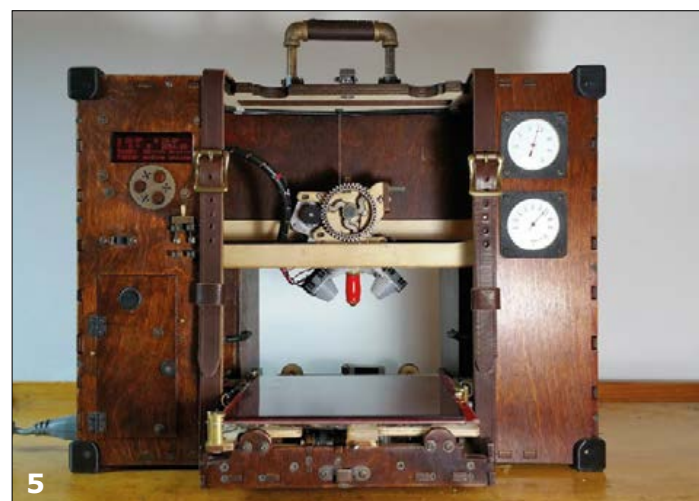
verrouillé. Quelques cadrans anciens donnent à l'ensemble un aspect plus technique. Le seul attribut moderne est visible sur le côté, c'est l'afficheur à quatre lignes.

Les objets rétrofuturistes ne sont pas toujours très pratiques (certains sont même inutilisables), mais ils sont le plus souvent un plaisir pour les yeux. C'est cela qui les rend désirables ! ◀

(150575 – version française : Eric Dusart)

Liens

- [1] www.johngineer.com/blog/?p=1595
- [2] <http://coppersteam.com/>
- [3] www.asciimation.co.nz/bb/2010/11/30/a-steam-punk-record-player
- [4] www.datamancer.net/steampunklaptop2/steampunklaptop2.htm
- [5] <http://blog.atmel.com/2015/09/17/maker-creates-a-steampunk-inspired-3d-printer/>



oscilloscope Tektronix 503

qui fera mieux dans 55 ans ?

Jan Buiting



Plus ancien que l'oscilloscope Tektronix 564 que je vous avais présenté il y a quelques années, plus limité que ses éléphantesques aînés de la série 500, le 503 n'en reste pas moins un instrument intéressant. Analyse parfois édifiante de ses points forts et faibles.

J'étais concentré sur une soudure lorsqu'un visiteur pas vraiment de la partie s'est exclamé en découvrant mon 503 : « Mais qu'est-ce que c'est que ce machin ? ! » Je me suis contenté de marmonner : « C'est marqué sur l'étiquette. » J'ai alors entendu : « Ah... Tektronix Type 503... O-quoi ? Oscilloscope. Oregon. Tiens, il y a des lampes là-dedans ? Et tous ces boutons ! C'est pour un cockpit ? Ça vole ? »

Le 503 est en fait un petit oscilloscope que la brochure commerciale Tektronix de 1960 présente comme un instrument léger et d'entrée de gamme. Destiné aux lycées, étudiants et autres électroniciens trop fauchés pour s'offrir un « gros » de la série 500, le 503 s'est relativement bien vendu jusqu'à l'arrêt de sa production en 1975. Plus d'un demi-siècle après son lancement, j'ai trouvé intéressant de me pencher sur cette perle rare.

Quoi, seulement 450 kHz ?

En 1964, un Tek 503 coûtait 650 \$, ce qui pour beaucoup revenait à déboursier l'équivalent d'une voiture. La concurrence

était féroce dans cette gamme de prix, sans parler des magazines qui expliquaient comment construire soi-même un tel instrument.

Une des caractéristiques du 503 semblait un peu faiblarde aux yeux des acheteurs potentiels : une bande passante allant de CC à 450 kHz. De ce point de vue, même un oscilloscope maison pouvait le surclasser. Cela dit, cette bande passante limitée et d'autres particularités du 503 s'expliquent par ses domaines d'application de prédilection : biomédical et sciences physiques élémentaires.

Aux États-Unis, la présence d'émetteurs GO puissants comme ceux de *Voice of America* faisait craindre que la trace des très faibles signaux « biomédicaux » ne soit parasitée par les RF. Plutôt que de pousser la fréquence au maximum et d'attirer le chaland à grand renfort de mégahertz, le constructeur s'est donc efforcé de réduire la bande passante à environ 450 kHz. L'avantage de cette limitation est que la sensibilité de l'instrument s'en trouve augmentée, et chacun sait que la recherche biomédicale joue avec des microvolts. En passant, la limite supé-

rieure de fréquence nominale des oscilloscopes Tektronix ne varie pas avec le temps : 25 ans après leur dernier calibrage, les dix oscillos de la série 500 de ma collection peuvent dépasser de 20 % la bande passante spécifiée – malgré la poussière, la crasse, les coups et l'absence totale d'entretien.

Ah, des entrées différentielles

Dans le passé, les oscilloscopes trônaient sur les paillasses de labos scolaires où œuvraient des étudiants qui n'y connaissaient rien en tubes à vide ou en condensateurs. Ces chercheurs en herbe mesuraient toutes sortes de choses : réponse de muscles, micro-vibrations, activité cérébrale, petits changements de température, contraintes, acidité, force du vent, pression sanguine... autant de mesures que l'électronicien du labo était chargé de rendre visibles. Aussi étrange que cela puisse paraître, mieux valait alors ne rien savoir de la masse ou des potentiels par rapport à la masse. C'est comme lorsque vous étudiez la forme d'onde d'un composant actif complexe, vous ne vous souciez pas de savoir s'il est à -500 V par rapport au châssis. Au lieu de placer une sonde dans le circuit avec le fil de masse pincé sur le châssis, vous procédez à une mesure différentielle avec deux sondes « flottantes ». Bref le 503 était idéal pour effectuer des mesures non référencées à la masse.

Le 503 possède des entrées différentielles aussi bien pour ses entrées verticales qu'horizontales (**fig. 1**). Cette particularité le rend polyvalent et en fait un écran XY parfait pour tracer des zigzags stylés, p. ex. des courbes de Lissajous. Outre X et Y, le 503 offre une « dimension » Z grâce à une modulation d'intensité via la cathode de son tube cathodique. Génial. Bien entendu, les entrées H et V peuvent aussi servir à effectuer des mesures par rapport à la masse au moyen de la base de temps.

1 mV par division

La sensibilité verticale maximale des oscilloscopes habituels est de 5 mV/div. Grâce à sa bande passante limitée à dessein et à ses nuvistors 8393 appariés, le 503 affiche une sensibilité étonnamment



Figure 1. Pas si courant que ça : des entrées différentielles à la fois pour H et V. Idéal pour une visualisation X-Y et des mesures non référencées à la masse.

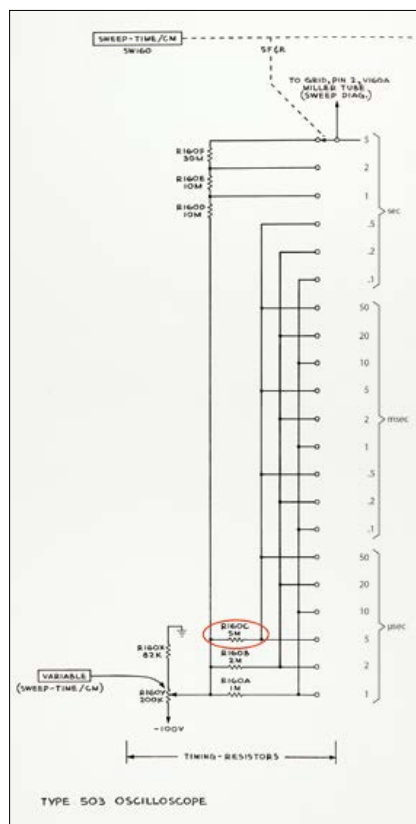


Figure 2. Les résistances de cadencement du 503 sur le commutateur à galettes SW160.



Figure 3. La 5 M Ω /1 % responsable des positions « 5 » de la base de temps présentait une résistance infinie. En attendant de retrouver une valeur équivalente chez Farnell ou Newark, je l'ai remplacée par une 4,7 M Ω . Je pourrais aussi monter en série une 300 k Ω .

stable de 1 mV/div pour les entrées H et V. En observant de près la trace incroyablement nette et lumineuse de l'écran, on peut atteindre une résolution de 100 μ V sur une entrée H ou V – l'ordre de grandeur de grandes ondes transmises par des fils volants, ou de parasites dus aux balais usés d'un aspirateur proche. Le rapport de réjection en mode commun sur les entrées différentielles est au moins de 100/1 de 1 mV à 0,2 V, et vaut les autres plages.

Origine, réparation et bizarreries

J'ai récupéré le 503 en octobre 2015, avec en prime un encombrant chariot (un Scope-Mobile modèle 202-1) et, ce qui est rare, le manuel d'origine. Le vendeur connaissait la rubrique Rétronique et, heureux d'y contribuer, m'a cédé l'ensemble à un prix ridiculement bas. On ne m'avait dit que du bien du 503, à l'exception de « quelques problèmes qui surgissent facilement ». J'ai noté dans mon carnet « Réanimation 503 » :

Extérieur propre, peinture très peu abimée, logo
Tek recouvert d'adhésif. Résistances P/T/N prise o-k.
Alim sur variac o-k, phosphore bleu T-5030-P2 !
Pas de ventilateur !

Odeur sympa. Problèmes : bruit V-VAR, bases de temps « 5 » défectueuses. Ondes CAL 5 mV-500 mV imparfaites. Intérieur intact, poussière, surtout des tubes Philips, fixation tube cathodique cassée + moisissures blanches. Trouvé bobine fil à souder ! Une sortie 12,6 V. Perle rare !

La face avant était comme neuve, mais le logo avait été masqué par un adhésif de mauvaise qualité. Bizarre.

La base de temps était erratique ou inactive sur les positions avec un 5, sauf pour la plus basse, la 5 sec/div (!). Il m'a suffi de regarder le schéma de la **figure 2** pour suspecter la R160C. Une mesure avec mon multimètre Fluke 79 a effectivement indiqué une résistance infinie pour ce composant. Je l'ai remplacé par une 4,7 M Ω (**fig. 3**) et aussitôt les positions « 5 » ont à nouveau fonctionné.

Je me suis ensuite attaqué au bruit du potentiomètre V VAR avec un spray Tuner 600, un désoxydant qui ne laisse pas

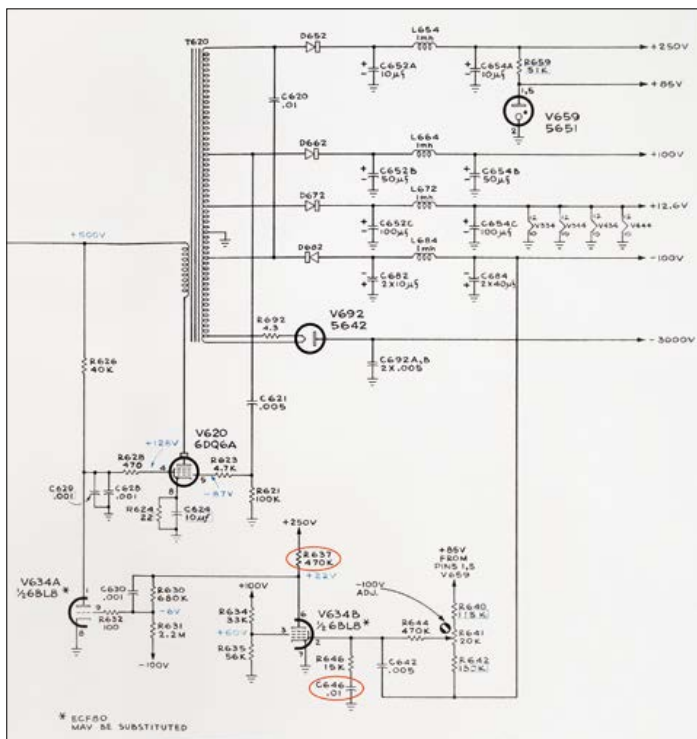


Figure 4. Schéma partiel de l'alimentation à découpage de 25 kHz. Les six tensions de sortie sont régulées, mais la boucle de régulation n'est active que pour le rail de -100 V. L'arme secrète est le T620. La référence de +85 V est fournie par le stabilisateur à gaz V659. Un élément défectueux a peut-être fait fonctionner le 503 durant des années avec des tensions de 20 % supérieures à celles de la spécification.

de dépôt et ne nécessite donc pas de détergent. J'ai ensuite calibré le décalage DC BAL. du panneau Vertical. Comme la trace de mon 503 ne présentait aucune ondulation et était un poil trop sensible sur l'axe vertical, je n'ai pas remarqué un problème dû à l'alimentation. L'alimentation des Tektronix des années 50 et 60 fournit toujours plusieurs tensions réglées à partir d'un niveau de référence commun. Dans le 503, il s'agit d'un stabilisateur à gaz de type 5651 qui délivre -100 V à partir de +85 V via un régulateur à deux tubes (**fig. 4**). Au lieu de -100 V, j'ai mesuré un inquiétant -120 V et 20 % de trop

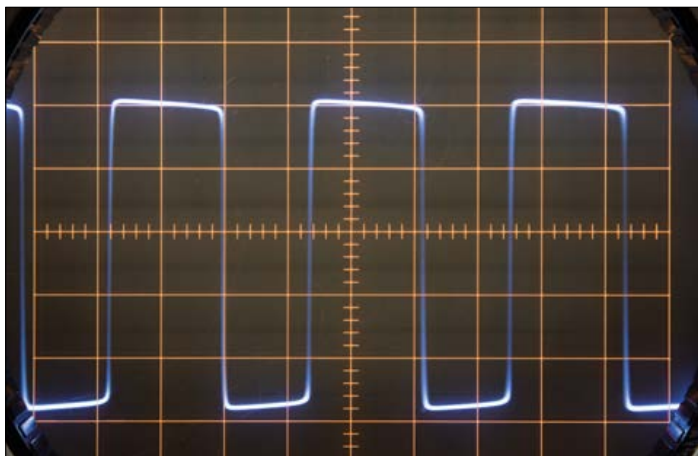


Figure 5. Le signal de test de 500 mV produit par le calibrateur interne manque de raideur et de stabilité, et son rapport cyclique est imprécis. On pouvait s'attendre à mieux de la part de Tektronix.

sur les autres tensions de sortie (+299 V, -120 V, +14,5 V... au secours !) La stabilité vient du transfo T620 dont le rapport des enroulements tenu constant cale les tensions du secondaire avec une précision remarquable. Craignant pour mes quatre nuvistors de chauffage donnés comme « +12,6 V », j'ai vite inséré une résistance de 12 Ω /1 W. Lorsque plus tard j'ai ouvert la doc du nuvistor [1], j'ai vu que la tension nominale de chauffage était de 13,5 V \pm 1,5 V. Ouf.

Oscillateur central V620, un gros 6DQ6A, fonctionne à 25-30 kHz et pour l'essentiel alimente les rails HT ainsi que les nuvistors de chauffage. Si l'une des tensions de sortie de l'alimentation à découpage varie, le V620 neutralise cette variation, car le potentiel de sa grille-écran (g2) est ajusté proportionnellement par V634A à l'intérieur d'une boucle de régulation. Comme je n'observais aucun effet en tournant le réglage de -100 V, j'ai pensé qu'aucune tension de commande n'atteignait la grille d'entrée (g1) de V634B (la pentode d'un ECF80). Et effectivement je mesurais -1,1 V, bien trop peu pour que la régulation se fasse. De son côté, l'anode affichait un ridicule +5 V, ce qui signifiait une pentode très conductrice ! De plus V_{g2} valait un inexplicable +44 V, autrement dit le tube absorbait considérablement le courant de la grille-écran par le diviseur R634/R635. J'ai finalement dessoudé une patte de C646 et, bingo, la tension de référence est aussitôt passée à -98,5 V. C646 avait une valeur o-k, mais se mettait parfois en court-circuit lorsque je le tapotais, effet classique des vieilles céramiques. Avec juste une 15 kΩ en série, le potentiel de la grille d'entrée de V634B était donc à la masse, bien trop positif. Je n'avais pas de céramique de 10 nF, j'ai pris une « moutarde » C de Philips (sur) spécifiée à 400 V CC (contre 500 V pour C646). L'un d'entre vous comprend-il le rôle du réseau R646/C646 ?

Le secret de la légèreté du 503 réside donc dans son alim
 élévatrice à découpage, qui gaspille bien moins de puissance
 qu'un gros transfo ronflant à 50/60 Hz. Inconvénient : l'avarie
 d'un composant à deux sous peut mettre en danger tous les
 autres. Pas sûr qu'un C646 défectueux soit le pire des scénarios
 possibles, mais l'alimentation n'aura fait qu'élever la tension
 de 20 % sans s'autodétruire. Aucun dégât donc, et remplacer
 ce C646 aura été rapide et peu coûteux.

En examinant les autres composants de la section V634, j'ai trouvé 550 k Ω (!) pour R637. Apparemment cette résistance avait survécu à une ddp de 300 V durant un temps indéterminé, au lieu de 225 V. Je l'ai remplacée par une 470 k Ω /0,5 W de mon stock de composants des années 70. Aucune autre résistance ne présentait de dérive, et pas de fuite dans les condensateurs. R644 stabilisait bien la tension sur -100,0 V, et je fus impressionné de mesurer +100,8 V, +250,1 V, +12,8 V et -297,5 V sur les autres sorties avec un ronflement à 25 kHz négligeable.

J'ai à nouveau dégainé mon spray Tuner pour dépoussiérer les potards internes .2 V GAIN et COARSE DC BAL VERT. Tous les réglages de plage ont retrouvé leur jeunesse et ont répondu comme attendu.

Qui a mis ces néons ?

Sans doute pas une lumière : en utilisant le 503 pour visualiser les tensions de son calibrateur de 500 mV-5 mV, je me suis d'abord dit que la forme trop ronde du signal (**fig. 5**) était due à la bande passante limitée de l'instrument. Hélas son aspect s'est révélé pire sur mon oscillo 547 de 50 MHz. Le schéma du

calibrateur (**fig. 6**) dévoile en effet une solution bon marché à base de deux tubes au néon, un circuit sans commune mesure avec le calibrateur de 10 mV-100 V en standard sur les gros 500. Je n'arrive pas à comprendre pourquoi Tektronix n'a pas ajouté un tube 6DJ8 pour offrir un bon dispositif de calibrage. L'onde carrée est créée en mettant sous et hors tension le B886 au travers d'une action combinée de B886, B883, et C883. B886 et B883 sont des tubes au néon dont la tension chute de 60 V lorsqu'ils ne conduisent pas. S'ils ne sont pas conducteurs, une ddp de 80 V doit leur être appliquée pour qu'ils le deviennent. Si ce principe permet d'obtenir un générateur d'ondes carrées de 350 kHz rudimentaire, il dépend hélas des larges tolérances des tubes au néon, avec pour conséquence un rapport cyclique imprécis. Tek indique toutefois avec une certaine honnêteté : 350 Hz \pm 50 % ; rapport cyclique 30-70 %. Le temps de montée de l'onde carrée est... disons décevant.

Je n'ai constaté aucune anomalie après le réglage des deux niveaux de sortie du calibrateur, mais celui-ci me semble indigne d'un instrument de cette qualité.

Sous-évalué et déprécié

Sur quelques pages web et forums consacrés aux anciens oscilloscopes Tektronix, les performances du 503 sont qualifiées de pauvres et son alimentation de capricieuse. J'ai expliqué pourquoi la largeur de bande était limitée à 450 kHz. Quant à l'alimentation, il s'agit d'une conception intelligente adaptée au caractère « léger » de l'instrument.

La plupart de ces critiques proviennent soit d'une comparaison inconsciente avec les « gros » de la série 500, soit d'une mauvaise expérience avec des instruments bricolés ou mal réparés ; parfois aussi ces critiques ne tiennent pas compte de l'époque où fut lancé le 503.

Utilisez-le avec soin, pardonnez les défauts de ses composants vieillissants, et vous verrez que le 503 est un bon instrument. Même moins nombreux, ses composants sont de la même qualité que ceux des coûteux 500, et comme eux sont fixés sur des supports en céramique avec une soudure à l'argent. Et pas de volumineux transfo grâce à son alimentation à découpage. Il a fait le bonheur de l'étudiant de 1960 et peut encore faire celui de 2016, mais pour un autre usage, p ex. pour des mesures audio basiques. Ajoutez l'absence de ventilateur, donc appareil silencieux ! Son manuel est soigné, clair, complet, on regrette juste la disparition du traditionnel personnage humoristique caché dans un schéma.

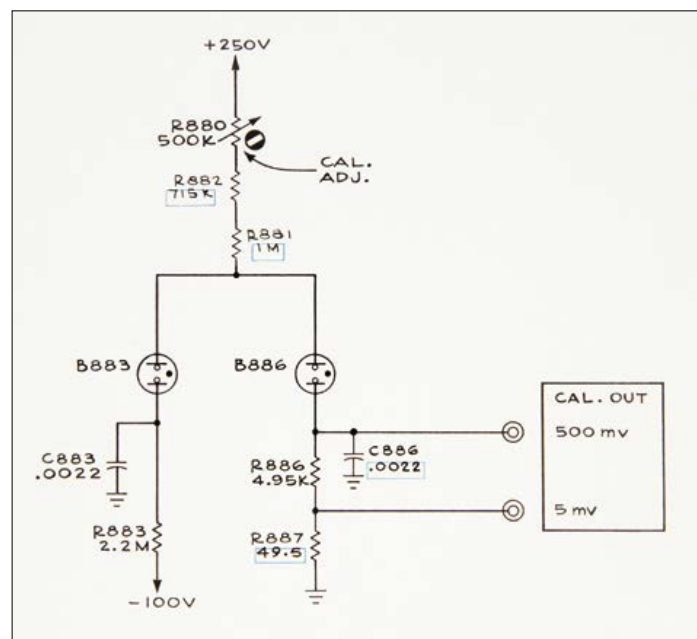


Figure 6. Circuit du calibrateur de 350 Hz, 5 mV et 500 mV du 503. Une sorte de schéma du pauvre. On le croirait presque inspiré d'un projet du magazine *Popular Electronics* !

Les oscilloscopes d'aujourd'hui sont bien sûr plus rapides, plus légers, etc., mais je n'en vois aucun qui puisse tenir 55 ans, et encore moins faire l'objet d'un article Rétrotronique intéressant d'ici là... ◀

(150573 - version française : Hervé Moreau)

Lien

[1] Nuvistor 8393 : www.tubezone.net/pdf/8393.pdf

EST[®] 2004

www.elektor.tv



Rétrotronique est une rubrique mensuelle sur les pages glorieuses et jaunies de l'électronique, avec occasionnellement des montages de légende décrits dans Elektor. Si vous avez des suggestions de sujets à traiter, merci de les télégraphier à redaction@elektor.fr

Fiché dès l'arrivée

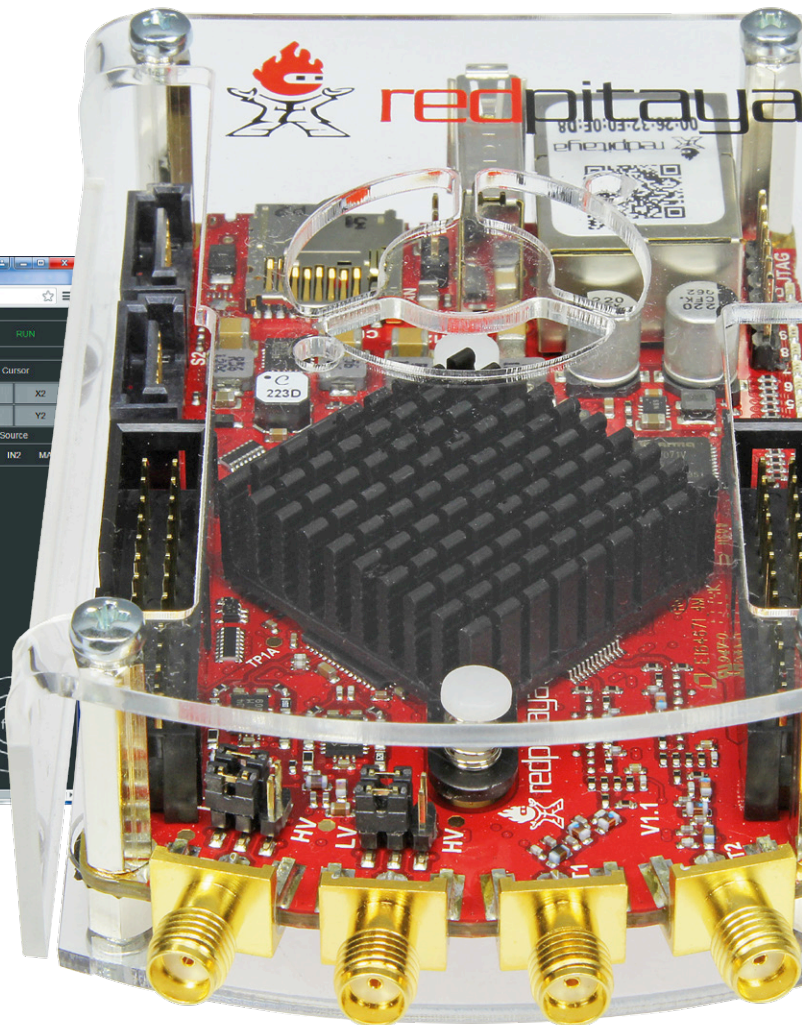
Je photographie toujours les appareils offerts à la rubrique Rétrotronique, car je n'en ai jamais vu qui ne cache quelque bizarrerie ou ne révèle quelque histoire cachée. Pour le 503, j'ai ainsi découvert de la moisissure blanche sur une bague en caoutchouc du tube cathodique ainsi que de l'adhésif sur le logo de Tektronix. Un cas d'espionnage industriel ?



Astuce : un journal placé sous un appareil, même lourd, permet de le déplacer facilement sur une surface vernie, sans risque de l'endommager ou de contrarier Madame. Pratique pour une première inspection ou un nettoyage.

nouvelles applis pour **Red Pitaya**

oscilloscope/générateur & analyseur de spectre



Harry Baggen (labo d'Elektor)

La plateforme Red Pitaya est devenue très populaire dans la communauté Elektor ; elle peut être utilisée non seulement pour des mesures, mais aussi pour diverses expérimentations et applications personnelles. Nous décrivons dans cet article quelques nouvelles applis développées récemment par l'équipe Red Pitaya.

Red Pitaya est le nom d'un module d'expérimentation à code source ouvert, bâti autour d'un circuit Zynq de Xilinx, qui outre une partie FPGA (*field programmable gate array*), comporte aussi un processeur ARM Cortex 9 à deux cœurs (*dual core*). Le module est idéal dans le domaine de la mesure, grâce à la présence d'un double convertisseur A/N et N/A à 14 bits, avec un taux d'échantillonnage maximal de 125 millions d'échantillons par seconde. La partie processeur tourne sous Linux, un environnement bien connu de beaucoup, mais qui nécessite cependant de bonnes connaissances en programmation pour le développement de ses propres applications (voir l'article d'Elektor 12/2014 sur Red Pitaya [1]). Les concepteurs du module y avaient bien entendu réfléchi, et ils ont présenté il y a peu un environnement de programmation très intuitif basé sur des « blocs de construction », chacun exécutant une fonction de base. Les débutants – et même les enfants – peuvent ainsi écrire un programme très rapidement. Cette interface,

appelée *Visual Programming*, ressemble au premier abord au langage de programmation *Scratch*, mais elle offre bien plus de possibilités. Par exemple, les blocs peuvent être combinés facilement avec des modules écrits dans d'autres langages, comme Python ou C/C++.

L'étude détaillée de ce langage de programmation sera pour une autre fois. Ce qui nous intéresse ici, c'est l'utilisation de Red Pitaya comme instrument de mesure « normal ». Beaucoup d'électroniciens acquerront sans doute Red Pitaya pour ses excellentes caractéristiques, et l'utiliseront avec les applications standard, tels l'oscilloscope ou le générateur. Pas de programmation, donc ! Pour ces utilisateurs-là, les développeurs ont créé quelques applis professionnelles, payantes, tout comme d'autres applis du Bazaar (le « magasin » où sont rassemblées toutes les applis officielles et celles développées par les utilisateurs). Pour le moment il y en a deux, un oscilloscope

Il y a même un signal MLI avec rapport cyclique réglable.

avec générateur de fonctions, et un analyseur de spectre ; elles coûtent respectivement 49 et 39 € hors taxe, et sont disponibles – entre autres – chez Elektor. Ces fonctions sont bien sûr les plus utilisées par un électronicien. Les manuels d'utilisation ne sont pas (encore) disponibles, mais la plupart des options et réglages sont abordés dans cet article.

Premiers pas

OK, au travail ! Pour la plupart des oscilloscopes USB, il suffit d'installer le logiciel sur l'ordinateur et de connecter l'appareil via un câble USB. Ce n'est pas le cas avec Red Pitaya, qui fonctionne via un réseau.

Avant de commencer, il faut décider comment on va utiliser la plateforme : liaison sans fil ou avec un câble, connexion à un réseau existant ou accès ponctuel (utile pour une utilisation nomade). Il faut ensuite télécharger une image du système d'exploitation sur une carte micro-SD, puis – en fonction de la manière dont Red Pitaya est connecté au réseau – modifier éventuellement quelques fichiers. Ces étapes sont documentées en long et en large sur le site de Red Pitaya. Nous avons d'abord essayé une connexion câblée au réseau du château d'Elektor, et ensuite une liaison sans fil avec un adaptateur Wi-Fi. Après quelques tâtonnements, cela s'est très bien passé, mais il est vrai que c'est une méthode de travail assez inhabituelle. Après cette étape de configuration, Red Pitaya peut être géré à partir d'un navigateur web. Ceci a l'avantage que l'on peut utiliser la plateforme sous n'importe quel système d'exploitation et à partir de tout appareil : Windows, iOS, Android, PC ou ordiphone, tout fonctionne !

Encore une remarque relative aux connecteurs du module Red Pitaya : afin de gagner de la place, la platine est pourvue de connecteurs SMA, moins courants. Veillez donc à avoir sous la main des adaptateurs SMA-BNC, vous pourrez ainsi utiliser les câbles et sondes standard avec connecteur BNC.

L'écran de bienvenue dans votre navigateur montre quelles applis sont installées sur votre Red Pitaya. Les applications payantes apparaissent avec l'icône d'un cadenas. Vous pouvez acheter un code et l'introduire via « My RP ». C'est là aussi que vous pouvez voir l'adresse IP attribuée à votre Red Pitaya dans le réseau.

Oscilloscope

Après démarrage de l'appli oscilloscope apparaît un espace quadrillé avec divers éléments de réglage (**figure 1**), sur un fond gris (typique des applis payantes Red Pitaya, les applis gratuites ont généralement un fond blanc). On peut d'ailleurs tester l'appli en mode démo avant acquisition. À droite de cette grille se trouvent divers boutons pour ajuster les signaux d'entrée et de sortie, ainsi que pour le réglage du déclenchement et d'autres options ; en dessous, quelques données relatives

aux réglages de sensibilité, de balayage et autres. En bas à droite se trouve une sorte de curseur à quatre directions, avec lequel on peut naviguer entre divers réglages d'échelle et de valeurs. Il y a en haut encore un sélecteur (sous lequel il n'y a pour l'instant qu'un menu de calibrage), un bouton de sélection automatique d'échelle (*auto scale*), et un bouton marche-arrêt (*run/stop*).

La plupart des fonctions dans cet écran relativement sobre (et donc rassurant) sont en fait évidentes. Après une pression sur le bouton *auto scale*, les signaux d'entrée apparaissent rapidement et tout semble réagir assez vite, malgré le passage par un réseau (l'encombrement du réseau jouera sans doute un rôle dans cette rapidité).

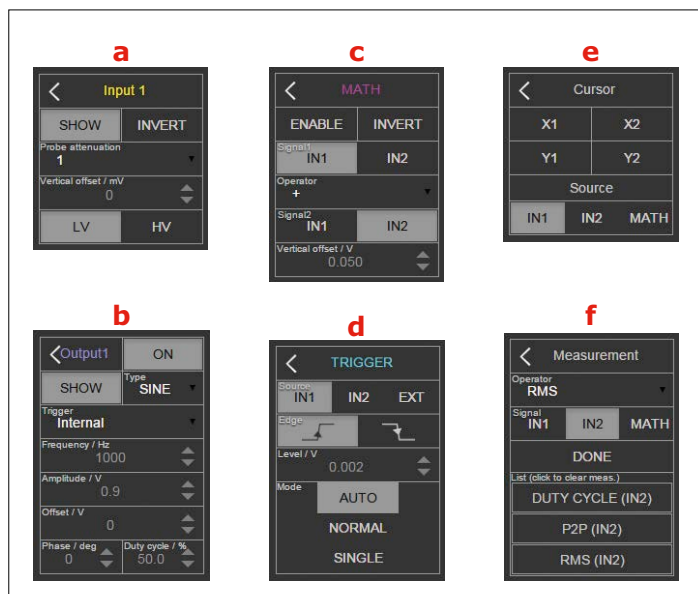


1

Il faut s'habituer aux commandes de droite. Si on veut par ex. modifier le signal d'entrée IN1, il faut appuyer sur une des roues dentées. Un sous-menu apparaît, où on peut enclencher ou supprimer le signal, l'inverser, régler le décalage continu (*offset*), l'atténuation de la sonde raccordée, et la sensibilité de l'entrée sélectionnée du module. Cette dernière possibilité est assez inhabituelle sur un oscilloscope (USB). On peut en principe modifier la sensibilité d'entrée via le logiciel, mais ce n'est pas possible avec Red Pitaya vu qu'il n'y a pas de relais ou de sélecteur électronique sur la platine. Pour un réglage fixe, ce n'est pas un souci, on peut en tenir compte, mais pour un emploi comme oscilloscope universel il faut garder un œil sur ce point ! Une alternative est de toujours commencer avec une atténuation de 10 pour la sonde ; en combinaison avec une sensibilité d'entrée de 1 V sur le module, on a tout de même une plage de 100 V crête à crête.

Pour les sorties, on peut choisir entre diverses formes de signal préprogrammées, on retrouve tous les signaux usuels. On peut modifier la fréquence et l'amplitude, mais aussi l'*offset* et le déphasage. Il y a aussi un signal à modulation de largeur d'im-

2



pulsions (MLI – *PWM, pulse width modulation*, en anglais), avec réglage du rapport cyclique (*duty cycle*). Les formes d'onde sont directement visibles, sans qu'il faille relier une entrée à une sortie, c'est très pratique !

En cliquant ou touchant le nom d'une entrée ou sortie (**figure 2, a et b**), on peut en modifier les réglages à l'aide du curseur en bas à droite. On peut en particulier changer la sensibilité pour chaque signal. Ceci permet donc de présélectionner quatre sensibilités ; l'échelle de temps reste la même pour tous les signaux. Une autre fonction remarquable est offerte par le bouton *fine* au centre du curseur : une simple pression et le réglage est cent fois plus fin. Peut-être utile dans certaines applications ?

Le menu MATH (**figure 2c**) permet diverses opérations sur le signal ou entre signaux, telles qu'addition et soustraction, valeur absolue, ou dérivation dy/dt . Le signal résultant apparaît à l'écran. Les possibilités seront sans doute étendues à l'avenir. Pour la fonction de déclenchement (*triggering*) TRIG (**figure 2d**), nous retrouvons les fonctions habituelles : flanc montant ou descendant, niveau de déclenchement, et sélection entre mode automatique, normal, ou unique.

Le bouton CURSOR (**figure 2e**) permet de faire apparaître une ou deux lignes verticales ou horizontales, entre lesquelles on mesurera respectivement la différence de temps et d'amplitude. Les curseurs peuvent être déplacés à volonté.

Nous avons enfin le menu MEASUREMENT (**figure 2f**), qui permet de montrer à l'écran différentes valeurs des entrées. Il y a actuellement huit options, dont valeur crête à crête, valeur moyenne quadratique (*RMS, root mean square*), et fréquence. Plusieurs valeurs peuvent être sélectionnées simultanément. Ce sont les possibilités qui sont actuellement offertes par l'appli oscilloscope. Ce sont celles que l'on retrouve en standard sur la plupart des oscilloscopes, mais les développeurs travaillent à des extensions, qui seront disponibles en temps voulu. C'est en tout cas suffisant pour un travail usuel avec un oscilloscope.

Analyseur de spectre

Nous serons brefs en ce qui concerne l'analyseur de spectre, vu que l'aspect et la manipulation sont similaires à celles de l'oscilloscope (**figure 3**). Le quadrillage et le système de coor-

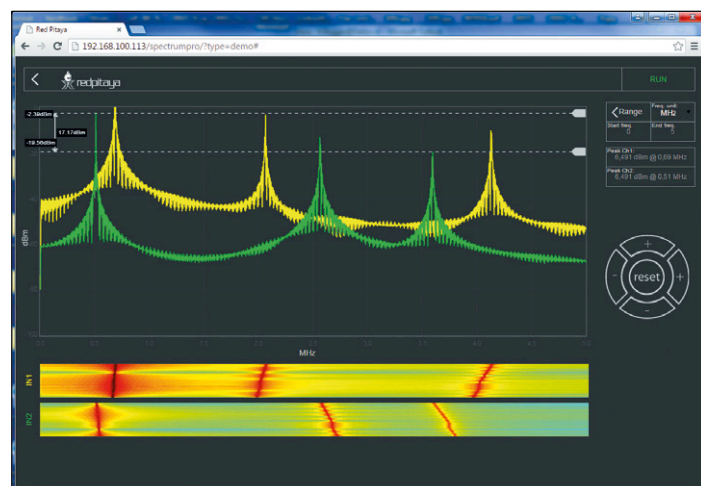
données sont bien entendu différents : en ordonnée, nous avons la valeur du signal en dBm, et en abscisse la fréquence en Hz, kHz ou MHz. En haut à droite nous n'avons qu'un bouton marche-arrêt. En dessous se trouvent les réglages pour les deux canaux d'entrée. On peut ici choisir si un canal est représenté ou non, ou bien s'il doit être « figé ».

Le bouton CURSOR offre les mêmes options que sur l'oscilloscope : deux lignes verticales ou horizontales entre lesquelles on mesure la différence de valeurs. Le sélecteur RANGE permet de choisir l'unité de fréquence, et de choisir les fréquences de départ et d'arrivée. L'amplitude crête et la fréquence associée sont affichées en continu pour les deux canaux d'entrée.

Le curseur en bas à droite permet de modifier les échelles verticale et horizontale afin de montrer plus en détail une zone particulière. Le bouton *reset* au centre du curseur permet le retour aux réglages standard.

En dessous de l'écran, il y a deux bandeaux qui montrent en couleur l'évolution du spectre dans le temps. Il n'y a pas ici d'échelle de mesure, mais cela donne une belle impression de ce qui se passe avec un signal.

Nous en avons fini avec le survol de l'analyseur de spectre. Les possibilités sont assez limitées, et il manque entre autres un basculement entre deux fenêtres de mesure. Ici aussi les développeurs nous ont assuré qu'ils travaillaient bien à des extensions.



3

Ces nouvelles applis constituent un pas dans la bonne direction pour que Red Pitaya devienne un instrument de mesure universel, sans que l'on ait à s'impliquer dans l'aspect matériel, ou même à programmer quoi que ce soit. Nous espérons que les développeurs nous surprendront bientôt avec un tas de nouvelles extensions pour ces applis. ◀

(150595 – version française : Jean-Louis Mehren)

Lien

[1] www.elektormagazine.fr/140277

bruits de labo...

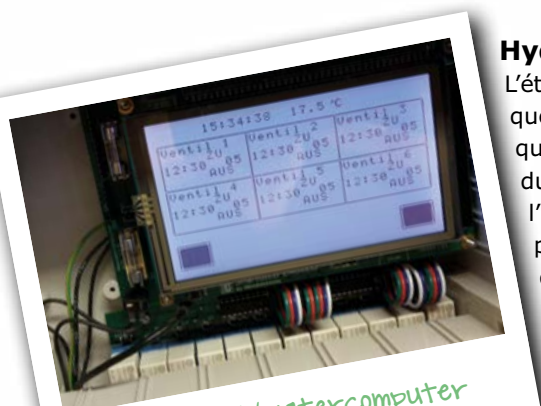
pour résoudre les problèmes domestiques

Souvent c'est la frustration qui donne naissance à un projet. À la maison par exemple, il n'y a pas que les très chers membres de notre famille qui nous agacent. Voici une sélection de projets qui tentent de résoudre des problèmes domestiques ordinaires.



Hydrordinateur

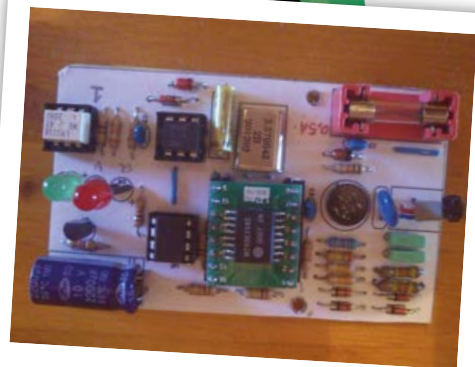
L'été dernier, j'ai passé tant de temps à arroser le jardin que mes activités électroniques en ont pâti. Pendant que j'étais là, le tuyau d'arrosage à la main au lieu du fer à souder et des sondes de mesure, j'ai eu l'idée de cet *hydrordinateur*. En fait, c'est un temporisateur programmable à douze étages qui commande douze relais reliés aux électrovannes.



<http://po.st/watercomputer>

Bloquez les appels téléphoniques indésirables

Un des moyens de mettre fin aux appels intempestifs sur le réseau téléphonique analogique est de les filtrer afin de les refuser avant même de décrocher. C'est ce que propose ce projet qui rejette les appels dont l'identificateur est masqué. Le code dit de présentation de l'identité du demandeur d'appel (PID) est envoyé entre les deux premières sonneries. S'il est invalide, le circuit rejette l'appel.



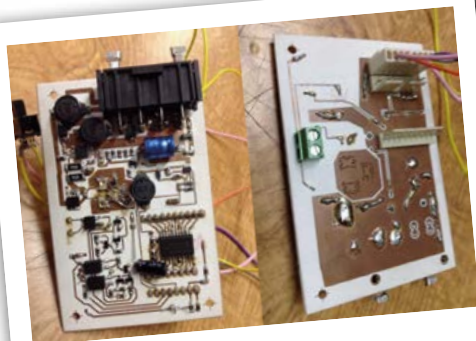
<http://po.st/stopcalling>

Tuyau d'arrosage comme pare-chocs avec « détection du point de contact »

Les robots sont généralement munis d'un pare-chocs pour protéger les meubles ou les gens autour de lui. Ce projet fait appel, comme pare-chocs pour un robot omnidirectionnel, à un banal tuyau d'arrosage souple, couplé à un simple émetteur-récepteur d'ultrasons. Lors du contact avec un obstacle, dès que le tuyau est déformé ne serait-ce que de 2 à 4 mm, la perturbation de la réflexion des ondes ultrasonores à l'intérieur du tuyau permet de déterminer le point de contact. Le projet utilise une carte ATmega8 avec écran LCD.



<http://po.st/hosebumper>



<http://po.st/Dali>

DALI éclaire vos nuits

Tous les projets de notre site Elektor.LABS mériteraient la même attention. Les raisons qui nous font présenter ici tel projet plutôt que tel autre sont parfois obscures... et en même temps lumineuses : DALI, ça vous dit quelque chose ? C'est l'acronyme de *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI) qui définit un protocole de communication et d'interface physique pour l'éclairage, conçu conjointement par plusieurs grands fabricants d'équipement d'éclairage. De nombreux microcontrôleurs sont présentés avec des applications Dali, ceux de NXP par ex., mais vous, dans la vraie vie, entendez-vous parler de DALI ? Quelle que soit votre réponse à cette question, partagez votre expérience, vos connaissances ou votre intérêt avec nous ! ◀

(150565-I)

l'électronique de 2015

vue par nos experts

Thijs Beckers (rédacteur en chef, Elektor Pays-Bas)

Elektor s'efforce d'englober dans son regard curieux tout ce qui vous intéresse, et aussi d'avoir l'œil sur les innovations les plus prometteuses. C'est ce que font les passionnés de toutes professions. Découvrir le regard d'hommes de l'art sur l'année écoulée et sur les promesses de celle qui démarre ne pouvait donc être qu'intéressant. Nous laissons la parole à plusieurs d'entre eux.



Fons Janssen

ingénieur d'applications, Maxim Integrated



Je ne vois rien en particulier. Tous les produits de l'an dernier sont surtout des évolutions (donc peu différents de ce qu'ils étaient). RPi 2 n'est pas un nouveau concept, « juste » une mise à niveau. Idem pour les ordiphones et tablettes, ils sont juste devenus plus grands, avec de meilleurs écrans, plus de MIPS et de mémoire. C'est peut-être de l'**IdO** que viendra la nouveauté. Nous avons lancé un concours d'IdO en interne, mais j'ai été incapable de trouver une idée. Il n'est pas évident d'inventer quelque chose de vraiment nouveau. Peut-être qu'Apple sortira quelque chose de génial ?

Cela dit on voit des choses intéressantes dans le domaine médical, comme la **peau artificielle recréée par impression 3D** et d'autres nanotechnologies. La **télesurveillance médicale** est aussi une vraie nouveauté et peut améliorer la société.



Le scandale Volkswagen sur les émissions polluantes (« Dieselgate »).



Les voitures électriques.



La loi de Moore restera valable longtemps. D'autres technologies prendront le relais de celles d'aujourd'hui quand elles auront des frontières physiques à franchir. L'IA est une technologie intéressante, mais loin de ce qu'Hollywood nous fait croire. 2050 ? Nous lutterons contre la surpopulation.

Alfred Rosenkränzer

ingénieur développement et chef de groupe, Advantest



Je ne vois rien en particulier.



L'**IdO**. Je ne comprends pas ce battage, la plupart de mes collègues non plus. Les **véhicules autonomes**. Ils ne résolvent pas les problèmes de stationnement (je prends le RER). Fiasco : **VW**.



Aucune idée.



La loi de Moore perdurera tant que nous n'aurons pas atteint les frontières physiques de ce qui peut être fait. Les prédictions de George Orwell (1984) étaient prématurées, surveiller tout le monde demanderait d'énormes efforts et ne servirait pas à grand-chose. Rien contre l'IA et ses progrès, mais j'aimerais surtout que l'humanité utilise bien mieux son intelligence *naturelle* ! 2050 ? Je reposerai probablement en paix, donc je ne vois pas si loin.

Robert Lacoste

directeur, Alciom



Comme je travaille surtout dans les RF, je parlerai d'abord de ce sujet : les **infrastructures de réseau**

La nouvelle année est pour certains l'occasion de regarder en arrière, pour d'autres elle est espoir de changements. Quoi qu'il en soit, elle est pour chacun un moment propice à la réflexion. Pour guider mes interlocuteurs, je leur ai dressé une courte liste de questions, libre à eux d'y répondre ou non, en un mot comme en mille.

J'ai ensuite demandé à plusieurs collaborateurs réguliers et autres contacts d'Elektor s'ils acceptaient de se prêter à ce petit jeu à la fois rétrospectif et prospectif. Voici leurs réponses, intégrales, non censurées, parfois candides, parfois inattendues !

Qu'ils soient tous grandement remerciés ici pour leur contribution.



Quels sont les cinq meilleurs produits/projets/inventions technologiques de 2015 ?



dédiées à l'IdO ont fait un grand pas en avant en 2015 : Sigfox a été pionnière, mais l'Alliance LoRa progresse aussi très vite. Ces solutions permettront en gros de relier n'importe quel objet au nuage sans passer par une passerelle personnelle. Elles sont la porte ouverte à de très nombreuses possibilités. Dans le domaine des **instruments de mesure** haut de gamme, on a vu apparaître des produits vraiment impressionnants. Un rêve devenu réalité est par ex. le LabMaster 10-100Zi de Teledyne Lecroy, un oscilloscope de 100 GHz avec CAN en temps réel à 240 Géc./s. Ces instruments sont cependant très chers...



Eh bien, disons 90 % des **objets connectés**. J'ai lu que la durée moyenne d'utilisation des montres connectées et autres objets de suivi était de trois mois après leur achat, autrement dit qu'ils finissaient rapidement dans un tiroir... Nous devons vraiment trouver une réelle utilité à cette technologie !



Probablement celle dont personne ne sait rien. Plus sérieusement, j'espère que 2016 verra **l'impression 3D** faire de nouveaux progrès. Peut-être avec des matériaux conducteurs efficaces, pour oublier les horribles solutions résistives d'aujourd'hui ?



La loi de Moore durera tant que personne n'affirmera qu'utiliser un processeur à 64 bits double cœur de 3 GHz pour naviguer sur l'internet et faire du traitement de texte est excessif. J'espère qu'elle sera remplacée par une loi énonçant que l'efficacité énergétique d'une tâche double chaque année. Je suppose que M. Orwell aurait trouvé très intéressants Face-



Quel est le plus gros flop ou fiasco technologique de 2015 ?



Quelle technologie vous semble la plus prometteuse pour 2016 ?



Dites ce que vous avez envie de dire, ou répondez à l'une des questions suivantes :

- Combien de temps va durer la loi de Moore ?
- George Orwell avait-il vu juste ?
- Que pensez-vous de l'intelligence artificielle ?
- Où en serons-nous en 2050 ?

book, Twitter et autres applications du même genre. Savoir presque en temps réel où sont vos amis et ce qu'ils font est plutôt effrayant. Et l'IdO rendra la chose encore plus facile, sans même parler du pistage de votre ordiphone par Bluetooth ou 2G/3G, en passe de devenir enfantin avec les kits de radio par logiciel bon marché.

Placez n'importe quel chercheur en IA des années 70 ou 80 devant une application comme Siri, il en conclura que l'IA est là. Pour moi l'IA n'est plus un rêve, mais une technologie à notre disposition.

Clemens Valens

directeur technique, Elektor



Les **véhicules autonomes** ? Aucune idée, vraiment.



La **fourche Arduino**.



Le **sans-fil** et la **sécurité**.



Nous sommes toujours trop optimistes quant aux progrès à court terme, mais généralement trop pessimistes pour le long terme. Orwell était trop « optimiste » pour 1984, mais jamais il n'aurait cru à ce que nous avons en 2015. Loi de Moore : idem. IA : idem. 2050 ? Les choses auront changé, mais impossible de dire quoi. Quelque chose auquel

nous n'aurions jamais pensé bouleversera nos vies, et quelque chose d'espéré sera ringard.

Albert Miao

directeur technique, Seeed



Magic Leap. Le **Surface Book** de Windows, surprise de Microsoft. **Voltera**, l'imprimante de circuit imprimé. La **Model X** de Tesla.



Le **Snapdragon 810** de Qualcomm : il a carrément échoué ! L'**iPad Pro**.



La **technologie des communications** pour l'IdO (LTE Cat M/0, BLE 4.2, Wi-Fi Low Energy, etc.)



La loi de Moore durera moins de dix ans. Je ne peux plus être d'accord avec les prédictions de George Orwell.

L'informatique en nuage et les **big data** aideront l'humanité à créer une véritable intelligence artificielle, mais une telle machine sera dangereuse pour les humains s'ils ne savent pas l'utiliser ! En 2050, chaque dispositif personnel sera intégré dans un dispositif de réalité virtuelle. Plus d'ordinateurs, téléphones, bracelets...



Jean-Paul Kok

directeur, AAN B.V. / StreamLine



La technologie LoRa, future révolution. Les transmissions de données à longue distance sans le recours à une carte SIM.

Réussite technologique : l'expérience du test de Bell sur l'intrication des électrons à l'université de Delft.

Les progrès des voitures autonomes.

Les bracelets novateurs qui fournissent en ligne l'état d'un patient.



Les 7,6 milliards de dollars perdus par Microsoft après l'achat de Nokia.



Le développement des ordinateurs quantiques, p. ex. le partenariat entre Intel, l'organisation TNO et la fac de Delft.



Comme Bob Colwell, je pense que les prédictions de Moore prendront fin en 2020.

Harry Baggen

fournisseur de contenu, labo d'Elektor



L'expérience du **test de Bell** qui a colmaté les brèches théoriques avancées par Einstein.

Les ordinateurs modulaires petits et pas chers, comme le **CHIP à 9 \$**. Des **imprimantes 3D** meilleures et moins chères (TIKO).

Les premiers **écrans souples** du commerce (Samsung).



Sans grand intérêt et surfaites : les **montres connectées**.



Les **afficheurs de réalité augmentée**, comme le Hololens de Microsoft.



La loi de Moore cessera d'être valable d'ici quelques années, lorsque les semi-conducteurs se feront à l'échelle atomique.

Alexander Pokorny

responsable adjoint de la division Application, GLYN GmbH & Co. KG



La plateforme **Synergy de Renesas**. Les concepteurs n'aiment pas devoir se farcir les milliers de pages d'un manuel pour savoir comment utiliser un μC , et ils ne peuvent plus consacrer des années au développement d'un produit. La

réponse est la famille Synergy, une combinaison de logiciels certifiés et de μC .

FTDI – EVE2 – FT8xx. La deuxième génération du moteur *Embedded Video Engine* (EVE) permet de piloter un TFT de 18 à 24 bits de profondeur de couleurs et 800 x 600 pixels via une simple interface SPI, Dual SPI ou Quad SPI. Avec EVE on pourrait p. ex. aisément rafraîchir une « vieille » application dotée d'un « petit » μC avec un écran attractif.



VW – le scandale de la gestion des moteurs. Une chance pour l'**électromobilité** – mais les constructeurs allemands ont raté le coche.

Apple – passée de marque phare à entreprise « Moi aussi ».



C'est une question de point de vue. En Europe le mot « énergie » est sur toutes les lèvres ; la batterie **Powerwall** de Tesla pourrait donc y percer. Les propriétaires de maison pourraient stocker l'énergie de leurs panneaux solaires, au lieu d'être obligés de vendre à bas prix le surplus d'énergie et devoir ensuite le racheter plus cher. Je pense que

des entreprises vont prendre le train « écologie » en marche et créer des produits utilisables avec la Powerwall. J'espère que nous, en tant que distributeur, profiterons de ce mouvement, avec beaucoup de nouveaux clients et projets.



Tout a une fin. La loi de Moore est longtemps restée valable, mais à présent nous atteignons la limite de la viabilité économique. Avec des structures de puces plus petites, les coûts de conception et de fabrication augmentent de façon exponentielle, et ces puces ne sont rentables que sur certains segments de marché, pas sur le marché de masse.

Rok Mesar and Črt Valentinčič

directeur et directeur technique, Red Pitaya



Les projets de **secours par drone** qui ont pour objectif de sauver des vies. Le **bracelet Cicret**. Les **ordiphones 3D** qui ne nécessitent pas de lunettes 3D. Les **stockages de données numériques à ADN**. Les **μC parallèles de XMOS**.



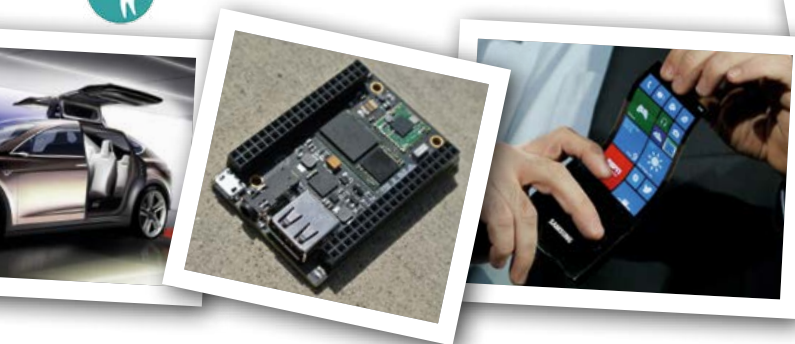
Aucun. Nous pensons que la Hoffmann peut encore dominer le monde automobile ; -



Suivez-nous et restez à l'écoute...



Le comportement quantique augmente les probabilités



d'erreurs à mesure que les transistors deviennent plus petits, et la limite semble proche où la fabrication de puces plus petites deviendra impossible. Le salut de la loi de Moore viendra peut-être de techniques de correction d'erreurs améliorées et des puces à croissance en 3D, mais il nous faudra aussi développer de nouvelles technologies comme les transistors moléculaires.

Le Big Brother d'Orwell est sûrement devenu une réalité, mais pas dans le sens d'un dictateur nous surveillant au travers de télé-écrans ; plutôt sous la forme de grandes entreprises collectant massivement des données publiques et privées à partir de dispositifs comme les ordiphones. Ces données peuvent être utilisées pour de nobles ou mauvais desseins, donc la question reste : « Mais qui garde ces sentinelles ? »

L'intelligence est la capacité à apprendre par l'expérience, à s'adapter aux situations nouvelles, à comprendre et manipuler des concepts abstraits, et à se servir de ses connaissances pour changer son environnement. De ce point de vue, même si les gens du marketing collent le qualificatif « intelligent » sur chaque nouveau produit, aucun dispositif actuel du type

ordiphone ne l'est. En réalité ces appareils sont juste plus ou moins capables de réaliser mathématiquement des tâches complexes qui dépendent d'algorithmes simples et de nos décisions. Tout ce qu'ils font est entièrement prédictible, ils sont incapables de prendre une décision complexe. Cela changera vraisemblablement, puisque les capacités de stockage et de traitement vont augmenter et que nos appareils pourront collecter de plus en plus de données, qu'ils analyseront afin d'en tirer expérience et connaissance.

Dans le futur, nous serons entourés et équipés de produits super intelligents qui, espérons-le, rendront nos vies plus sûres et plus confortables. Si YouTube existe encore, probablement rirons-nous devant des vidéos d'intelligences artificielles faisant des trucs stupides, peut-être même de chats jouant avec ces machines, mais finalement ce sont nos amis qui à nos yeux resteront l'intelligence la plus précieuse, eux qui nous apporteront la même qualité de vie qu'en 2015.

Neil Gruending

développeur de logiciels, WS Technologies



DesignSpark Electrical : par le passé j'ai dû utiliser des outils de CAO guère satisfaisants pour dessiner des schémas de câblage. DS Electrical a changé la donne pour un prix défiant toute concurrence.



Je pense que la **sécurité et la confiance** dans les produits ont pris un sacré coup en 2015, en particulier dans le secteur automobile. Plusieurs vulnérabilités affectant la sécurité des véhicules ont été mises à jour, et il y a eu la débâcle de **Volkswagen**. Ce genre de mauvaise publicité rappelle toutes les conséquences que peut entraîner une décision technique.



Il y a déjà beaucoup de cœurs de processeur, mais je pense que les **circuits intégrés de gestion de puissance** (PMIC) comme le S6AE10xA de Cypress permettront de maximiser les rendements énergétiques. Pour moi une puce analogique reste un des meilleurs moyens de décider quand démarrer un processeur, surtout quand son courant de repos vaut quelques centaines de nA.



Je ne pense pas que la loi de Moore soit morte, juste qu'elle n'est plus si importante. Je crois que la technologie se dirige vers du rendement total obtenu par de la puissance de calcul brute. Les concepteurs doivent maintenant maximiser la quantité de travail par watt, et cela donne des processeurs multicœurs intéressants. À propos, je me demande ce qu'Intel a en tête avec l'achat d'Altera.

Burkhard Kainka

auteur, Elektor, Franzis Verlag GmbH



La **puce à PLL SI5351. Raspberry Pi2**. Les derniers AVR, **dérivés des ARM à 32 bits**. Ma découverte des langages **Python** et **Processing**.



Deutsche Telekom stoppe le RNIS. La voix sur IP est beaucoup moins fiable.



L'**Internet des Objets** avec de petits microcontrôleurs autonomes.



On surévalue les capacités de l'IA. Les machines peuvent juste manipuler de grandes quantités de données. L'intelligence n'appartient qu'aux humains.

Michele Scarlatella

marketing & communication, STMicroelectronics



Le déploiement de l'**informatique vestimentaire pour la santé et le sport**. Les **drones** grand public. Les **voitures autonomes**, les communications inter-voitures et voiture-infrastructure. Les **outils de développement abordables** qui facilitent le travail des *makers* et des amateurs. La sécurité et les infrastructures pour le **paiement mobile**.



Difficile à dire.



Le déploiement progressif de la **5G**.



La robotique et l'IA pourraient effectuer de nombreuses tâches quotidiennes et nous laisser les tâches de « haut niveau ». On peut être sceptique, mais souvenons-nous des réticences lorsque sont apparues les voitures et les machines à laver... Les défis à relever : l'énergie et les ressources naturelles pour les matières premières et la nourriture. Il y aura des tensions si nous ne trouvons pas de solution, des troubles politiques et sociaux dont les conséquences pourraient être terribles et ruiner nombre de nos progrès technologiques.

Michel Künemann

concepteur électronicien indépendant



La **Powerwall** d'Elon Musk : 10 kWh pour 3500 \$, garantie 10 ans.



Les politiciens lorsqu'ils tentent de transiger avec le développement durable.



Le rôle croissant de l'électricité dans les transports.



Apprenez à vos enfants à maîtriser la technologie, sinon ils en deviendront les esclaves.

Thomas Scherer

rédacteur indépendant pour Elektor, psychologue



Les **puces de 7 nm** (la loi de Moore n'est pas morte). L'amélioration progressive des **batteries** et **cellules solaires**. Le prix en baisse des **lampes à LED**. Les **écrans TV 4K et 5K** Retina/(iMac). Les **voitures autonomes**.



Les progrès d'ITER sont très lents. La vitesse des puces atteint ses limites. Lunettes Google. iWatch.



Les voitures autonomes. L'empilage 3D des puces.



C'en sera fini de la loi de Moore vers 2018 avec les structures à 5 nm. L'informatique massivement parallèle (puces à milliers de cœurs) prendra le relais. Les prédictions d'Orwell sur une croissance exponentielle étaient incroyablement précises. L'IA démarrera et changera le monde et la société vers 2025. Le plus grand bouleversement de l'Histoire. Mais on entend beaucoup de théories stupides. Je serai probablement mort en 2050 (désolé, vraiment ;-)). La vie sera peut-être moins drôle dans 34 ans, mais dire ce qui aura vraiment changé relève de l'impossible. Au moins les souris et les claviers seront morts, eux aussi.



Henrik Flodell

directeur marketing / outils de développement, Atmel Corporation



Echo, d'Amazon. Commander par la voix un appareil connecté est beaucoup plus facile que de tapoter sur un ordiphone à la recherche de l'appli commandant un éclairage.

L'appli **Overdrive.** Pas vraiment de 2015, mais je l'ai découverte il y a peu. Elle permet d'emprunter des livres numériques et audio à une bibliothèque de quartier. Grâce à elle, mes trajets vers le bureau sont plus plaisants.

Si je puis sans vergogne glisser ici un produit Atmel : le module WiFi **SAMW25** qui combine notre µC SAMD21 et notre contrôleur de réseau WINC1500. Il est idéal pour les petits dispositifs et facile à utiliser.

Le rasoir à laser **Skarp.** Je l'inclus ici, même s'il n'est pas encore disponible et même s'il s'agit d'un projet Kickstarter. Mais j'aime les lasers...

Le **Hololens** de Microsoft.

Mention honorable à l'**aéroglesseur Delorean.** Tout le monde l'a applaudi en le voyant fuser sur les eaux de la baie de San Francisco lors du *Back to the Future Day*.



Je pense à **Coin.** Ce moyen de paiement avait l'air cool, mais sa sortie a été retardée et ensuite il y a eu des problèmes avec la carte qui ne fonctionnait pas dans certains magasins. Et Coin est devenu obsolète le jour où a été adopté le standard EMV pour les terminaux de point de vente.



Les dispositifs connectés intelligents. Ils sont déjà présents, mais on devrait en voir encore plus en 2016, d'autant que leur « intelligence » commence à être justifiée. Ils occuperont sûrement le marché 2016 de l'IdO.



Allez à au moins une Maker Faire en 2016, surtout si vous n'y êtes jamais allé. La créativité qu'on y trouve est incroyable, et chacun découvrira forcément quelque chose d'intéressant. Et puis ce sera l'occasion de passer nous saluer !

Herman Tuininga

propriétaire de Salland Electronic ; président de l'association FHI



De nombreuses technologies évoluent sans être vraiment nouvelles. L'**IdO** a p. ex. longtemps figuré dans les graphiques *Hype Cycle* de Gartner avant d'être l'objet de toutes les attentions en 2015. La force motrice de l'IdO vient d'une infrastructure mondiale appelée Internet et de blocs de construction électroniques. Grâce à la loi de Moore, les SoC deviennent plus puissants, moins chers et moins gourmands en énergie, Bluetooth LE p. ex. Selon Gartner, une connexion Internet coûtera autour de 1 \$ en 2020.

La croissance rapide du marché de l'**impression 3D** affectera elle aussi nos sociétés, y compris le développement de la robotique.



Le nombre d'objets intelligents (IdO) explose sur Kickstarter, Indiegogo etc. Voulons-nous vraiment d'une connexion omniprésente allant de nos vêtements à nos fourchettes (HAPIfork) ? D'une glacière multifonctions (plus de treize millions de \$ levés) ? D'un bac à œufs intelligent ? Cette débauche de gadgets reflète-t-elle les besoins de la société ? Est-elle judicieuse dans une perspective de durabilité ?



Outre le fait que chacun tente de débusquer la prochaine tendance, une question à la mode est : quels seraient les effets d'un progrès majeur et abrupt de l'IA ? La technologie se développerait-elle jusqu'à un point où nous ne la contrôlerions plus, et où elle deviendrait une singularité malveillante ? Serait-ce la fin du monde tel que nous le connaissons ? Je reprendrai la réponse donnée par Wim Hendriksen lors de la conférence DevLab de janvier 2015 : « Faites avec ! »

(150522 - version française : Hervé Moreau)



Compilées par **Aniek Reuling**

Rien que pour vos œufs



EggBot se vend comme des œufs ! Rien d'étonnant à cela, il permet de pondre des œuvres étonnantes. Et pas uniquement des œufs : EggBot peut imprimer des motifs sur toutes sortes d'objets sphériques de diamètre compris entre 3 et 10 cm, p. ex. des balles de golf, des ampoules, des décorations... EggBot est aussi un moyen ludique pour initier adultes et enfants (à partir de 10 ans) à la robotique faite maison et à la commande numérique par ordinateur (CNC).



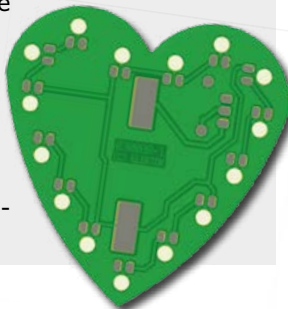
À la Maker Faire de Berlin

Après Taipei et New York, c'est Berlin qui a accueilli la *Maker Faire*, et bien sûr Elektor y était. Ce jour-là étaient célébrés les 25 ans de la réunification allemande, un événement qui a poussé la foule à s'attarder jusque tard le soir. Nous avons reçu la visite de nos amis de Red Pitaya, et notre cours de soudage pour les plus jeunes a fait fureur. Nous avons aussi constaté que de plus en plus de projets MAKE étaient à base d'électronique, et c'est tant mieux, car Elektor entend bien faire partie de cette communauté !

READ ONLY MEMORY

Le magazine Elektor et son éditeur sont fiers de leur histoire. Cette rubrique montre pourquoi.

À peine le bedon du Père Noël s'efface-t-il que déjà pointe le nez alangui de Saint Valentin. Vous trouvez que le chocolat fait grossir ? Que les roses fanent trop vite ? Exprimez votre flamme avec le *Cœur pour la St Valentin* ! Conçu en 2004 par celui qui reste à ce jour notre plus jeune auteur (14 ans), ce mini-projet fut le premier (et dernier) circuit créé pour l'occasion : 15 LED à insérer côté cuivre, l'autre face peut être peinte ou calligraphiée avec ce qui sera à n'en pas douter une déclaration... éclairée !



INDISCRÉTIONS • Plusieurs membres d'Elektor, dont la responsable de clientèle Margriet Debeij et le rejoignent notre toute nouvelle antenne allemande, à Aix-la-Chapelle • Jason Long fait partie des nouveaux a été nommé rédacteur en chef du magazine Elektor Business et des médias associés • Jan Visser du labo technique d'Aix-la-Chapelle



nouveau : dans chaque édition
Elektor & éthique

éthique & robots

Elektorethics par Tessel Renzenbrink

Voitures autonomes, robots d'aide aux tâches ménagères, robots de compagnie pour personnes âgées, la robotique progresse et les robots peuplent de plus en plus nos espaces publics et privés. Un robot qui coexiste avec un humain doit respecter certaines normes sociales, en premier lieu celles relatives à la sécurité. Lorsque vous entrez chez quelqu'un, vous ne marchez pas sur son animal de compagnie sous prétexte qu'il est sur le plus court chemin menant au salon. Un robot doit faire de même.

Alan Winfield enseigne le génie électronique à l'université West of England et construit des « robots éthiques » sensibles à notre sécurité. Avec ses collègues C. Blum et W. Liu, il a mis au point et programmé un robot qui empêche un humain de se blesser même si l'intervention compromet la sécurité du robot lui-même. Les chercheurs ont testé ce comportement dans un scénario où un humain risque de tomber dans un trou et de se blesser.

Les trois roboticiens ont créé un environnement ressemblant à terrain de foot miniature. Un robot e-puck¹ (robot à matériel ouvert conçu pour l'enseignement et la recherche) est placé au centre du terrain et doit atteindre un certain point tout en évitant un trou virtuel. Le robot y parvient toujours, quel que soit l'emplacement initial du trou.

Les expérimentateurs introduisent ensuite un second robot e-puck sur le terrain. Ce robot H (comme Humain) n'a pas conscience du trou et se dirige droit vers le danger. Le premier robot A (comme Asimov) abandonne alors son objectif et vient heurter le robot H pour l'empêcher de tomber dans le trou, même s'il se met en danger en modifiant sa trajectoire.

Dans leur article *Towards an Ethical Robot*², les chercheurs donnent un taux de réussite de 100 % pour A secourant H.

suite au verso ...

rédacteur en chef Jens Nickel (Elektor Allemagne), concepteurs indépendants d'Elektor Labs • Jan Buiting d'Elektor a participé à une réunion Dorkbot à l'Université

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 : **Menno van der Veen**

Âge : **66 ans**

Études : **physique appliquée**

Publications : **Trans Tube Amplifiers, Modern Valve Electronics...**

Formation : **conception d'amplificateurs à tube, transformateurs toroïdaux**

Qui êtes-vous, Menno van der Veen ?

Après avoir été enseignant, j'ai créé à 40 ans un bureau d'études spécialisé dans les amplis à tubes et transfo toroïdaux. J'ai établi des partenariats avec des usines pour fabriquer et vendre mes transformateurs partout dans le monde.

Quel électronicien vous a le plus inspiré ?

Ils sont trop nombreux pour que je les cite tous. Mes idées viennent de tout ce qui m'entoure, mais deux compatriotes néerlandais m'inspirent encore aujourd'hui : le professeur Hendrik de Waard et S.J. Hellings.

Quel sera le progrès le plus notable de l'électronique ?

Je suis persuadé qu'il sera en rapport avec les ordinateurs, mais on peut aussi s'attendre à une belle amélioration du côté des batteries. J'espère aussi que le son ne sera pas oublié. Les haut-parleurs sans fil progressent et ils sont vraiment incroyables, mais la qualité sonore, le sujet qui m'intéresse le plus, est laissée de côté.

De quoi traitera votre prochain livre ?

J'en ai déjà écrit quatre, chacun commence par un exposé théorique et scientifique. Je m'attaque maintenant aux « techniques intelligentes », un domaine très prometteur que je pense approfondir dans mon prochain livre. C'est comme partir à l'aventure. Chaque jour j'apprends quelque chose, et j'aime partager ce que j'ai appris.

Qu'est-ce qui rend les Pays-Bas uniques en matière d'innovations électroniques ?

Difficile à dire. Où que je regarde, je vois de nouvelles idées et possibilités. De ce point de vue les Pays-Bas ne me semblent guère différents des États-Unis par exemple.

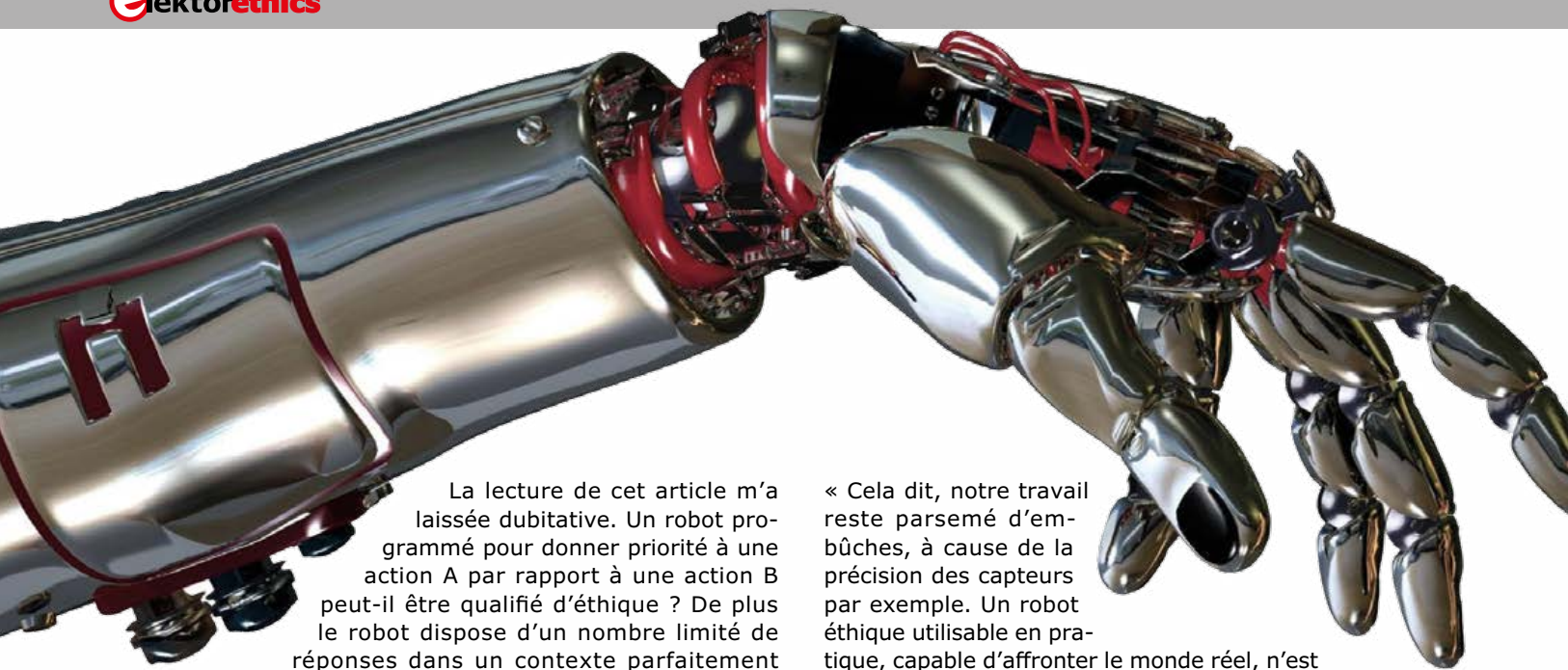
Si je vous offrais 500 € de bon d'achat pour l'e-choppe, qu'achèteriez-vous et pourquoi ?

Un PicoScope et des livres, surtout des livres, pour tous ces auteurs surdoués qui peuvent nous apprendre beaucoup de choses.

Quel est le projet dont vous êtes le plus fier et pourquoi ?

Il y en a trois qui me donnent le sentiment d'avoir moi aussi apporté quelque chose à la communauté électronique : mes toroïdaux, mon circuit Auto-Bias pour tubes et, le plus récent, mes amplis « Trans ». ◀

(150574)



La lecture de cet article m'a laissée dubitative. Un robot programmé pour donner priorité à une action A par rapport à une action B peut-il être qualifié d'éthique ? De plus le robot dispose d'un nombre limité de réponses dans un contexte parfaitement défini : qu'en serait-il dans un environnement aussi complexe et désordonné que le monde humain ? Les situations possibles seraient bien trop nombreuses pour que les réponses à chacune d'entre elles puissent être explicitement codées.

Règle éthique

Lorsque j'ai rencontré Alan Winfield et lui ai fait part de mon scepticisme envers son travail, il m'a fait remarquer que : « nous ne codons pas explicitement les milliers de situations dans lesquelles pourrait se trouver le robot. La seule chose que nous codons « en dur » est la réponse comportementale qu'il peut choisir face à plusieurs alternatives. La grande avancée de cette expérience et de l'architecture particulière du robot, c'est que nous incorporons dans le robot un modèle de lui-même et du monde. »

Ce modèle permet au robot de prédire les conséquences de ses propres actions sans avoir à les accomplir. Lorsque A détecte que H se dirige vers le trou, il exécute ainsi une séquence de scénarios du type « Quoi si ? » qui détermineront 1) qu'il bloquera le chemin de H s'il avance vers la droite, 2) qu'il atteindra son objectif s'il va vers la gauche.

Le mécanisme de prédiction des conséquences d'une action est appelé « moteur de conséquences ». L'étape suivante consiste à pondérer les actions possibles et à introduire une règle éthique : l'assistance au robot H est prioritaire par rapport à toutes les autres actions possibles, même si l'intégrité du robot A est compromise.

Comme me l'expliqua A. Winfield : « Si le robot peut appréhender le monde de manière satisfaisante et initialiser dans son modèle interne – ou reproduire – ce qu'il perçoit de façon précise, alors il peut simuler plusieurs actions possibles. La règle éthique permet simplement de sélectionner une de ces actions d'après les conséquences simulées. Comme la simulation a été initialisée avec le monde tel qu'il est à cet instant particulier, le robot est en mesure de faire face à des situations inconnues. »

« Cela dit, notre travail reste parsemé d'embûches, à cause de la précision des capteurs par exemple. Un robot éthique utilisable en pratique, capable d'affronter le monde réel, n'est donc pas pour demain. Pour cela, nous devons très probablement améliorer ses capacités de détection et compléter son architecture de base. »

Lorsque je lui ai demandé si son robot pouvait être qualifié d'éthique alors qu'il n'était capable d'aucun jugement moral, A. Winfield m'a répondu : « Être programmé pour se comporter de façon éthique ne signifie pas que vous n'avez pas d'éthique. La différence entre vous et moi et notre robot est que vous et moi pouvons choisir de nous comporter ou non de façon éthique. Ce choix relève de notre responsabilité d'adulte. Nos simples robots, eux, ne peuvent pas exercer d'arbitrage moral – leur comportement est câblé. »

Choix éthique

La question du jugement moral est à nouveau apparue lorsque les chercheurs ont introduit un second robot « humain » (H2) sur le terrain. Lorsque H1 et H2 s'approchaient tous deux du trou, le robot A était face à un dilemme : lequel sauver ? L'expérience a été répétée plusieurs fois : dans certains cas A sauvait H1, dans d'autres H2, parfois ils sauvaient les deux robots. Cependant il est aussi arrivé que A soit incapable de prendre une décision et ne cesse d'aller d'un robot à l'autre, pour finalement n'en sauver aucun. Dans leur article, Winfield et ses collègues écrivent : « Nous aurions pu introduire une règle, ou heuristique, permettant à A de choisir H1 ou H2, mais nous ne l'avons pas fait, car nous pensons qu'une telle règle devrait être définie selon des critères éthiques plutôt que purement techniques. Si les robots éthiques s'avèrent une solution pratique, leur conception et leur validation demanderont une collaboration étroite entre roboticiens et éthiciens. »

Éthique robotique

Avant ce travail, A. Winfield avait déjà réfléchi au lien entre éthique et robotique lorsqu'il s'était demandé comment développer la robotique d'une façon telle que la société profite de ses apports. Je lui ai demandé pourquoi nous avons besoin d'une éthique robotique : « Les robots sont semblables à n'importe quelle autre technologie en ce sens qu'ils sont eux aussi por-

¹ Les ingénieurs ont depuis remplacé le robot e-puck par le robot Nao plus polyvalent.

² http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10401-0_8.

Version définitive à télécharger ici : https://drive.google.com/file/d/0BwjY2P_eeOeiZFMtc0dja3pJd28/edit?pli=1

éthique & robots

suite de la page 127

teurs de risques d'ordre éthique. Pensez par exemple aux risques économiques associés aux nouvelles technologies. On peut aussi craindre que la robotique n'accroisse, même involontairement, les inégalités et la fracture numérique. On voit déjà de très grandes entreprises acheter de nombreuses petites entreprises de robotique, et à mes yeux il y a là un risque de monopôle. »

« Il y a aussi des risques éthiques nouveaux, propres à la robotique. Par exemple il n'est pas exclu que certaines personnes se fassent duper par un robot. Imaginez un robot de compagnie se comportant comme s'il tenait à vous. Dans un cas extrême, il pourrait déclencher l'effet Tamagotchi : il vous tient compagnie, mais finalement c'est vous qui devez vous occuper de lui. Un fabricant sans scrupules pourrait alors vous demander de payer une somme supplémentaire pour que votre robot ne « meure » pas. Vous et moi refuserions probablement de payer en arguant qu'il ne s'agit que d'un robot, mais des personnes vulnérables pourraient se faire escroquer. Ce type de risque éthique est faible dans le cas d'un lave-linge ou d'une voiture, mais avec les robots il existe. »

« Donc, oui, nous avons besoin d'une éthique robotique, car toutes sortes de risques d'ordre éthique peuvent apparaître : des risques personnels (risques pour l'utilisateur du robot), des risques sociétaux, économiques, voire même environnementaux. L'éthique robotique doit couvrir tout ce spectre. »

Normalisation

En 2010, A. Winfield a coorganisé sous l'égide du *Engineering and Physical Science Research Council* (l'agence qui finance la plupart des projets de robotique au Royaume-Uni) une table ronde sur le thème « éthique robotique ». Les discussions ont conduit à la publication de cinq principes de robotique³. Les intervenants ont noté que la science-fiction et les médias avaient donné des robots l'image d'une « espèce » indépendante qui peut soit aider, soit desservir les humains. Notant que

les robots sont pourtant construits et utilisés par les humains, les cinq principes ont donc été explicitement formulés pour être applicables à une conduite envers les humains, pas les robots. Le principe n°2 stipule ainsi que « Les humains, et non les robots, sont les agents responsables. Les robots doivent être conçus (...) pour respecter les lois, libertés et droits fondamentaux existants, y compris la vie privée ».

Après l'instauration de ces principes, A. Winfield a rejoint le groupe de réflexion sur l'éthique robotique travaillant pour le *British Standards Institute*. Ils ont proposé un projet de norme appelé *BS8611 : Guide to the Ethical Design and Application of Robots and Robotic Systems*^{4,5}. Selon Winfield : « Notre proposition n'aboutira pas forcément, car une norme doit passer par de nombreuses étapes avant d'être adoptée, et ce processus prend des années. Mais ce serait bien qu'elle soit adoptée, car elle deviendrait alors la première norme d'éthique robotique. Je vois l'éthique comme le premier pas d'un processus qui mènera à des normes. Les normes sont importantes, car elles rendent les produits plus sûrs, leur donnent du crédit, et les gens ont donc confiance dans les produits normalisés. »

Responsabilité partagée

« L'éthique robotique ne devrait pas être la chasse gardée des roboticiens », poursuit Winfield. « Elle devrait impliquer des philosophes, des juristes, et tout un spectre de gens de métiers différents. Pour qu'un ensemble de principes éthiques soit accepté et se développe, il faut que ces principes soient robustes, crédibles et significatifs aux yeux des gens, en particulier des non-techniciens. »

J'ai demandé à A. Winfield comment les électroniciens comme lui pouvaient contribuer à l'éthique robotique : « Lorsque j'étais jeune, la seule chose qui me préoccupait et me fascinait était la technologie et rien d'autre. Avec l'âge, j'ai pris conscience des répercussions de l'électronique sur la société. L'électronique est comme la science, elle n'est pas éthiquement neutre. Lorsque vous concevez un circuit, vous ne travaillez pas dans un vide éthique. J'encourage donc les électroniciens à réfléchir aux implications éthiques et sociétales que peuvent avoir les circuits qu'ils conçoivent. » ◀

(version française : Hervé Moreau)

³ <https://www.epsrc.ac.uk/research/ourportfolio/themes/engineering/activities/principlesofrobotics/>

⁴ <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/Home/Project/201500218>

⁵ <http://drafts.bsigroup.com/Home/Details/55513>

hexadoku casse-tête pour elektorniciens

Ah, les bonnes résolutions du 1^{er} de l'an ! Arrêter de fumer, faire du sport, lire au moins un livre par mois, économiser pour les vacances, penser à fêter les anniversaires, éteindre le portable en fin de semaine, jouer moins à la console, se coucher plus tôt... Et si l'une de vos bonnes résolutions, c'était de remplir la grille d'hexadoku d'Elektor et tenter de remporter un bon d'achat ?

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 tirerons au sort **trois bonnes réponses** internationales reçues dans les délais ; leurs auteurs recevront chacun un chèque-cadeau d'une valeur de **50 €** à valoir dans l'e-choppe d'Elektor. À vos crayons !

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé) avant le **19 février 2016** avec vos coordonnées par courrier électronique exclusivement à **hexadoku@elektor.fr**

Les gagnants

La solution de la grille du numéro de novembre est **7D31E**

Les trois bons Elektor d'une valeur de 50 € vont à :

Monique **Notot** (France), Matthias **Wurzer** (Autriche) et Harald **Metzen** (Allemagne).

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

	6			E						1			3		
9				B	4			F	E						7
A	F			0				5					6	E	
E	0	2		8	C	5		7	A	B		F	1	4	
6	A	C	2									3	5	D	1
8	1	3	7	0	A					D	6	2	B	4	9
B	5	F	4	D	1					7	A	E	6	0	C
D	9	E	0	3	4	6				C	1	2	7	8	A
C	B	1	E	A	6	8				0	F	7	9	3	2
2	3	D	F	B	9					8	5	6	4	E	0
0	7	5	9	F	2					C	4	1	A	B	8
4	8	A	6									F	7	C	D
F	E	0		C	3	9				5	4	D		1	8
1	C			8						2				7	3
5				F	E					A	B				2
	2			7						C				F	

D	5	6	4	2	C	3	7	8	0	E	A	F	1	9	B
0	B	7	E	8	A	9	D	6	1	F	4	2	C	3	5
8	9	A	F	4	E	5	1	2	3	B	C	6	7	D	0
1	C	2	3	6	F	0	B	7	D	9	5	A	E	4	8
E	D	8	9	F	2	6	C	0	4	5	B	1	3	7	A
7	A	3	1	0	9	B	5	D	6	C	2	8	F	E	4
F	6	4	5	A	7	D	3	1	E	8	9	0	2	B	C
B	0	C	2	E	1	4	8	A	F	3	7	5	9	6	D
2	3	9	B	1	4	8	0	5	7	6	E	D	A	C	F
4	F	D	C	9	5	A	E	3	2	0	8	7	B	1	6
A	1	0	7	3	D	C	6	9	B	4	F	E	5	8	2
5	8	E	6	7	B	F	2	C	A	1	D	3	4	0	9
3	2	B	D	5	6	1	9	E	C	A	0	4	8	F	7
6	4	1	8	B	0	2	A	F	9	7	3	C	D	5	E
9	7	5	A	C	3	E	F	4	8	D	6	B	0	2	1
C	E	F	0	D	8	7	4	B	5	2	1	9	6	A	3

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.

DÉCOUVRIR

CRÉER

PARTAGER

elektor●PCB Service

le fruit de la coopération d'elektor et d'eurocircuits



**confiez-nous
la production de vos circuits imprimés,
vous avez tout à y gagner !**

➡ **le prix !**

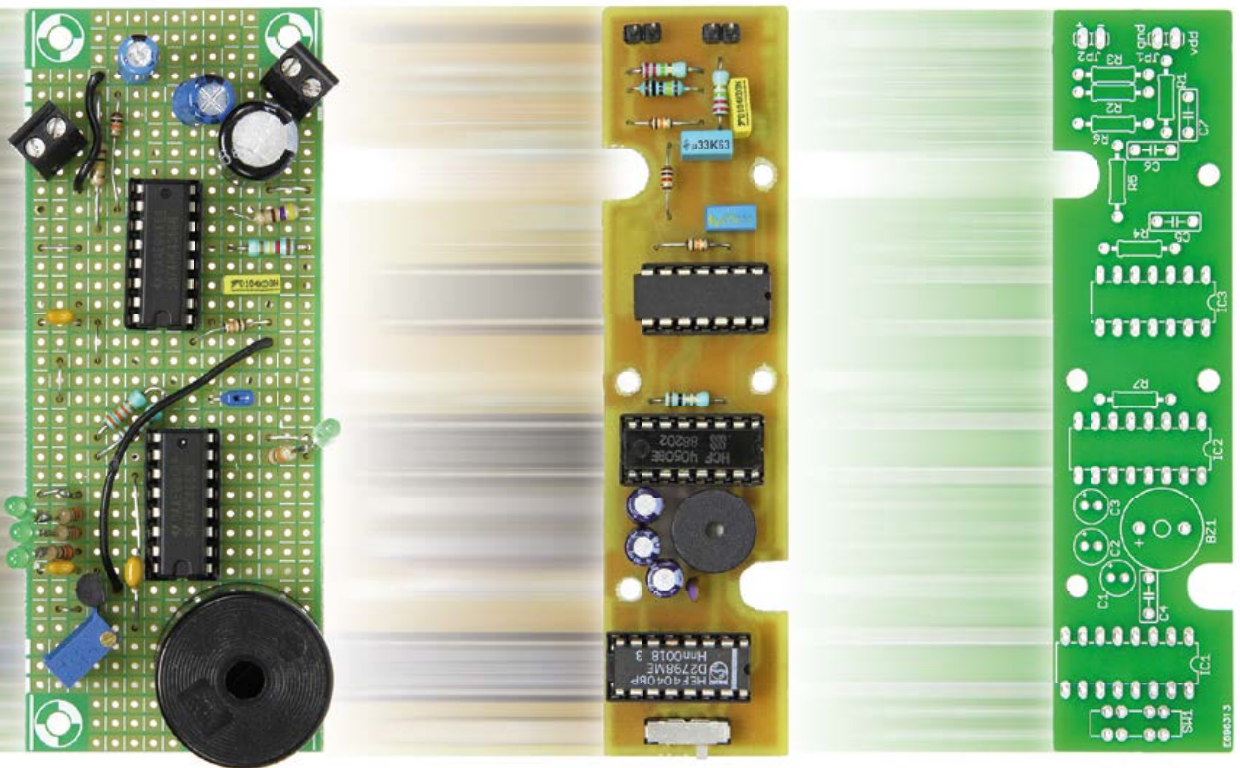
irrésistible...

➡ **la qualité !**

imbattable...

➡ **la fiabilité !**

inégalée...



elektor PCB service est, à l'échelle européenne, le service le plus complet de fabrication sur mesure de circuits imprimés. Ce service commence en ligne, par le confort et l'efficacité d'outils faits sur mesure, étudiés pour vous permettre de visualiser votre commande et de l'analyser *avant* de payer.

- Pour vos débuts, vous utiliserez éventuellement le service de **prototypage sans masque de soudure** ; dans ce cas, vos circuits imprimés simple ou double face sont nus.
- Pour les utilisateurs exigeants, nous proposons les options sans compromis. Le **PCB Visualizer** montre les circuits imprimés tels qu'ils seront livrés, le **PCB checker** procède à une vérification technique de votre circuits imprimés (*design rules check*), et enfin le **PCB configurator** facilite la préparation de la commande.

Des menus bien conçus et un guidage par options accélèrent le processus de commande sans négliger aucun détail. Au moment de passer votre commande, vous savez exactement ce qui sortira de nos machines.



Qu'il soit perso ou pro, confiez votre prochain PCB à :

www.elektorPCBservice.com

Une qualité professionnelle à prix discount.



- ✓ Plus de 45 ans d'expérience
- ✓ Envoi en 24 heures
- ✓ Plus de 50 000 produits

Les langues de notre boutique:

Modes de paiement internationaux:



Arduino Uno Rev.3

- ATmega 328
- 14 interfaces I/O numériques (dont 6 en sortie PWM)
- 6 entrées analogiques
- Prise USB
- ICSP-Header

ARDUINO UNO

23,95

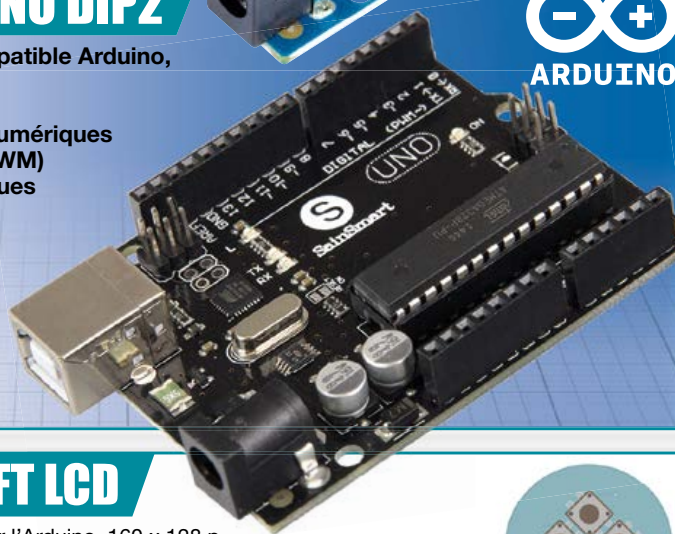


ARDUINO UNO DIP2

- Carte Uno R3 compatible Arduino, Variante DIP
- ATmega 328
- 14 interfaces I/O numériques (dont 6 en sortie PWM)
- 6 entrées analogiques
- Prise USB
- ICSP-Header

ARDUINO UNO DIP2

19,90



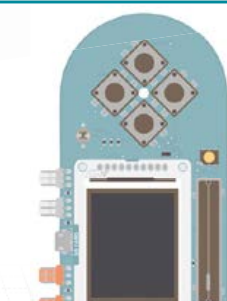
ARDUINO TFT LCD

LCD 4,5 cm (1,77") pour l'Arduino, 160 x 128 p

- Ecran TFT-LCD avec éclairage de fond 18 bits
- Insertion carte micro SD au verso



- SD-Card-Slot
- +5 V
- MISO
- SCK
- MOSI
- LCD CS
- SD CS
- D/C
- Reset
- BL
- Ground



Mais il peut aussi être utilisé avec d'autres Arduino™ sur base AVR (UNO, Leonardo, etc.).

ARDUINO TFT LCD

24,90



**4duino
40 en 1**
Ensemble de capteurs

Avec cet ensemble de capteurs, il ne vous manque pratiquement rien pour votre prochain projet Arduino.

- Joystick
- Sound
- Relais
- Touch
- RGB
- Capteur de chocs
- Interrupteur
- Récepteur / émetteur IR
- Sonde thermique
- Capteur d'humidité
- et bien d'autres choses encore

54,95

ARD SENSOR KIT-2

Capteur de distance à ultrasons

- Portée : 3-400 cm
- Tolérance : 0,3 mm
- 5 V DC



6,70

DEBO SEN ULTRA

S'ABONNER MAINTENANT !

Newsletter

Recevez chaque semaine les toutes dernières informations

- ✓ Nouveautés
- ✓ Les meilleures offres
- ✓ Réductions des prix



Commander maintenant! www.reichelt.fr

Assistance téléphonique en anglais : +49 (0)4422 955-360

Prix du jour ! Prix à la date du : 4.12.2015

Prix en € T.V.A. incluse, frais de port en sus
reichelt elektronik, Elektronikring 1, 26452 Sande (D)