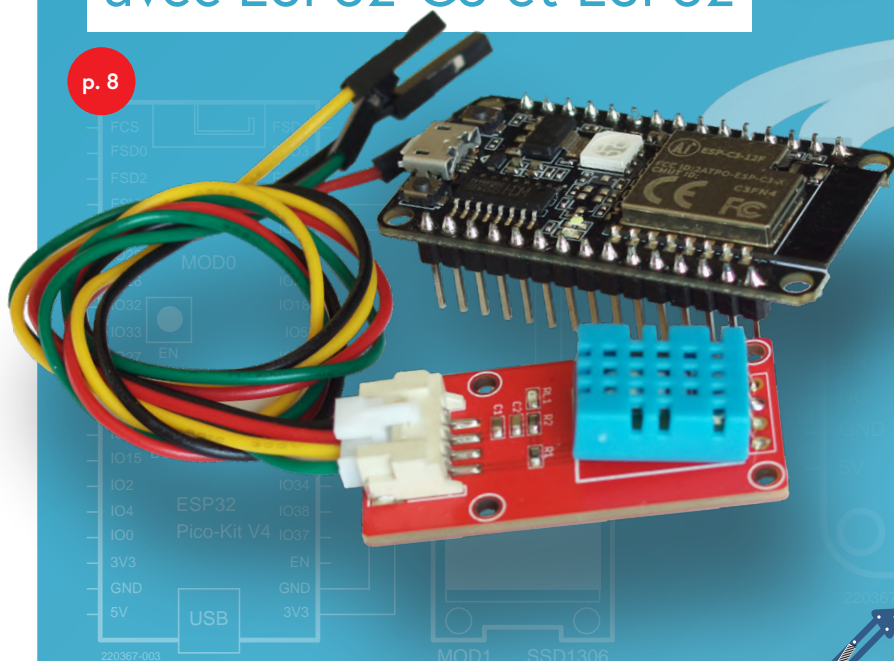


# Bluetooth Low Energy

avec ESP32-C3 et ESP32

p. 8



p. 12

## Renifleur BLE

Reconfiguration du dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary

p. 58

## 5G pour moi tout seul

Maîtrise totale du déploiement de la 5G avec les réseaux cellulaires privés

p. 77

## Envoi de données à Telegram

avec un ESP32 et quelques composants

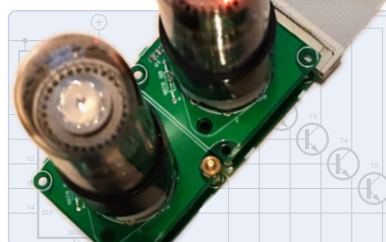
FOCUS SUR

## Applications sans fil



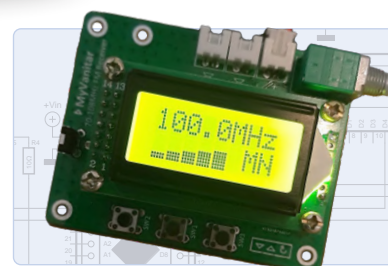
**Électrification d'un vélo**  
Utilisation d'un kit de modification de vélo électrique

p. 26



**Analyseur de spectre audio avec dekatrons**  
Une nouvelle façon d'utiliser les tubes rétro

p. 70



**Récepteur FM numérique avec Arduino et TEA5767**  
Restez à l'écoute avec un Arduino Nano

p. 101



L 19624 - 497 - F. 15,50 € - RD

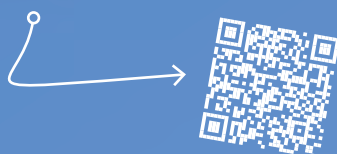
# Elektor TV Shows



## Elektor Engineering Insights

Elektor Industry Insights est une source d'information incontournable pour les ingénieurs et les électroniciens qui souhaitent rester informés sur le monde de l'électronique. Au cours de chaque épisode, Stuart Cording (rédacteur, Elektor) discutera des défis et des solutions d'ingénierie avec des experts de l'industrie électronique.

[www.elektormagazine.com/elektor-engineering-insights](http://www.elektormagazine.com/elektor-engineering-insights)



## Elektor LabTalk

Vous êtes passionné par l'électronique, la programmation ou la théorie de l'ingénierie ? Rejoignez les ingénieurs et rédacteurs de l'équipe Elektor Lab qui partagent leurs astuces, planifient leurs projets électroniques, discutent du magazine Elektor et répondent aux questions de la communauté.

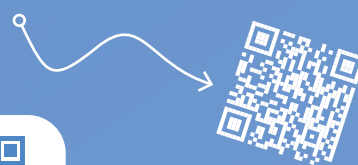
[www.elektormagazine.com/elektor-lab-talk](http://www.elektormagazine.com/elektor-lab-talk)



## **elektor** academy

Vous voulez améliorer vos compétences en électronique ? Découvrez dans Elektor Academy les ressources qui vous permettront de développer vos compétences techniques. Notre expert Stuart Cording vous guidera à travers les cours d'Elektor Academy.

[www.elektormagazine.com/elektor-academy](http://www.elektormagazine.com/elektor-academy)



Restez informé et rejoignez notre chaîne YouTube Elektor TV.  
[www.youtube.com/c/ElektorIM](http://www.youtube.com/c/ElektorIM)





Elektor est édité par :

PUBLITRONIC SARL

c/o Regus Roissy CDG

1, rue de la Haye

BP 12910

FR - 95731 Roissy CDG Cedex

Pour toutes vos questions :

service@elektor.fr

www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

Banque ABN AMRO : Paris

IBAN : FR76 1873 9000 0100 2007 9702 603

BIC : ABNAFRPP

Publicité :

Raoul Morreau

Tél. : +31 (0)6 4403 9907

Courriel : raoul.morreau@elektor.com

DROITS D'AUTEUR :

© 2022 Elektor International Media B.V.

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

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

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

Jens Nickel

rédacteur en chef d'Elektor Magazine



# Le sans-fil dans la pratique

Le futur appartient au sans-fil - une belle coïncidence personnelle m'est arrivée et c'est que je viens, moi aussi, de faire évoluer mon hobby vers le « sans-fil ». Lorsque mes amis et moi enregistrons des vidéos de DJ en plein air, nous transmettons la musique de la table de mixage DJ au mélangeur vidéo à travers les ondes ; et en cas de streaming en direct, elle passe au réseau avec la 4G. Pour la transmission audio, j'ai opté pour un système qui est également utilisé pour les soirées « silent disco ». Un émetteur, plusieurs récepteurs, des latences inférieures au seuil de perception - que demander de mieux. Pour que le public puisse également profiter du set du DJ, je peux emmener des haut-parleurs dans le vert, chacun équipé de son propre récepteur et de sa propre batterie (pour les plus petits, des powerbanks USB feront l'affaire). Tout cela n'est vraiment limité que par mon portefeuille et le bureau de réglementation de Cologne. Oublions le branchement et le débranchement, les adaptateurs en Y, et le trébuchement sur les câbles - je trouve le « sans-fil » vraiment très pratique !

Dans ce numéro, nous nous intéressons à la transmission de données sans fil - via BLE, entre autres. Sur la couverture, mon collègue Mathias Claußen montre comment il est facile de transmettre les valeurs d'un capteur d'un ESP32-C3 à un ESP32 sans utiliser le wifi. Avec les bonnes bibliothèques, programmer une petite application BLE devient ainsi chose aisée. Dans ce numéro, vous trouverez également un renifleur BLE et un petit projet qui transmet des données de mesure au service de messagerie Telegram. Et dans notre section Industrie, Stuart Cording se penche sur les réseaux 5G exploités par le secteur privé.

Pour en savoir plus sur le sans-fil, consultez notre webinaire du 13 octobre et, bien sûr, notre traditionnel Elektor Lab Talk (voir page 24 pour en savoir plus) !

## notre équipe



Rédacteur en chef :

Jens Nickel

Rédaction :

Asma Adhimi, Eric Bogers, Rolf Gerstendorf, Thomas Scherer

Laboratoire :

Mathias Claussen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens

Maquette :

Giel Dols, Harmen Heida



Elektor est membre de la FIPP, une organisation qui « se développe depuis presque 100 ans pour réunir des propriétaires de médias et des créateurs de contenu du monde entier ».

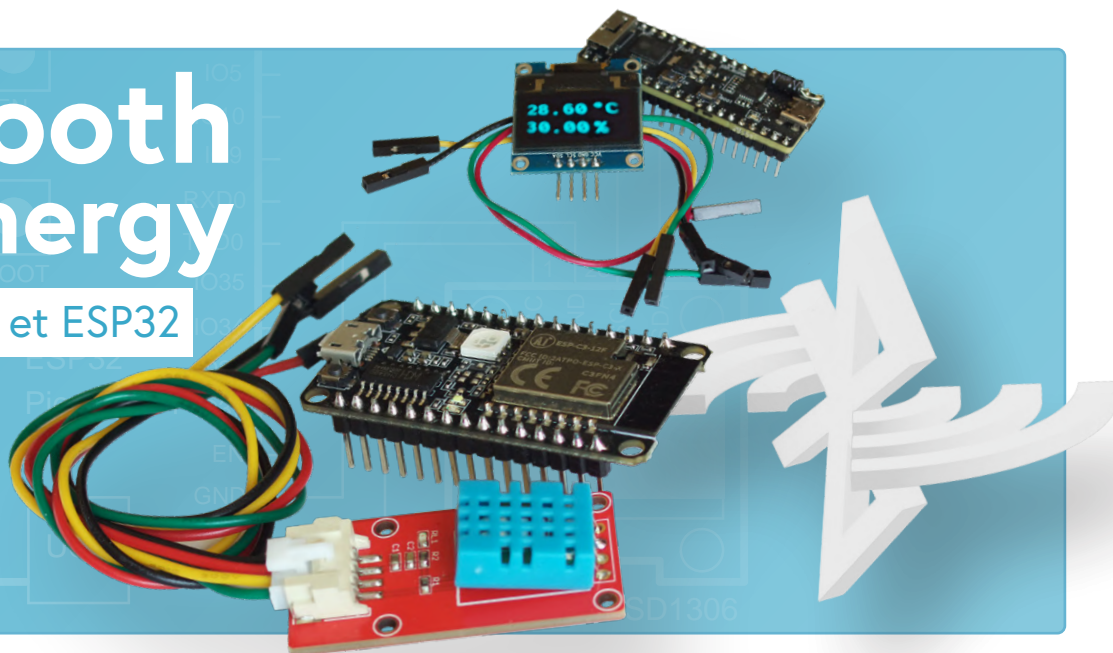


Elektor est membre de VDZ (association d'éditeurs de magazines allemands) qui « représente les intérêts communs de 500 éditeurs allemands grand public et B2B. »

## Bluetooth Low Energy

avec ESP32-C3 et ESP32

8



## Rubriques

### 3 Édito

### 6 electronica Fast Forward Start- & Scale-Up Awards

Les préparatifs s'accélèrent !

### 34 Démarrer en électronique

Multiplication de tensions

### 38 Sur le vif

Transmutations

### 57 Projet 2.0

Corrections, mises à jour et courriers des lecteurs

### 68 Rétronique

Horloge Tour du Rhin Mod 2

### 88 Zone D

Le transistor unijonction programmable expliqué

### 106 Visite à domicile

Les violons d'Ingres ne prennent pas la poussière

### 112 Questions d'éthique

Une décennie d'éthique en électronique

### 114 Hexadoku

Casse-tête pour elektorniciens

### 40 Teensy 4.0 – comment cette carte peut-elle être aussi rapide ?

Ou: La vitesse, ce n'est pas sorcier !

### 46 Simulation d'amplificateur de puissance audio avec TINA

« Simuler avant de construire »

#### FOCUS

### 50 Développer et utiliser vos nœuds LoRaWAN pour l'Internet des Objets (IdO)

Exemple de chapitre : Modules LoRaWAN Dragino LHT65, LDS01 et LDS02

### 80 Filtre coupe-bande de Fliege pour les mesures audio

Faites de meilleures mesures avec un filtre coupe-bande

### 85 Démontage d'un compteur de CO2

Peut-on le détourner pour ses projets ?

### 94 Écran tactile rond pour Raspberry Pi

L'HyperPixel 2.1 Round de Pimoroni

### 105 Convertir une interface OLED de SPI vers I²C

## Industrie

#### FOCUS

### 58 5G pour moi tout seul

Maîtrise totale du déploiement de la 5G avec les réseaux cellulaires privés

#### FOCUS

### 62 Infographies

Faits et chiffres sur le sans-fil

#### FOCUS

### 64 Comment mon appareil apprend-il à transmettre ?

Les meilleurs conseils pour développer une interface WiFi

## Articles de fond

### 24 Contenu vidéo d'Elektor

Livestreams, webinaires et cours pour les électroniciens et les fabricants professionnels

### 26 Électrification d'un vélo

Utilisation d'un kit de modification de vélo électrique





## Réalisations

### FOCUS

- 8 Bluetooth Low Energy avec ESP32-C3 et ESP32**  
Il n'y a pas que le wifi dans la vie...

### FOCUS

- 12 Renifleur BLE**  
Reconfiguration du dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary

- 16 Cube magique de LED RGB**  
Circuit avec un RP2040

- 21 Marche/arrêt automatique pour compresseur de pâte à souder**

- 70 Analyseur de spectre audio avec dekatrons**  
une nouvelle façon d'utiliser les tubes rétro

### FOCUS

- 77 Envoi de données à Telegram**  
Avec un ESP32 et quelques composants

### FOCUS

- 96 Télémessure avec détection des pertes de connexion**  
Grâce aux modules nRF24L01+

### FOCUS

- 100 Récepteur FM numérique avec Arduino et TEA5767**  
Restez à l'écoute avec un Arduino Nano

**marche/arrêt automatique pour compresseur de pâte à souder**



## Bientôt dans ces pages

### Le numéro de novembre-décembre 2022

Vous retrouverez dans le prochain magazine Elektor l'habituel mélange stimulant de réalisations originales, de circuits soigneusement étudiés, d'articles de fond, de sujets nouveaux, de trucs et d'astuces pour les électroniciens actifs. Le thème de ce numéro sera « Production et composants ».

### Quelques-uns des points forts :

- > Amplificateur haut de gamme Fortissimo-100 Radio DAB+
- > Contrôle d'accès avec Bluetooth
- > Commande des guirlandes de Noël avec FreeRTOS
- > Conception de circuits imprimés : trucs et astuces
- > Mesure de la qualité de l'air avec le RP2040
- > Outils de conception pour les filtres analogiques

### Et bien d'autres choses encore !

Le numéro de novembre-décembre 2022 du magazine Elektor sera publié aux alentours du 10 novembre 2022. La date d'arrivée du magazine papier chez les abonnés dépend des aléas d'acheminement. Le contenu et les titres des articles peuvent être modifiés.



# E-FFWD

## electronica fast forward Start- & Scale-Up Awards

les préparatifs s'accélèrent !

Udo Bormann et Erik Jansen (Elektor)

Après une période de délibération interne en juin, nous avons commencé à contacter la liste restreinte des start-up, scale-up et autres innovateurs candidats pour l'édition 2022 du concours *electronica fast forward awards*. Un jury d'experts a déjà sélectionné neuf des innovations les plus intéressantes de l'année – de l'énergie solaire aux véhicules légers électriques en passant par la robotique.

Comme nous l'avons annoncé précédemment [1], l'édition 2022 d'*electronica fast forward Start- & Scale-Up Awards* promet d'être un spectacle extraspécial, avec un stand de 273 m2 dans l'un des meilleurs emplacements du plus grand événement mondial [2] de l'industrie électronique à Munich.



### Sélection des start-up et des scale-up

À partir des candidatures et des avis des experts du secteur, notre longue liste initiale a été évaluée par notre jury composé d'un ingénieur en électronique, d'un rédacteur, d'un spécialiste en marketing et d'un expert en affaires. Ils ont classé chaque start-up et scale-up selon notre système de classement éprouvé, spécialement développé pour cet événement. Les premières entreprises et institutions retenues ont déjà été contactées et ont confirmé leur participation.

Dans le paragraphe suivant, nous vous présentons le premier aperçu des entreprises déjà sélectionnées cette année. Chacune d'entre elles est une entreprise ou une institution à l'aube de son succès ou déjà plus avancée. Des entrepreneurs innovants, forces de la nature, sont au cœur de l'action, transformant à jamais leur domaine ou créant eux-mêmes un tout nouveau marché. C'est ce à quoi Elektor et Messe München s'efforcent depuis la première édition du concours fast forward Awards en 2016 [3] : offrir un stand aux jeunes entrepreneurs innovants et les présenter aux principaux acteurs de notre secteur. Le salon electronica de Munich accueille presque tous les acteurs majeurs de l'industrie électronique, on ne peut donc rêver d'un meilleur lancement pour soi en tant que nouvel acteur ambitieux.

Bien sûr, outre le stand et le réseau d'*electronica* 2022, les participants ont encore beaucoup à gagner. Cette année encore, Elektor met, un budget marketing de pas moins de 150 000 € à la disposition des lauréats.







## Entreprises retenues

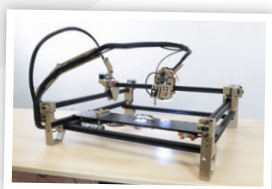


**Wheel.me** est la première roue autonome au monde qui comprend un composant robotique, une technologie de navigation intérieure et des analyses de données, vous permettant de faire bouger tout et n'importe quoi sans effort.

<https://wheel.me>

La mission d'**Energy Robotics** est de libérer les humains des tâches dangereuses, répétitives et fastidieuses grâce à la robotique autonome. Pour atteindre cet objectif, ils associent aux robots les logiciels automatisés intelligents les plus récents et les plus efficaces. Ingénieurs passionnés, ils s'efforcent toujours d'améliorer leurs logiciels de robotique.

[www.energy-robotics.com](http://www.energy-robotics.com)



L'objectif de la **LumenPnP**, et des futures machines Opulo, est d'aider les gens à combler le fossé entre le prototypage et la production de masse.

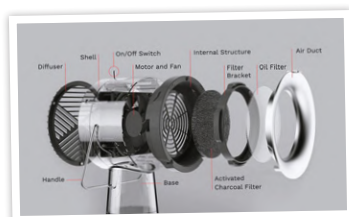
<https://opulo.io>

**Treesense** permet aux gens de mieux comprendre le monde des arbres. Ils font tout leur possible pour que les humains puissent utiliser durablement les ressources limitées de l'écosystème. Il s'agit avant tout de l'eau, de l'air pur, de la fertilité des sols, du climat, de la protection des biotopes et des espèces, et surtout des services récréatifs de la forêt. Ils recherchent et développent des technologies basées sur les dernières découvertes scientifiques pour accorder aux arbres une place centrale dans notre écosystème.

<https://treesense.net>

*« C'est toujours un moment formidable et excitant de voir et d'entendre les premières réactions des entreprises sélectionnées. Certaines sont ravies, d'autres sont surprises, mais évidemment, elles sont toutes fières de faire partie des premières sélections de l'équipe du jury. Cette année, e-ffwd ne se limite pas aux start-up en phase de démarrage et invite également des entreprises à grande échelle, ce qui renforcera certainement l'attrait du stand du concours Fast Forwards. »*

*Udo Bormann, le directeur de l'événement e-ffwd d'Elektor,*



**Airhood** est la première hotte portable au monde à éliminer la graisse et la fumée, les odeurs de cuisson et la formation de résidus huileux.

<https://the-airhood.myshopify.com>

**V-Juice** sera le meilleur et le plus intelligent dispositif de charge que vous pourrez acheter. C'est la station de charge la plus compacte et la plus discrète qui peut être installée et réinstallée partout où il y a une surface.

[www.v-juice.xyz](http://www.v-juice.xyz)

**Include** est une entreprise croate de matériel informatique qui est devenue l'un des meilleurs producteurs de mobilier urbain intelligent en Europe. Elle est déjà la plus grande entreprise de production de bancs urbains à énergie solaire au monde. Leur banc intelligent est le banc urbain le plus avancé sur le marché. Il offre une recharge par câble et sans fil pour tous les appareils intelligents, un hotspot wifi gratuit, un éclairage public le soir, 15 capteurs pour suivre l'utilisation du banc et les données environnementales, et un tableau de bord - une plateforme web avancée pour le suivi des données en temps réel.

<https://include.eu>

**Solar Team Eindhoven** aspire à un avenir durable, où tout est alimenté par le soleil. Cette équipe d'étudiants a le pouvoir et la liberté d'innover. En créant des véhicules solaires innovants et économes en énergie, ils inspirent le marché et le secteur actuel afin d'accélérer la transition vers un avenir plus durable, tant en matière de mobilité que d'énergie.

<https://solarteameindhoven.nl>



L'objectif d'**ElectricBrands** est clairement déterminé : la XBUS sera le meilleur et le plus innovant des véhicules légers électriques au monde.

<https://electricbrands.de> 

220386-04

### Il n'est jamais trop tard !

Si vous êtes une start-up, une scale-up, ou une institution et que vous souhaitez participer à nos prochains événements, envoyez un courriel à [marketing@elektor.com](mailto:marketing@elektor.com) et présentez-nous votre produit/service/innovation ! Chaque candidature sera examinée individuellement par notre équipe !

### LIENS

- [1] Erik Jansen, « E-FFWD : regardons à nouveau vers l'avenir ! », ElektorMag 7-8/2022: [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-267/60624](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-267/60624)
- [2] Site web d'electronica: <https://electronica.de/en/>
- [3] « And the Winner is... », Elektormagazine.com: [www.elektormagazine.com/news/and-the-winner](http://www.elektormagazine.com/news/and-the-winner)

# Bluetooth Low Energy avec ESP32-C3 et ESP32

Il n'y a pas que le wifi dans la vie...



**Mathias Claußen (Elektor)**

Contrairement à l'ESP8266, l'ESP32-C3 est équipé d'une liaison de communication RF Bluetooth Low Energy. Si vous n'avez besoin d'envoyer que de petites quantités de données sur de courtes distances, cette norme est une alternative économe en énergie au Wi-Fi. Nous le démontrons ici avec un petit projet : un capteur de température/humidité avec un ESP32-C3 transmet ses données à un ESP32 équipé d'un petit écran OLED.

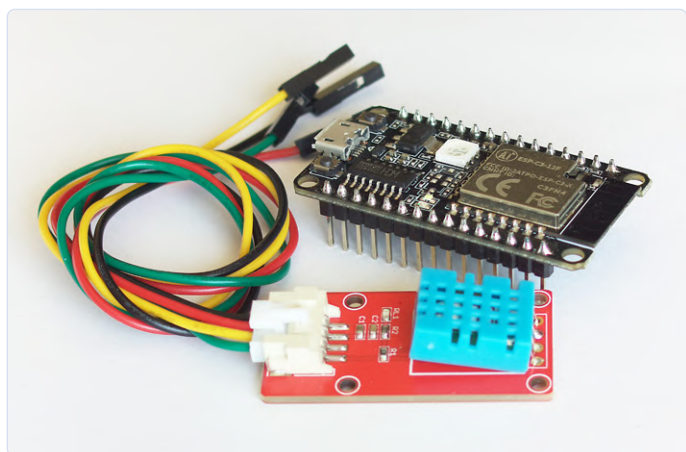


Figure 1. Tout ce dont vous avez besoin pour créer le nœud capteur ...

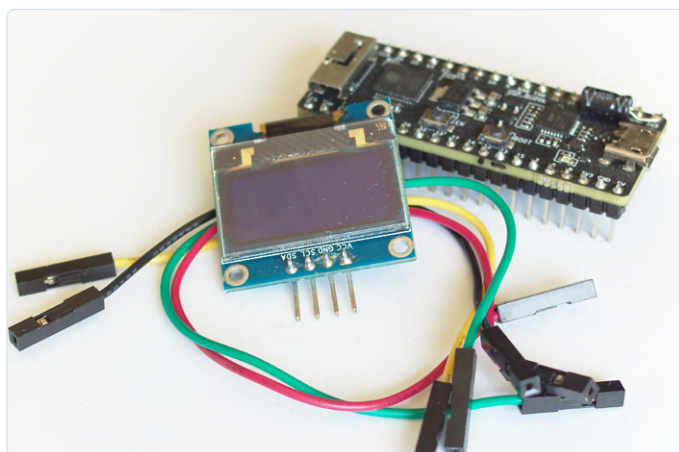


Figure 2. ... et pour l'affichage.

L'ESP32-C3 [1] avec son cœur RISC-V et son rapport qualité-prix particulièrement bon peut être considéré comme le successeur du microcontrôleur ESP8266 d'Espressif. L'un des avantages que cette nouvelle puce apporte est sa capacité de communication à faible consommation Bluetooth (Bluetooth Low Energy BLE) intégrée. Le BLE permet l'échange de données entre des appareils sur une courte distance et est très économe en énergie. Cette norme de communication est idéale pour une large gamme d'applications, où de petites quantités de données doivent être envoyées sur une courte distance. Les écouteurs, les microphones, les casques ou même les montres utilisent le BLE pour se connecter à divers appareils (principalement des smartphones).

Mais, pourquoi le BLE et pas seulement le wifi ? En ce qui concerne la transmission périodique de données sur de courtes distances, le wifi est assez gourmand en énergie. De plus, le wifi est conçu pour fonctionner avec un point d'accès au sein d'un réseau Ethernet. En comparaison, un petit appareil ESP32-C3 alimenté par batterie communiquant par BLE atteindra une durée de vie de la batterie beaucoup plus longue.

Ce projet vous guidera à travers les premières étapes de l'utilisation de la communication BLE. La configuration utilise un capteur d'humidité et de température connecté à un ESP32-C3 qui envoie les valeurs mesurées à un module ESP32 où elles sont affichées sur un petit écran OLED.



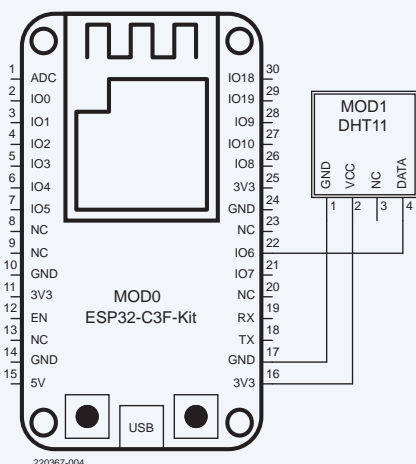


Figure 3. Schéma du circuit du nœud capteur d'humidité.

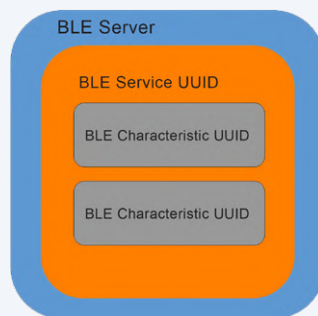


Figure 4: Structure des serveurs BLE et des UUID.

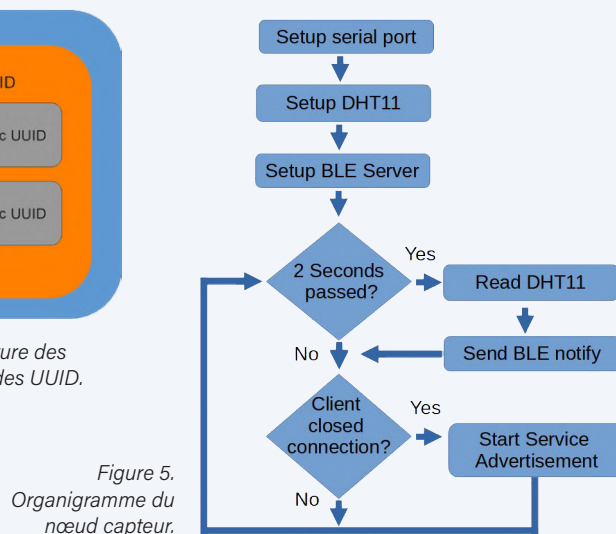


Figure 5. Organigramme du nœud capteur.

## Composants

Pour ce projet, nous avons utilisé des composants standards qui peuvent être commandés sur l'e-choppe Elektor. Ils n'ont rien de spécial, vous les avez peut-être même déjà dans votre boîte de composants. Le nœud capteur contient uniquement un capteur DHT11 qui fournit à la fois les relevés de température et d'humidité. Il est contenu, avec de nombreux autres périphériques utiles, dans le coffret d'expérimentation du Raspberry Pi Pico. Le contrôleur ESP32-C3 se présente sous la forme de la carte de développement du kit ESP32-C3-12F (tous deux sont disponibles dans l'e-choppe Elektor — voir l'encadré). Tous les composants utilisés sont illustrés à la **figure 1**.

Pour l'affichage, nous utilisons un contrôleur ESP32-PICO-Kit V4 et un petit écran OLED de 0,96 pouce (voir l'encadré des produits) avec seulement quatre fils de pontage pour le câblage. Il est également possible d'utiliser un WeMos Lolin ESP32 avec un écran OLED intégré, mais les affectations des broches de l'afficheur devront être modifiées. Les pièces de l'unité d'affichage sont visibles sur la **figure 2**.

## Paquets de données BLE

Le protocole de communication utilisé pour envoyer des données via BLE n'est pas compatible avec l'ancien protocole Bluetooth Classic. Avec BLE, il y a essentiellement des serveurs et des clients, qui sont tous deux capables d'échanger des paquets de données à l'aide des protocoles d'attributs (ATT) et des profils d'attributs génériques (GATT). Le GATT fournit une liste de services et de caractéristiques contenant des procédures et des attributs. Par exemple, un attribut peut représenter une valeur de capteur. Chaque attribut est adressé par un identifiant unique nommé UUID, qui peut être attribué par le développeur. Les attributs sont à leur tour regroupés en services, un ou plusieurs par serveur, qui à leur tour ont également un UUID. Un exemple de service serait le provisionnement d'un jeu de données contenant des valeurs de capteurs (température, humidité, etc.).

Avec le GATT, l'autorisation d'accès se fait par connexion, c'est-à-

dire qu'aucune distinction n'est faite quant au dispositif qui établit la connexion, tant que les paramètres et les clés permettent d'établir la connexion.

Cette représentation très simplifiée du GATT devrait suffire pour ce projet. Après tout, ceci est uniquement destiné à être une introduction à l'utilisation du BLE, donc aucun mécanisme de sécurité n'est implémenté ici. Vous trouverez plus d'informations sur le BLE sur la page Bluetooth SIG [2] ou en regardant le webinaire d'Elektor sur les applications Android BLE [3]. Nous pouvons maintenant passer à la configuration de notre serveur BLE et de notre client BLE.

## Serveur BLE

Avant de commencer avec le logiciel, regardons de plus près le matériel. La connexion du DHT11 à l'ESP32-C3 est illustrée à la **figure 3**. VCC se connecte à 3,3 V, GND à la masse et le signal DATA du capteur à la broche IO06 de l'ESP32-C3.

La structure du serveur BLE est visible à la **figure 4**. Il est structuré en couches, le serveur lui-même formant la couche externe. Viennent ensuite les services, qui dans ce cas n'en sont qu'un, avec l'UUID **91bad492-b950-4226-aa2b-4ede9fa42f59**. Le Service contient les caractéristiques qui seront fournies. L'une d'elles possède l'UUID **cba1d466-344c-4be3-ab3f-189f80dd7518** pour la température en degrés Celsius (°C) et l'autre l'UUID **ca73b3ba-39f6-4ab3-91ae-186dc9577d99** pour les valeurs d'humidité. Chacune de ces caractéristiques a une valeur et une description. Cette description a également un UUID et est définie ici à **0x2902** — où cette valeur indique qu'il s'agit d'une description de caractéristique. Si vous souhaitez en savoir plus sur ce sujet, reportez-vous au document « *Bluetooth low energy characteristics, a beginner's tutorial* » de Nordic Semiconductor. [4]

Dans notre logiciel, toutes les parties du serveur BLE sont d'abord configurées. Une nouvelle valeur est ensuite mesurée par le DHT11 toutes les deux secondes et envoyée aux appareils connectés sous forme de notification BLE (*Notify*). Il s'agit d'un message *push* ; le client

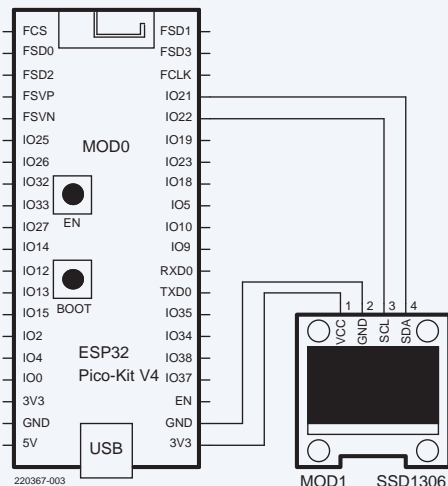


Figure 6. Le schéma du circuit d'affichage.

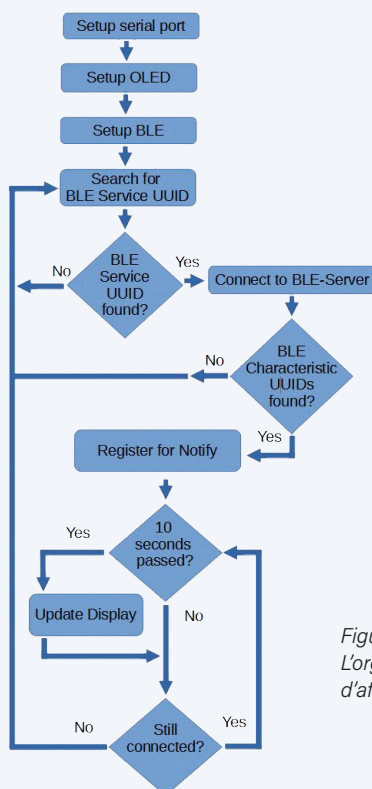


Figure 7. L'organigramme d'affichage.

reusement) à la fois l'ESP32 et l'ESP32-C3, car les deux utilisent la même pile BLE par défaut.

Une alternative à la pile par défaut du Bluetooth Classic et du BLE (pile basée sur BlueDroid) [5] est « l'Apache MyNewt NimBLE » [6] qui ne peut être utilisé que pour des applications purement BLE (et non Bluetooth Classic) dans le framework Arduino [7]. Nous allons maintenant utiliser cette pile pour l'unité client, qui dans notre cas est composée d'un ESP32 avec un écran OLED.

## Client BLE

Comme pour le serveur, nous allons d'abord examiner le matériel client, puis le logiciel. Ici, nous avons utilisé un ESP32-PICO-Kit, sur lequel un module ESP32 est monté pour fournir la puissance de traitement. Même si leurs noms sont similaires, ces deux modules n'ont pas le même processeur. L'ESP32 possède deux cœurs de processeur Xtensa LX6 [8], tandis que l'ESP32-C3 utilise un seul cœur basé sur RISC-V (RV32IMC). Seuls quatre fils sont nécessaires pour connecter l'écran OLED au ESP32-PICO-Kit. Le VCC de l'écran est connecté à 3,3 V, et le GND de l'écran au GND du ESP32-PICO-Kit. Ensuite, nous connectons les broches SDA et SCL pour la connexion I<sup>2</sup>C. SDA se connecte au GPIO21 et SCL au GPIO22 du ESP32-PICO-Kit. Le schéma du circuit peut être vu sur la **figure 6**.

Un organigramme logiciel du processus complet est illustré à la **figure 7**. Après le démarrage de l'ESP32, l'interface série et l'OLED sont initialisés, suivis de la pile BLE. Commence alors la recherche de nouveaux serveurs BLE pendant cinq secondes.

Si un serveur est trouvé, la fonction `onResult` de la classe `Configured_AdvertisedDeviceCallbacks` est appelée en réponse. Ici, on essaye de déterminer si le serveur offre un service avec l'UUID `91bad492-b950-4226-aa2b-4ede9fa42f59`. Si c'est le cas, la recherche d'un nouveau serveur BLE se termine et une connexion au serveur BLE trouvé est établie. Ensuite, on vérifie si le service du serveur propose les UUID pour les deux caractéristiques `cba1d466-344c-4be3-ab3f-189f80dd7518` et `ca73b3ba-39f6-4ab3-91ae-186dc9577d99` utilisés par le serveur pour identifier les lectures de température et d'humidité. Si les caractéristiques sont toutes les deux disponibles, la connexion est maintenue. Si aucun serveur ou service BLE approprié n'est trouvé, une nouvelle recherche sera lancée.

Tout d'abord, le client vérifie si les deux UUID pour la température et l'humidité peuvent également envoyer des notifications (*Notifies*). Le code suivant est utilisé à cet effet (l'exemple ici est juste pour les lectures d'humidité) :

```
pRemoteHumCharacteristic =
pRemoteService->getCharacteristic(humUUID);
...
if (pRemoteHumCharacteristic != nullptr) {
    if(true==pRemoteHumCharacteristic->canNotify()){
        pRemoteHumCharacteristic->
            registerForNotify(NewHumNotify);
    }
}
...
}
```

Si des notifications peuvent être envoyées, un rappel est mis en place pour celles-ci. Chaque fois qu'une nouvelle notification arrive, la fonction `NewHumNotify` est alors appelée pour l'humidité. Une notification peut

n'a pas besoin de confirmer que ce dernier est arrivé. La séquence logicielle peut être vue à la **figure 5**.

Une chose qui se démarque dans le code, ce sont les appels à `delay(5);` après les appels à `notify();`. Par exemple :

```
dht11HumidityCharacteristics.setValue(String(event.
    relative_humidity).c_str());
dht11HumidityCharacteristics.notify();
delay(5);
```

Cela permet d'éviter la congestion des paquets dans la pile BLE. Malgré cela et selon la version de l'environnement Arduino pour l'ESP32 et l'ESP32-C3, il arrive parfois que la pile BLE cesse de fonctionner. Même après un `Disconnect`, nous invoquons un délai de 500 ms pour le traitement de la pile BLE. Incidemment, cela affecte (malheu-



contenir jusqu'à 20 octets de données, qui peuvent librement être attribuées et de n'importe quel format choisi. Dans notre logiciel, le serveur BLE envoie la valeur de notification sous forme de chaînes lisibles entièrement formatées. Pour les afficher à l'écran, il suffit de les préparer de manière appropriée.

Dès qu'il y a une connexion au serveur BLE, l'affichage OLED est simplement mis à jour toutes les 10 s pour afficher les dernières valeurs au fur et à mesure de leur réception. Le serveur BLE et le client BLE terminés sont visibles dans la **figure 8**.

### BLE et l'ESP32/ESP32-C3

L'exemple d'application BLE décrit ici n'est pas le plus sophistiqué. L'intention est de démontrer les principes impliqués afin que vous puissiez vous familiariser avec les bases et gagner en confiance pour approfondir le sujet. Le BLE offre une option d'économie d'énergie pour le transport de données à courte portée qui ne nécessite pas l'infrastructure d'un réseau wifi. ◀

220267-04

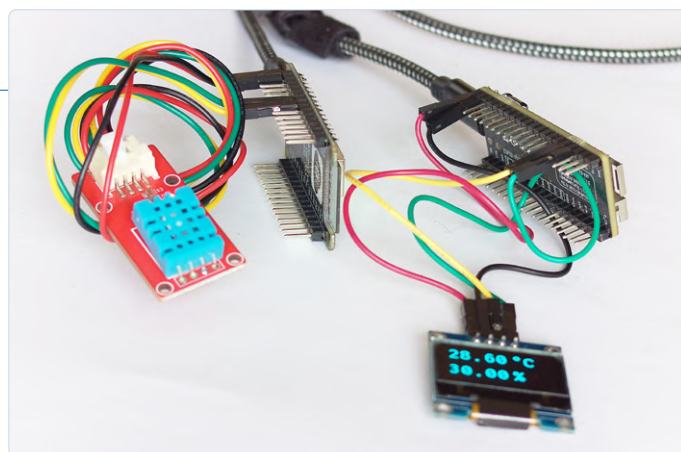


Figure 8. Le serveur et le client BLE fonctionnent ensemble.

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (mathias.claussen@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



## PRODUITS

- > **Kit d'expérimentation Raspberry Pi Pico**  
[www.elektor.fr/19834](http://www.elektor.fr/19834)
- > **Kit ESP32 PICO V4**  
[www.elektor.fr/18423](http://www.elektor.fr/18423)
- > **Module d'affichage OLED WeMos Lolin ESP32 pour Arduino (SKU 18575)**  
[www.elektor.fr/18575](http://www.elektor.fr/18575)
- > **Carte de développement ESP-C3-12F-Kit avec 4 Mo de mémoire Flash intégrée (SKU 19855)**  
[www.elektor.fr/19855](http://www.elektor.fr/19855)
- > **Capteur de température et d'humidité Grove DHT11 de Seeed Studio (SKU 20020)**  
[www.elektor.fr/20020](http://www.elektor.fr/20020)
- > **Écran OLED 0,96 pouce (bleu, I²C, 4 broches) (SKU 18747)**  
[www.elektor.fr/18747](http://www.elektor.fr/18747)
- > **Livre en anglais « Develop your own Bluetooth Low Energy Applications » (SKU 20200)**  
[www.elektor.fr/20200](http://www.elektor.fr/20200)
- > **« Develop your own Bluetooth Low Energy Applications » (livre numérique, SKU 20200)**  
[www.elektor.fr/20201](http://www.elektor.fr/20201)

## LIENS

- [1] Mathias Claußen, « Prise en main du microcontrôleur ESP32-C3 RISC-V » : [www.elektormagazine.fr/news/prise-en-main-du-microcontroleur-esp32-c3-risc-v](http://www.elektormagazine.fr/news/prise-en-main-du-microcontroleur-esp32-c3-risc-v)
- [2] Bluetooth SIG: « Intro to Bluetooth GAP (GATT) » : [www.bluetooth.com/bluetooth-resources/intro-to-bluetooth-gap-gatt/](http://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/intro-to-bluetooth-gap-gatt/)
- [3] C. Valens, « Rapid Prototyping Bluetooth Low Energy Android Apps Using MIT App Inventor », Elektor.TV, June 2021: [www.youtube.com/watch?v=Jxv9h0nHIBA&t=2930s](https://www.youtube.com/watch?v=Jxv9h0nHIBA&t=2930s)
- [4] Nordic Semiconductor, « Bluetooth low energy Characteristics, a beginner's tutorial »: <https://bit.ly/3sCEVzR>
- [5] Pile Bluetooth Classic et BLE de l'ESP32: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/bluetooth/index.html>
- [6] Pile ESP32 NimBLE: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/bluetooth/nimble/index.html>
- [7] NimBLE-Arduino: <https://github.com/h2zero/NimBLE-Arduino>
- [8] ESP32 LX6 Core: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tensilica>

# Renifleur BLE

Reconfiguration du dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary



Figure 1. Dongle USB MDK nRF52840 de makerdiary.



Figure 2. Le dongle USB.



Figure 3. Avec le couvercle enlevé.

Mathias Claußen (Elektor)

Il est toujours marrant de modifier un produit pour remplir une fonction complètement différente de celle pour laquelle il a été conçu à l'origine.

Dans ce projet, nous modifions le logiciel d'une carte d'évaluation et la transformons en un renifleur de flux de données BLE utile - un outil pratique pour quiconque développe et teste des applications Bluetooth. La carte d'évaluation en question est le dongle USB nRF52840 bon marché pour le développement IdO de makerdiary.

La visualisation de l'échange de paquets de données en temps réel entre les appareils est utile pour tous ceux qui développent des applications Bluetooth Low Energy (BLE). Elle facilite le débogage. Comme pour l'enregistrement des paquets wifi, un matériel compatible au BLE sera nécessaire. Nous pouvons utiliser une carte d'évaluation prête à l'emploi et à faible coût basée sur le SoC Bluetooth nRF52840 de Nordic qui intègre tous les périphériques de communication nécessaires. Deux exemples sont le dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary [1] (**figure 1**) et le dongle nRF52840 de Nordic [2]. Ce SoC est également utilisé comme composant de traitement principal dans d'autres cartes, notamment l'Arduino Nano 33 BLE [3], le BBC micro:bit V2 (ici, le nRF52833 avec moins de capacité mémoire est utilisé) [4], et l'Adafruit CLUE [5]. En plus du module matériel qui traitera les paquets BLE, nous avons également besoin d'un logiciel et d'un PC. Nous pourrions utiliser un PC standard avec un processeur de type AMD64/x86 ou un Raspberry Pi. Le

logiciel utilisé ici est Wireshark, un outil que certains d'entre vous connaissent probablement. L'ensemble constitue un système permettant d'enregistrer et de visualiser le transfert de paquets BLE en temps réel.

## Pas à pas

La procédure d'installation et de configuration décrite ici s'applique à un PC AMD64/x86 exécutant Windows 10. Nous utilisons également le dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary. Cette petite carte est en fait conçue comme un kit de développement pour le nRF52840 de Nordic et est livrée dans un boîtier de dongle soigné (**figure 2** et **figure 3**) qui se branche directement sur le port USB du PC. En plus de BLE 5.0 et de Bluetooth Mesh, la puce prend en charge les protocoles réseau ZigBee et Thread. Les données techniques se trouvent dans le **tableau 1**. Outre sa capacité à enregistrer des paquets BLE, le dongle pourrait être configuré pour effectuer un travail similaire pour d'autres normes de transmission sans fil. Dès la fabrication, le dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary est équipé du micrologiciel *OpenThread Network Co-Processor* (NCP). Pour notre application, nous utiliserons les communications BLE au lieu de Thread, nous devons donc remplacer le micrologiciel et éventuellement le chargeur d'amorçage (selon la version de la carte que vous possédez). La mise à jour du chargeur d'amorçage (bootloader) d'Open-Bootloader vers le bootloader UF2 facilite la programmation du dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary, car il est reconnu comme une clé USB de stockage dans le système. Plus tard, si vous souhaitez changer à nouveau le micrologiciel, par exemple avec CircuitPython [6], vous pouvez le faire très facilement.

## Mise à jour avec le bootloader uf2

Nous avons besoin de quelques outils pour mettre à jour le bootloader. Ici, nous utilisons nrfutil [7] pour le faire [8]. Les fichiers de nrfutil et de la mise à jour du bootloader doivent être copiés dans un dossier (ne décompressez pas les fichiers zippés).

Il faut maintenant mettre le dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary en mode bootloader. Pour ce faire, maintenez le bouton *reset/user* enfoncé avant de brancher le dongle sur le port USB du PC. Si la LED commence à clignoter en rouge, le dongle

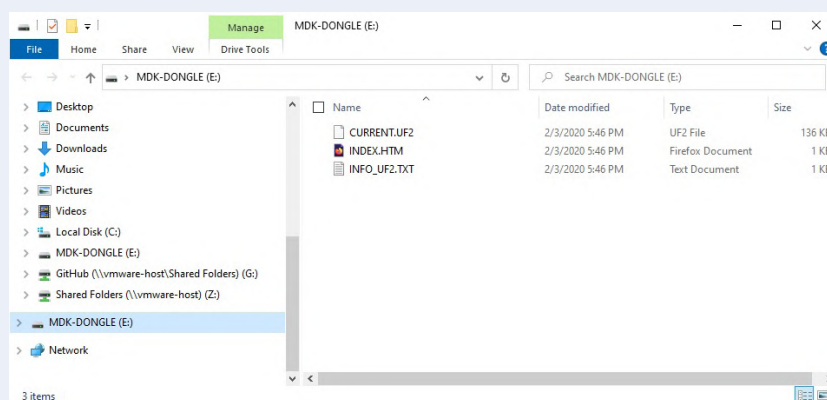


Figure 4. Le nRF52840 est reconnu comme un périphérique de stockage.

### Tableau 1. Dongle USB MDK nRF52840 de makerdiary.

- |   |   |
|---|---|
| › Système sur puce nRF52840 de Nordic                   | › 256 ko RAM  |
| › ARM Cortex M4F  | › Jusqu'à 12 GPIO   |
| › Optimisé pour ultra-basse consommation                | › Bouton-poussoir et LED RGB  |
| › Bluetooth 5, Bluetooth Mesh                           | › Antenne 2,4 GHz intégrée  |
| › Thread, IEEE 802.15.4, ANT                            | › Régulateur 3,3 V avec sortie maximale de 1 A                            |
| › On-chip NFC-A-Tag                                     | › Gestion des lignes d'alimentation VBUS et VIN                           |
| › Contrôleur On-chip USB 2.0 (pleine vitesse)           | › Facteur de forme pratique en clé USB                                    |
| › Sous-système de sécurité ARM TrustZone Cryptocell 310 | › Compatible avec les platines d'essai avec deux connecteurs à 10 broches |
| › 1 Mo FLASH  |   |

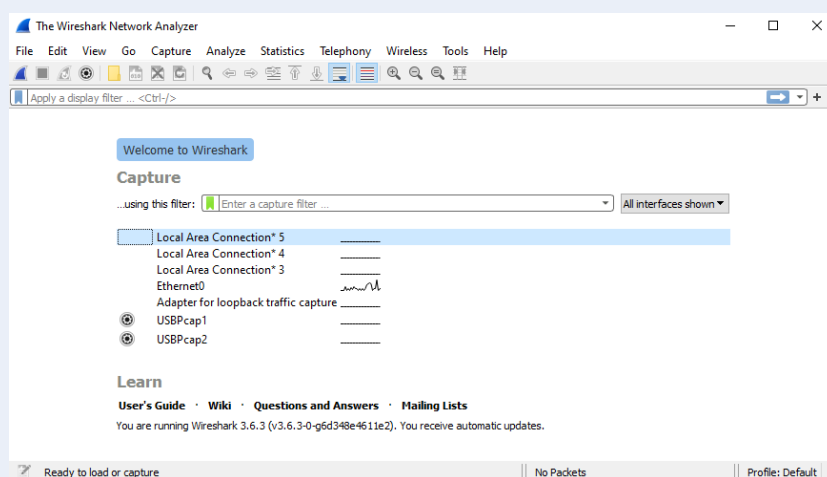


Figure 5. L'interface utilisateur de Wireshark.



USB est en mode bootloader et un nouveau port série doit avoir été identifié par l'ordinateur. Vous devez maintenant ouvrir une fenêtre de terminal/invite de commande afin de pouvoir accéder au dossier dans lequel nrfutil et les nouveaux fichiers du bootloader ont été enregistrés. La ligne de commande suivante doit être saisie ici :

```
nrfutil dfu usb-serial -pkg uf2_
bootloader-0.2.13-44-gb2b4284-
nossd_signed.zip -p <serial-port>
```

<serial-port> est le nouveau numéro de port série attribué au dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary. Une fois cette opération terminée, le dongle USB démarre et un nouveau périphérique de stockage est identifié (figure 4).

### Micrologiciel du renifleur BLE

L'installation du micrologiciel du renifleur BLE est assez simple. Tout d'abord, nous devons télécharger le micrologiciel approprié [9], qui a une extension de fichier .uf2, depuis le référentiel d'Adafruit. Ensuite, nous le copions sur le dongle. Redémarrez le dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary. Il se lancera en exécutant le micrologiciel du renifleur BLE et surveillera les échanges de paquets de données BLE. Il ne reste plus qu'un seul maillon logiciel à ajouter dans la chaîne.

### Wireshark et Python 3

Pour commencer, il est nécessaire d'installer Wireshark [10] (figure 5) et Python 3 [11] sur un PC. Lors de l'installation de Python 3, il convient de veiller à ce que les variables d'environnement soient correctement enregistrées (figure 6) et à ce que le lanceur Python (figure 7) soit également disponible. Une fois ceux-ci installés, nous devons installer pyserial qui permet aux applications Python d'accéder aux ports série du système. Pour cela, nous devons ouvrir une invite de commande et taper `pip install pyserial` (figure 8).

Wireshark ne peut pas communiquer avec le micrologiciel du renifleur BLE par défaut, il est donc nécessaire d'installer une extension. Pour cela, téléchargez le fichier `nrf_sniffer_for_ble_4.1.0.zip` [12] (ou une version plus récente) de Nordic Semiconductor. Le dossier `extcap` se trouve dans ce fichier zip (figure 9). Dans le dossier d'installation de Wireshark (sous Windows, c'est généralement `C:\Program Files\Wireshark`), vous devez créer un dossier `extcap` et copier le contenu du dossier `extcap` du fichier zip dedans.

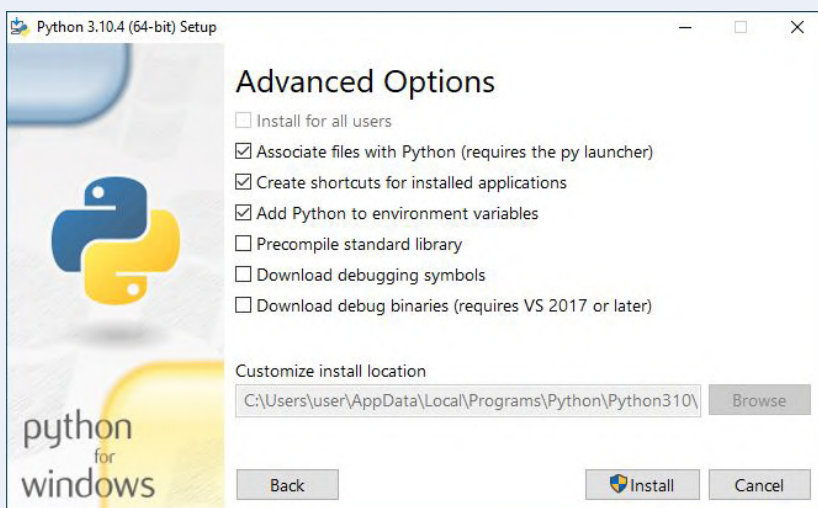


Figure 6: Sélectionnez advanced Options pour Python.

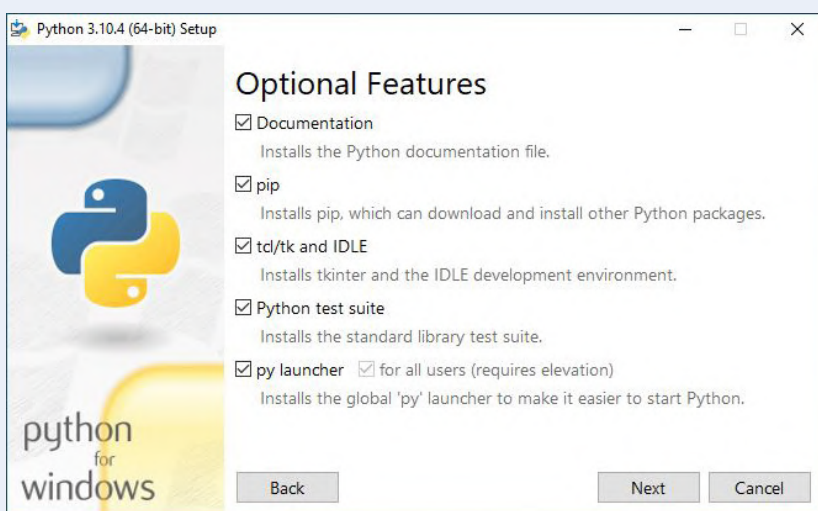


Figure 7: L'option Python launcher doit être sélectionnée.

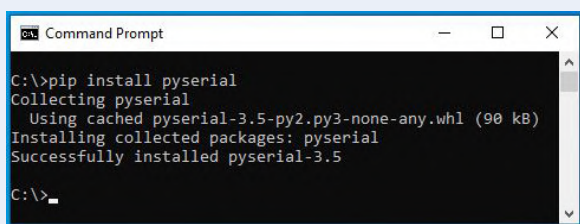


Figure 8: Installation de pyserial.

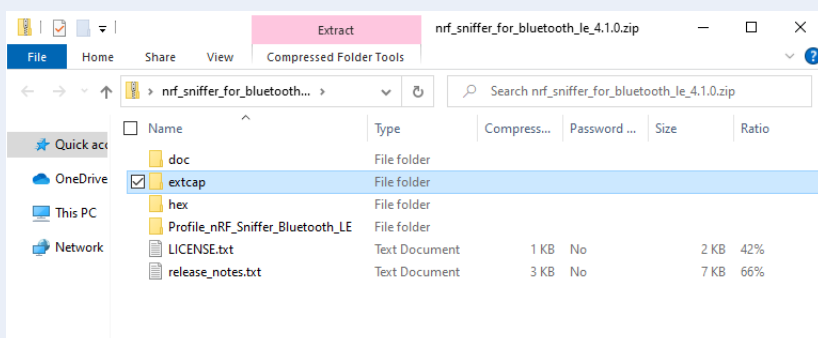


Figure 9: Le dossier extcap dans le Zip.

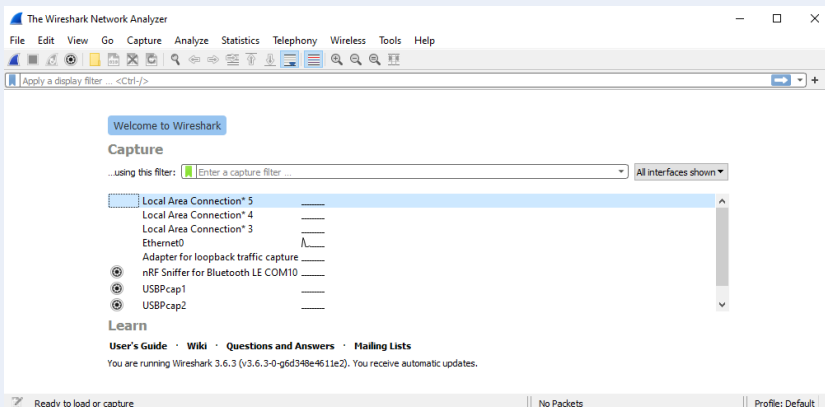


Figure 10. Une nouvelle connexion d'interface dans Wireshark.

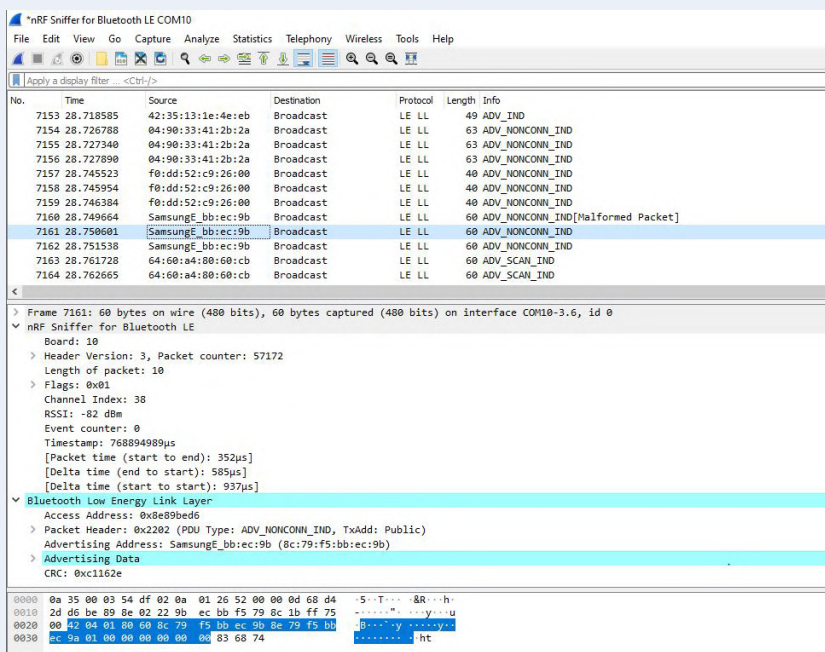


Figure 11. Affichage montrant les paquets de données BLE.



## PRODUITS

- **makerdiary nRF52840 MDK USB Dongle with case (SKU 19252)**  
[www.elektor.fr/19252](http://www.elektor.fr/19252)
- **Adafruit CLUE - nRF52840 Express with Bluetooth LE (SKU 19512)**  
[www.elektor.fr/19512](http://www.elektor.fr/19512)
- **ESP-C3-12F-Kit Development Board with 4 MB Flash (SKU 19855)**  
[www.elektor.fr/19855](http://www.elektor.fr/19855)
- **Adafruit Feather nRF52840 Express (SKU 20114)**  
[www.elektor.fr/20114](http://www.elektor.fr/20114)

Nous avons à ce stade tout ce dont nous avons besoin pour commencer à capturer les paquets BLE.

Lorsque vous démarrez Wireshark, une autre interface appelée *nRF Sniffer for Bluetooth LE COMxx* apparaît (figure 10), où xx indique le numéro du port Com utilisé par le dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary. Pour enregistrer des paquets, sélectionnez cette interface et commencez l'enregistrement. S'il y a des appareils BLE à proximité, Wireshark commencera à recevoir des données (figure 11).

## Un renifleur BLE pratique

En quelques étapes simples, le dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary peut être transformé en un renifleur BLE vraiment utile. C'est désormais un outil inestimable pour les développeurs travaillant sur des applications BLE, en particulier lors de la configuration d'ESP32 et d'autres cartes. Non seulement vous pouvez confirmer que les données sont échangées entre les appareils, mais avec Wireshark, vous pouvez même lire le contenu des paquets. En plus des communications BLE, il est possible de reconfigurer le même dongle pour fonctionner avec d'autres protocoles de communication standard. ◀

220248-04

## LIENS

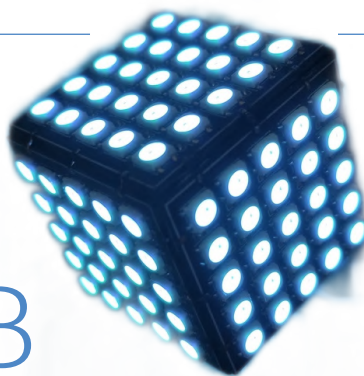
- [1] Dongle USB MDK nRF52840 de makerdiary:  
<https://wiki.makerdiary.com/nrf52840-mdk-usb-dongle/>
- [2] Dongle nRF52840:  
[www.nordicsemi.com/Products/Development-hardware/nrf52840-dongle](http://www.nordicsemi.com/Products/Development-hardware/nrf52840-dongle)
- [3] Arduino Nano 33 BLE: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-ble>
- [4] BBC micro:bit V2: <https://microbit.org/new-microbit/>
- [5] T. Hanna, « CLUE d'Adafruit : Une solution intelligente pour les projets IoT », Elektormagazine.fr: [www.elektormagazine.fr: www.elektormagazine.fr/news/clue-dadafruit-une-solution-intelligente-pour-les-projets-iot](http://www.elektormagazine.fr/news/clue-dadafruit-une-solution-intelligente-pour-les-projets-iot)
- [6] CircuitPython :  
[https://circuitpython.org/board/makerdiary\\_nrf52840\\_mdk\\_usb\\_dongle/](https://circuitpython.org/board/makerdiary_nrf52840_mdk_usb_dongle/)
- [7] Nordic nrfutil: <https://github.com/NordicSemiconductor/pc-nrfutil/releases>
- [8] Bootloader UF2: <https://bit.ly/3atr9JI>
- [9] Micrologiciel du renifleur BLE: <https://bit.ly/3LTMEQP>
- [10] Page d'accueil de Wireshark: [www.wireshark.org/](http://www.wireshark.org/)
- [11] Page d'accueil de Python: [www.python.org/](http://www.python.org/)
- [12] Interface Wireshark dans nrf\_sniffer\_for\_bluetooth\_le\_4.1.0.zip: <https://bit.ly/3Gq0yZQ>

## Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (mathias.claussen@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr). Vous pouvez également regarder Mathias sur le livestream mensuel Elektor Lab Talk ([www.elektormagazine.com/elt](http://www.elektormagazine.com/elt)) sur YouTube, et poser vos questions en direct !

# Cube magique de LED RGB

circuit avec un RP2040



Mohamed Belkhir Sayari (Tunisie)

Vous voulez décorer votre bureau ou votre atelier avec un cube de LED RGB original ? Vous aimeriez construire votre propre cube « magique » avec un Raspberry Pi RP2040 ? Alors, ce cube à 6 faces  $\times 5 \times 5$  LED est fait pour vous.



Figure 1. Cube de LED RGB.

Vous pouvez construire votre propre gadget en réalisant votre propre circuit. Nous vous proposons dans cet article quelques astuces pour concevoir un appareil de qualité. Entrons dans le vif du sujet. Je vais vous raconter comment j'ai fabriqué un cube de LED RGB commandé par le microcontrôleur Raspberry Pi RP2040 (**figure 1**). J'expliquerai en détail comment utiliser ce microcontrôleur exceptionnel dans vos projets et je présenterai un circuit de base à cet effet.

## Conception d'un cube de LED RGB basée sur RP2040

Depuis le début de l'année 2021, il est devenu difficile de se procurer de microcontrôleurs efficaces et abordables à cause de la pénurie mondiale des puces. C'est alors que j'ai découvert que le RP2040 peut être utile aux électroniciens, en ces temps difficiles, grâce à sa petite taille, sa facilité d'utilisation, ses hautes performances et son prix abordable. Le RP2040 était assez nouveau et peu utilisé, donc ce projet m'a donné l'opportunité de l'utiliser pour la première fois [1]. Souhaitant découvrir les configurations les plus appropriées en termes d'alimentation et de programmation pour mon RP2040, j'ai choisi au hasard de réaliser une matrice de  $5 \times 5$  LED. Mais par la suite, j'ai eu l'idée d'en créer six et de les connecter pour former un cube.

D'abord, il est important de se familiariser avec ce microcontrôleur, et vous devez tenir compte de ses caractéristiques. Reportez-vous au schéma détaillé de la **figure 2**. Le schéma comporte quatre blocs : le microcontrôleur, l'alimentation, l'USB-C et la mémoire. Examinons chaque bloc.

## Configuration du microcontrôleur

Le premier bloc de la **figure 2** représente le RP2040 et les composants électroniques de base nécessaires pour son fonctionnement, notamment les condensateurs. Je vous recommande d'utiliser chaque composant présent dans cette partie afin d'éviter toute surprise lorsque vous réalisez votre circuit. La plupart de ces condensateurs sont des condensateurs de découplage de 100 nF, et ils doivent être placés sur chaque ligne d'alimentation du microcontrôleur.

Ces condensateurs de découplage filtrent le bruit de l'alimentation causé par les autres composants du circuit, car ce bruit induit sera shunté par les condensateurs. Ils agissent également comme une source de charge locale qui alimente les circuits internes du RP2040 lors des chutes de tension importantes causées par une augmentation soudaine de la demande de courant.



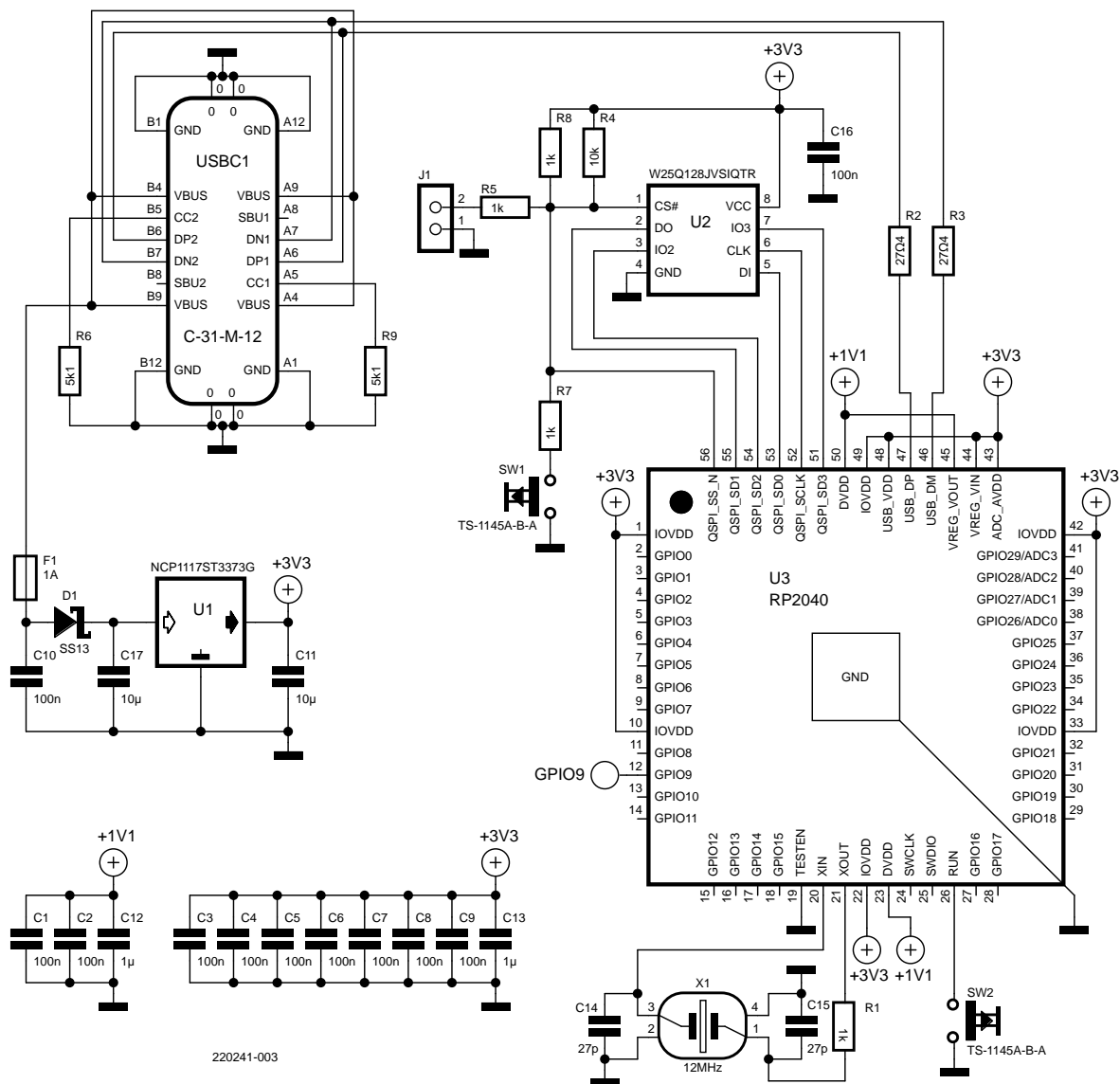


Figure 2. Le RP2040 est le cœur du cube magique RGB.

Vous comprenez maintenant l'importance des condensateurs de découplage. Mais ce n'est pas tout ! Pendant la réalisation du circuit imprimé (**figure 3**), assurez-vous de placer les condensateurs aussi proches que possible des broches d'alimentation de votre microcontrôleur. Cela garantira l'efficacité du filtrage.

Le RP2040 est doté de son propre oscillateur interne, il n'a donc pas

vraiment besoin d'une horloge externe. Comme ce quartz interne n'est pas super stable, il est recommandé d'utiliser un oscillateur externe de 12 MHz (**figure 4**). Nous avons utilisé l'oscillateur X322512MSB4SI. Rappelons que nous avons choisi les composants les plus répandus sur le marché, mais vous pouvez toujours faire votre propre sélection). En choisissant les quartz, vous devez tenir compte de deux

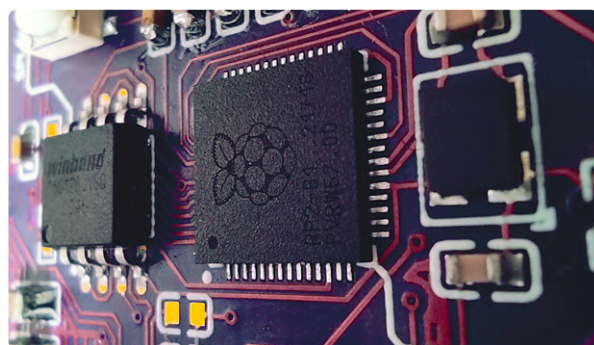


Figure 3. Positionnement des condensateurs de découplage et du quartz.

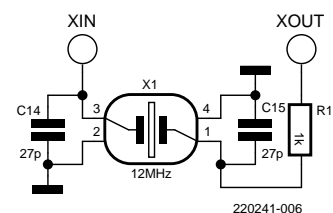
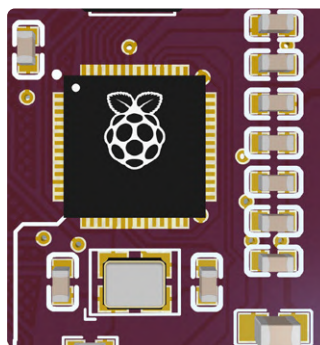


Figure 4. L'oscillateur à quartz externe.

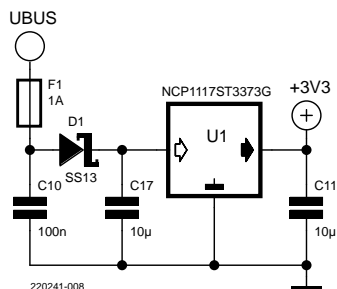


Figure 5. Circuit du régulateur de tension 3,3 V.

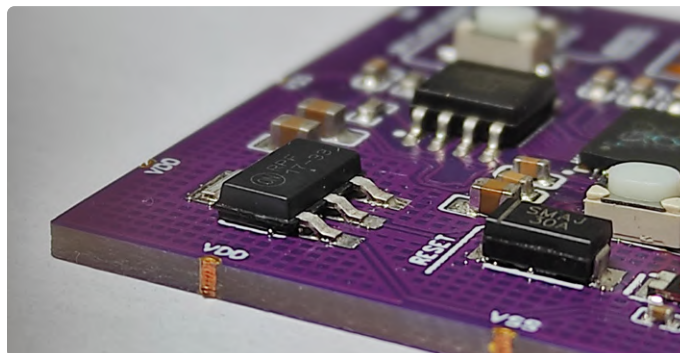


Figure 6. Gros plan sur le régulateur de tension NCP1117ST3373G.

facteurs principaux : la capacité de charge (LC) et la résistance série équivalente (ESR). Vous pouvez obtenir les paramètres nécessaires en consultant la fiche technique du composant. Celui que nous avons utilisé devait avoir une capacité de charge de 20 pF. Afin de satisfaire un tel besoin, nous avons placé deux condensateurs (C15 et C14) en parallèle aux XIN et XOUT du quartz. Vous vous demandez peut-être : comment déterminer les valeurs de capacité appropriées ? La valeur de la capacité de charge (LC) souhaitée est calculée à partir de C15 et C14 par une formule simple :

$$LC = \frac{C14 \times C15}{C14 + C15}$$

Puisque C14 et C15 ont la même valeur, alors  $LC = C14/2$ , nous avons donc utilisé une valeur de 27 pF pour C14 et C15. Je sais que  $27/2 = 13,5$  pF qui est une valeur inférieure à 20 pF, mais n'oubliez pas que vous utiliserez un circuit imprimé, dont les pistes ont une capacité supplémentaire qui pourrait atteindre 7 pF. Donc, au total, nous aurons une capacité de 20,5 pF, ce qui est assez proche de 20 pF.

Le facteur ESR est également disponible sur la fiche technique du fabricant. Dans notre exemple, il est spécifié comme 80  $\Omega$ , et j'ai constaté que cette valeur, associée à une résistance de 1 k  $\Omega$  (R1), est suffisante pour éviter la suralimentation du quartz.

## Gestion de l'alimentation

Ce fut la première fois que j'utilise un microcontrôleur qui nécessite une tension de 1,1 V. Mais je n'avais pas de soucis, car le microcontrôleur dispose déjà d'un régulateur de tension interne destiné à fournir 1.1 V. Il devait être connecté à une source de tension et j'ai utilisé un régulateur de tension externe pour fournir 3,3 V au RP2040 (figure 5). Le NCP1117 est un régulateur de tension couramment utilisé, et il est disponible en plusieurs modèles avec différentes valeurs de tension de sortie. Il faut donc utiliser le régulateur 3,3 V de référence 33T3G. J'ai utilisé un fusible réarmable (PTC) au niveau de l'entrée de l'alimentation (UBUS) pour protéger mon circuit contre les surintensités. La taille compacte de ce composant (figure 6) le rend adapté à notre petit circuit imprimé. Il faut garder à l'esprit que nous réalisons cette carte pour construire un petit cube de LED magique. Nous devons donc disposer tous nos composants sur un circuit imprimé compact

de 45 mm  $\times$  45 mm au maximum. Voilà pourquoi nous avons choisi les composants aux petits boîtiers. Vous pouvez choisir des composants plus grands pour d'autres projets avec le RP2040.

## Connecteur USB-C

Vous n'avez pas besoin d'un convertisseur USB-TTL car le RP2040 possède une interface USB interne à pleine vitesse. Il suffit d'utiliser un connecteur USB de votre choix et de connecter l'USB\_DP et l'USB\_DM du RP2040 aux D+ et D- USB de votre connecteur. J'ai utilisé un connecteur USB de type C (figure 7).

Vous pouvez éliminer ces résistances de rappel au niveau bas (R9 et R6) car le microcontrôleur n'en a pas besoin, mais comme ce montage du connecteur USB C est le plus adapté à tous nos projets, nous les conserverons tant qu'elles seront de petite taille. J'ai donc choisi des composants en boîtiers 0402 pour éviter tout encombrement sur le circuit. Cela a certainement facilité le routage. Avec ce connecteur, le circuit imprimé peut être un hôte ou un périphérique selon le mode de démarrage.

Le placement du connecteur sur la carte doit être légèrement éloigné du bord, car nous devons assembler les pièces du cube par leurs bords. Fondamentalement, nous avons besoin d'une surface libre d'environ 1 à 2 mm autour des bords.

## Mémoire flash (stockage du programme)

En comparaison avec les microcontrôleurs classiques AVR et ARM avec lesquels nous sommes familiers, le RP2040 a besoin d'une mémoire externe pour stocker le code qui sera exécuté au démarrage. Le démarrage et l'exécution du code impliquent un transfert de données à haut débit de la puce de stockage vers le microcontrôleur, ce qui explique le choix d'une puce de mémoire flash à liaison QSPI (*Quad Serial Peripheral Interface*) pour stocker le programme (figures 8 et 9). Ces mémoires flash peuvent avoir de différentes capacités. Dans notre exemple, nous utilisons spécifiquement la W25Q128JVSQTR, qui a un espace de stockage de 128 Mbit (16 Mo), la mémoire d'espace maximum que le RP2040 pourrait traiter par son bus de données.

J'ai dû connecter les broches QSPI entre la puce de mémoire flash et le RP2040. J'ai dû rapprocher ces deux composants afin de raccour-

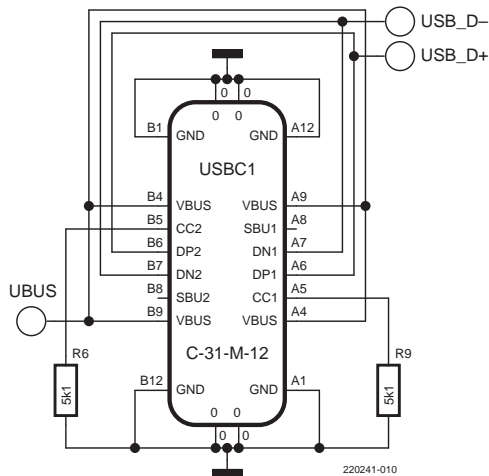


Figure 7. Le connecteur USB-C.

cir au maximum les pistes qui les relient et d'éviter toute erreur de transmission de données causée par les interférences des composants voisins. Je rappelle que lorsque nous avons abordé le circuit du connecteur USB C, j'ai mentionné que le RP2040 pouvait être utilisé comme hôte ou comme périphérique en fonction du mode de démarrage. Cela dépend spécifiquement de la connexion de la broche QSPI\_SS pendant le démarrage de la mémoire (**figure 8**).

Et c'est ici que R4, la résistance de rappel au niveau haut 3,3 V, s'avère utile pour fournir 3,3 V à la broche de sélection de puce (CS#) lors de la mise sous tension. Lorsque nous allumons notre appareil, la broche QSPI\_SS du RP2040 sera automatiquement tirée vers le niveau haut, mais l'état de la broche reste inconnu pendant la commutation de l'état. Cette résistance (R4) assure l'état de la broche et permet à la mémoire de fonctionner correctement pour charger le code au RP2040 pour l'exécution.

Pour le second mode de démarrage (mode périphérique de stockage),

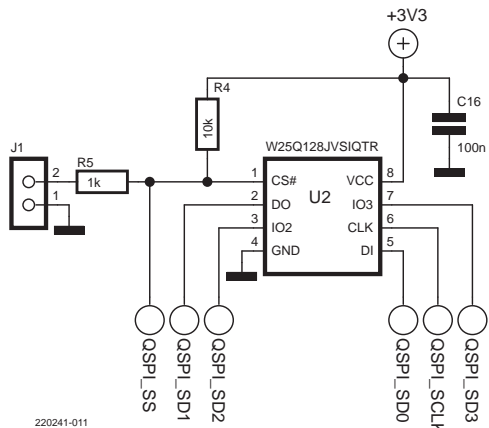


Figure 8. Circuit de la mémoire flash QSPI.

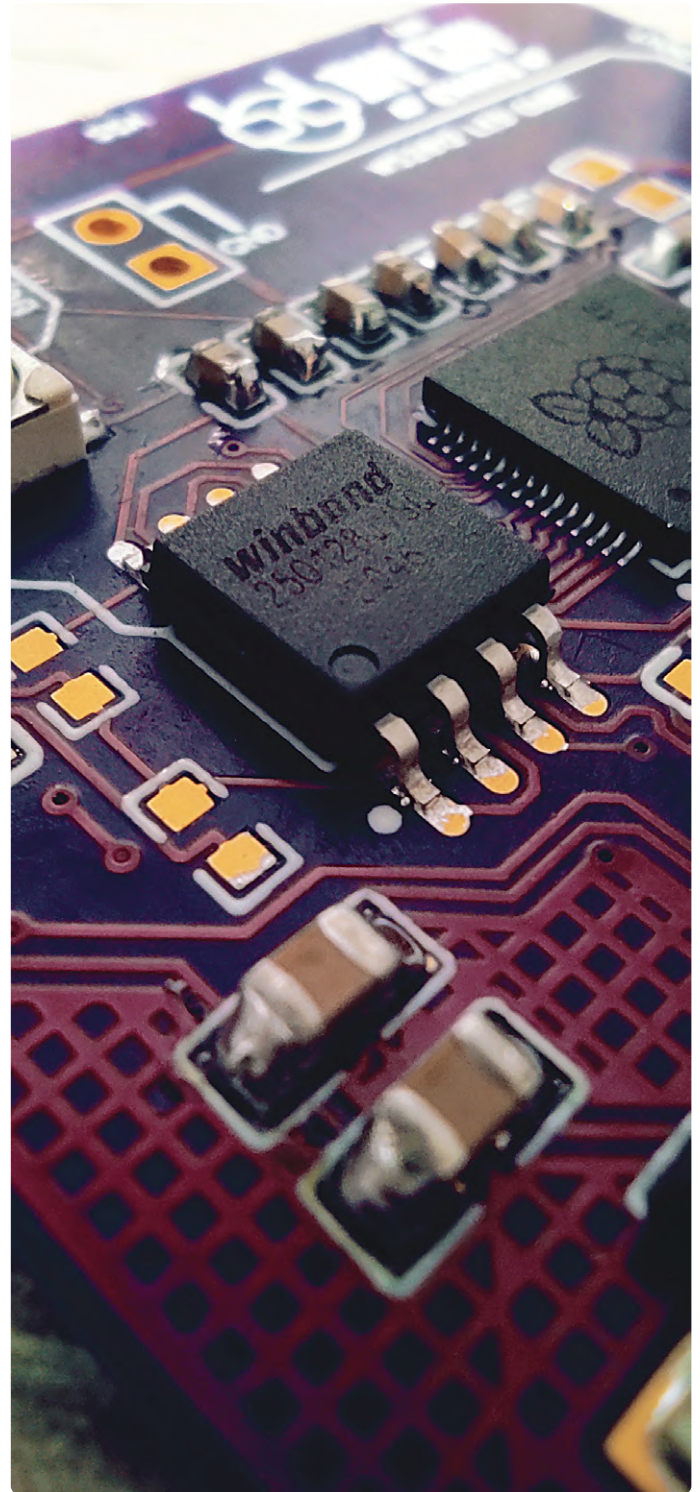
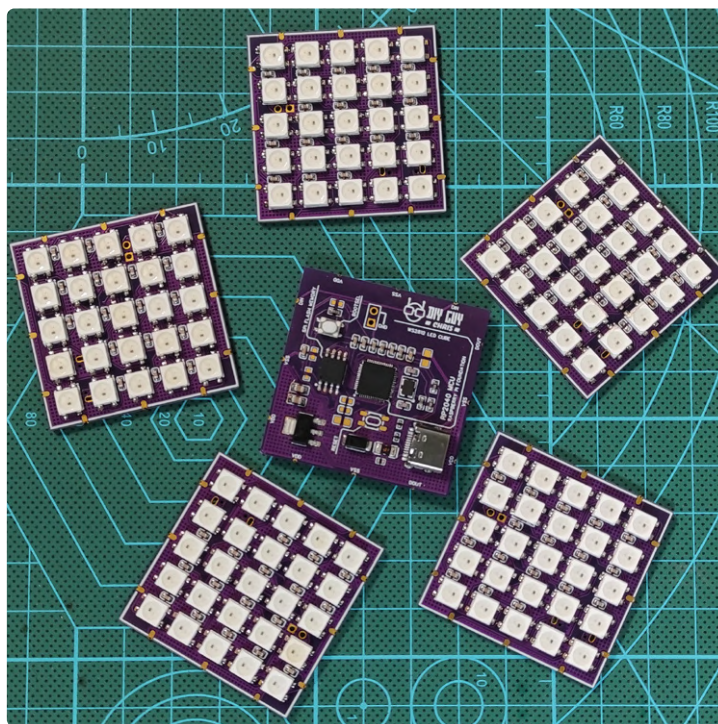
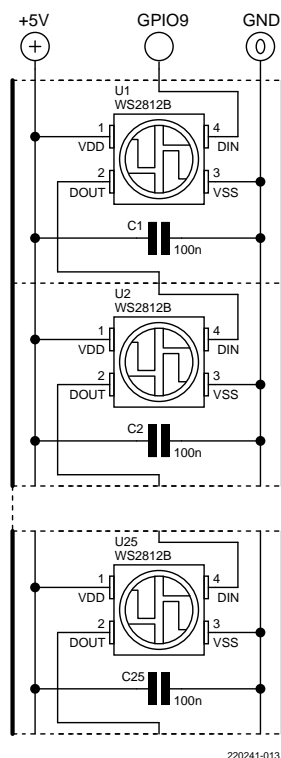


Figure 9. Gros plan sur la mémoire QSPI W25Q128.





Connexion des LED et les cartes à LED terminées.

c'est là que le cavalier (J1) intervient en tirant broche QSPI\_SS vers le niveau bas à la mise sous tension du circuit. La mémoire sera reconnue comme un périphérique de stockage USB et le programme pourra y être copié directement. La réinitialisation de l'alimentation du circuit activera le mode de démarrage (boot) et le RP2040 exécutera le programme copié..

### En savoir plus sur l'aventure !

La face inférieure de ce circuit imprimé comporte une matrice de LED RGB 5 × 5 connectée en série (**figure 10**), donc si nous envisageons de connecter six exemplaires de ce circuit imprimé, nous nous retrouvons avec un total de 150 LED. Comment peut-on les contrôler toutes en utilisant ce RP2040 ?

En fait, vous utiliserez une seule broche pour contrôler ces LED adressables. Êtes-vous familiers avec ce type de LED (dans notre projet, nous avons utilisé le WS2812B) ? Il s'agit d'un ensemble de LED avec un contrôleur intégré, le tout dans un boîtier de 5 mm × 5 mm. Les données relatives à la luminosité et à la couleur de la lumière sont transmises par la broche de commande du RP2040 vers les LED pour mettre à jour le contrôleur de chacune.

Nous avons construit ce circuit imprimé pour tester nos capacités de conception avec un RP2040. Puisque ce projet de cube de LED a été couronné de succès, cette configuration matérielle fonctionnera certainement pour vos projets personnalisés. Il suffit de suivre les recommandations et les conseils concernant les composants nécessaires et vous réussirez facilement à faire fonctionner votre dispositif. Tous les fichiers associés à ce projet (schémas, fichiers gerber, logiciel RP2040 et fichiers STL pour l'impression 3D) peuvent être téléchargés depuis [1].

220241-04

### À propos de l'auteur

Mohamed Belkhir Sayari – « DIY GUY Chris » sur YouTube ([www.youtube.com/MEGADAS/](http://www.youtube.com/MEGADAS/)) – est un ingénieur R&D en électronique tunisien qui a l'esprit d'un véritable innovateur. Il traite chaque projet comme une aventure d'apprentissage et une occasion de démontrer ses compétences.

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ([megadasfirstgate@gmail.com](mailto:megadasfirstgate@gmail.com)) ou contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



### PRODUITS

- > D. Ibrahim, *Raspberry Pi Pico for Radio Amateurs* (Elektor 2021) (SKU 20041) [www.elektor.com/20041](http://www.elektor.com/20041)
- > Raspberry Pi RP2040 Microcontroller (SKU 19742) [www.elektor.com/19742](http://www.elektor.com/19742)

### LIEN

[1] DIY GUY Chris, « How to Build Magic RGB LED Cube (With Code and Files) », 23 mars, 2022: [www.youtube.com/watch?v=A0OtHySzadk](http://www.youtube.com/watch?v=A0OtHySzadk)

# marche/arrêt automatique pour compresseur de pâte à souder

Luc Lemmens (Elektor)

Vous oubliez souvent d'éteindre le compresseur d'air de votre distributeur de pâte à souder ? Ce projet simple est peut-être la solution.

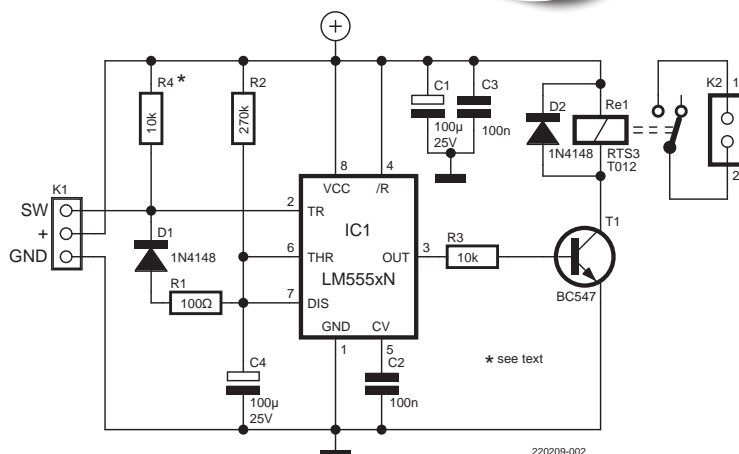
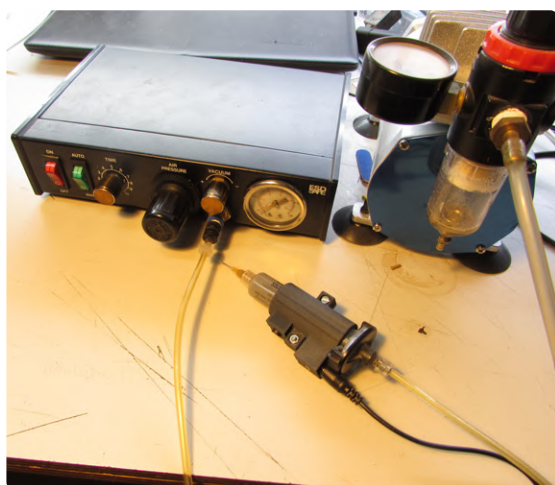


Figure 1. Schéma du circuit. Un 555 fait l'affaire.

Dans mon laboratoire personnel, j'utilise depuis plusieurs années un distributeur pour appliquer la pâte à souder. L'image ci-dessus montre le type d'appareil dont je parle. Il régule l'air comprimé d'un petit compresseur aérographe de 130 W pour assurer qu'il y ait exactement assez de pâte sur les points de soudure d'un circuit imprimé pour souder correctement les composants CMS. Le compresseur possède son propre pressostat, qui le démarre automatiquement et l'arrête à un niveau de pression d'air prédéfini.

## Pourquoi ce projet ?

Lorsque vous arrêtez le distributeur, le compresseur devrait rester silencieux : avec des tuyaux d'air, des raccords et des vannes adaptés, le système reste sous pression. Dans la pratique, il y a toujours une fuite quelque part — et de temps en temps, le compresseur se remet en marche. L'avantage est que cela vous fait penser à l'éteindre. L'inconvénient, c'est que même le compresseur le plus silencieux est bruyant et que vous devrez probablement vous déplacer pour l'éteindre. Mais

si le distributeur peut contrôler la sortie du compresseur, il devrait également être en mesure de contrôler son entrée (c'est-à-dire la connexion à la grille).

Le compresseur fonctionne simplement avec le distributeur : chaque fois que l'utilisateur commande l'interrupteur à main ou à pied du distributeur, une vanne d'air électromécanique s'ouvre. Cela fait circuler l'air du compresseur vers une seringue qui contient la pâte à souder et dose la quantité de pâte qui sort de l'aiguille. Dans le projet présenté ici, l'interrupteur déclenche également un multivibrateur monostable qui commande un relais alimentant le compresseur. Le monoflop est redéclenchable et son temps de mise en marche est plus long que l'intervalle « normal » entre deux touches lorsque vous appliquez de la pâte à souder sur le circuit imprimé. Il reste allumé pendant environ 30 secondes après le dernier usage du distributeur. Après ce laps de temps, le compresseur est mis hors tension, mais il est immédiatement remis sous tension dès que l'on appuie de nouveau sur l'interrupteur à main ou à pied.



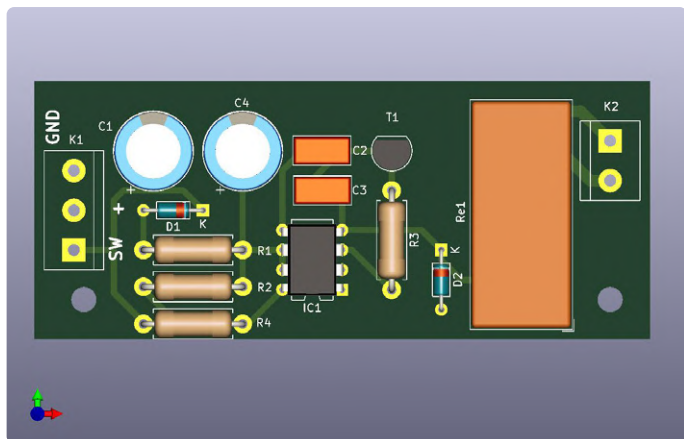


Figure 2: Vue 3D du circuit imprimé.

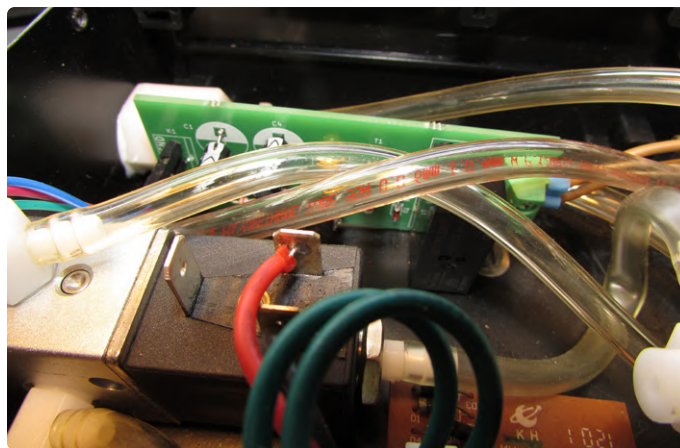


Figure 3: Carte montée entre les tuyaux d'air du distributeur.

## Circuit 555 classique

Il est facile de modifier mon distributeur en toute sécurité : il contient un transformateur et tous les composants électroniques sont à basse tension, séparés galvaniquement du réseau électrique. Je n'ai pas analysé l'électronique interne. Pour ce projet, les seuls éléments importants étaient le régulateur de tension 7812 intégré (qui peut également être utilisé pour alimenter du matériel supplémentaire) et l'entrée de l'interrupteur, qui a apparemment une résistance de tirage vers +12 V (la rétro conception la tire vers GND). Il est assez facile de connecter le circuit simple présenté dans la **figure 1**, qui est une application standard d'un circuit 555 monostable redéclenchable. Lorsque l'entrée de déclenchement (broche 2) est tirée vers le bas, la sortie (broche 3) passe au niveau haut pendant environ  $1,1 \times R2 \times C4$  secondes — dans ce projet une demi-minute.

Un deuxième déclenchement (avant que le circuit 555 ne s'arrête) recharge le condensateur C4 via R1/D1 et réinitialise l'intervalle de temps. La résistance R4 est une résistance de tirage vers le haut facultative pour tester le circuit ou l'utiliser dans d'autres applications, elle n'est pas nécessaire lorsqu'elle est connectée au distributeur.

## Construction du circuit

**Débranchez le câble d'alimentation avant d'ouvrir le boîtier du distributeur !** Le circuit imprimé (**figure 2**) est une conception rapide que j'ai faite avec les bibliothèques standard de KiCad, rien d'extraordinaire. La conception et les fichiers Gerber peuvent être téléchargés à

partir de [1]. Il a été conçu pour s'adapter à l'intérieur du boîtier de mon distributeur ; l'espace est un peu étroit, mais la carte est relativement petite. La **figure 3** montre la carte montée et connectée. Les bornes GND et SW (K1 pin 3 et pin 1, respectivement) sont connectées à la prise jack avec l'interrupteur main/pied sur le panneau arrière. +12 V (K1 pin 2) est directement soudé à la broche de sortie du régulateur de tension 7812 (**figure 4**). Le matériel exact à l'intérieur du distribu-

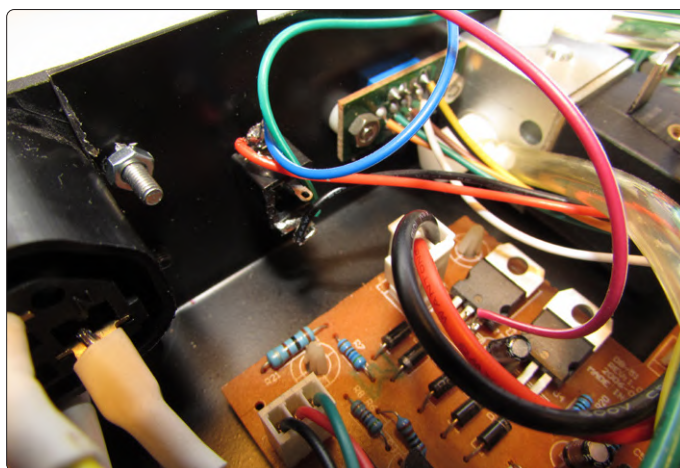


Figure 4: Alimentation et interrupteur connectés.

## IMPRIMEZ VOTRE PROPRE PIÈCE À MAIN EN 3D

Lorsque vous achetez un distributeur de pâte à souder comme le mien, vous obtenez probablement un interrupteur à main et un interrupteur à pied comme accessoires. Je préfère l'interrupteur à main, mais il est intégré à une pièce à main conçue pour des seringues de 150 cc, et trop grande pour les emballages de 30 cc dans lesquels la plupart des pâtes à souder sont vendues. Sur le site d'Adafruit [2], j'ai trouvé des fichiers vous permettant d'imprimer en 3D votre propre pièce à main pour ces petites seringues, mais, à mon avis, ce design est trop fragile pour durer longtemps. Heureusement, le fichier de conception Rhino était également inclus dans le téléchargement, et je l'ai modifié pour créer une version plus robuste. Cela n'a pas pris trop de temps. Cependant, il fait le travail, mais peut être optimisé pour un meilleur ajustement de l'interrupteur et du connecteur à l'intérieur du boîtier. La pièce à main transparente blanche d'origine sur la photo semble être de la même taille, mais elle est en fait beaucoup plus large.



La version noire imprimée en 3D qui s'adapte à la seringue de 30 cc en noir



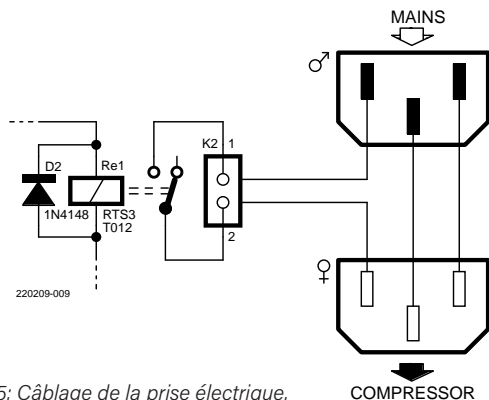


Figure 5: Câblage de la prise électrique.

teur peut être différent selon le type ou la marque et je ne peux pas garantir que ma solution fonctionnera avec tous les modèles. Pour connecter le compresseur, une prise de courant de type IEC C13 a été ajoutée au panneau arrière du distributeur; le câblage est illustré à la **figure 5**. Notez que les connexions d'origine sur l'entrée d'alimentation (le connecteur mâle) restent intactes, seuls les fils qui doivent être ajoutés à ce connecteur sont représentés.

La **figure 6** montre la prise de courant installée pour le compresseur. Bien entendu, vous devez remplacer sa fiche d'origine par une fiche correspondante de type C14.

Veuillez noter que le relais utilisé ici ne résistera qu'avec les petits compresseurs d'aérographe comme celui que je possède. Le courant d'appel élevé des compresseurs plus lourds mis en marche, détruira presque tous les contacts de relais standard, ou les fusionnera. J'avais l'idée de ce circuit depuis longtemps. Maintenant qu'il est prêt, je me demande pourquoi j'ai attendu si longtemps. C'est tellement plus facile de ne plus avoir besoin d'allumer et d'éteindre le compresseur séparément. Cela permet d'économiser une prise de courant et, surtout, de réduire la gêne occasionnée ! ◀

220209-04

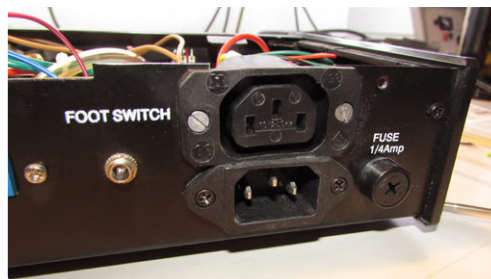


Figure 6: Prise de courant pour le compresseur.



## LISTE DES COMPOSANTS

### Résistances

R1 = 100 Ω  
R2 = 270 k  
R3,R4\* = 10 k

### Condensateurs

C1,C4 = 100 µ/25V radial  
C2,C3 = 100 n

### Semi-conducteurs

D1,D2 = 1N4148  
T1 = BC547  
IC1 = NE555

### Divers

K1 = Bornier à 3 voies, pas 200 200 mil  
K2 = Bornier à 2 voies, pas 200 200 mil  
Re1 = relais 12V DPDT (Schrack RTS3T012)  
Prise de courant IEC C13 (ex. Bulgin Limited PX0675/63)  
Prise IEC C14 (ex. Bulgin Limited PX0686/WH)

\* = voir texte



### À propos de l'auteur

Luc Lemmens a commencé à travailler pour Elektor en mars 1990 après ses études à l'Université technique d'Eindhoven. Il a de nombreux centres d'intérêt. Il en sait un peu sur beaucoup de sujets en électronique. Bien sûr, il a également

écrit ou édité des logiciels en différents langages de programmation et, surtout, en langage assembleur à ses débuts chez Elektor. Actuellement, il se limite généralement à l'Arduino IDE, parfait pour la plupart des projets simples. Pendant son temps libre, Luc aime jouer avec les flippers, et notamment réparer et restaurer les machines électroniques et électromécaniques modernes (avec relais et unités pas à pas).

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (luc.lemmens@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

### Clause de non-responsabilité

Débranchez le distributeur avant d'ouvrir le boîtier. Elektor et l'auteur ne sont absolument pas responsables des dommages résultant de l'utilisation ou de l'installation de ce circuit. L'ouverture du boîtier du distributeur annule la garantie !



### Related Products

- > Velleman VTSS210 Multifunctional SMD Repair Station (SKU 19948)  
[www.elektor.fr/19948](http://www.elektor.fr/19948)
- > Velleman VTSS230 – 2-in-1 SMD Hot Air Rework Station (SKU 19833)  
[www.elektor.fr/19833](http://www.elektor.fr/19833)

### LIENS

- [1] Téléchargements de ce projet:  
[www.elektormagazine.fr/summer-circuits-22](http://www.elektormagazine.fr/summer-circuits-22)
- [2] Fichiers originaux de conception de pièces à main en 3D:  
<https://learn.adafruit.com/3d-printed-solder-paste-dispenser-hand-switch>

# Contenu vidéo d'Elektor

Livestreams, webinaires et cours  
pour les électroniciens et les fabricants professionnels

## L'équipe de rédaction d'Elektor

Les membres de la communauté Elektor sont toujours à la recherche de nouveaux projets, de tutoriels et d'informations techniques. C'est la raison pour laquelle nous créons une grande variété de contenus vidéo en plus des éditions régulières de notre magazine. Rejoignez-nous sur nos livestreams, webinaires et cours pour améliorer vos capacités en ingénierie.



## Elektor Engineering Insights

Pour six décennies, Elektor est connu pour son magazine imprimé couvrant tout type d'électronique. Pour vous apporter encore plus de contenu d'actualité, il y a le site [www.elektormagazine.fr](http://www.elektormagazine.fr) et la lettre d'information hebdomadaire (abonnement à [www.elektormagazine.fr/elektor-newsletter](http://www.elektormagazine.fr/elektor-newsletter)). Mais il ne s'agit pas que de texte et d'images : nous créons également beaucoup de vidéos. Par exemple, lors de l'embedded world 2022, nous avions deux caméramans et trois rédacteurs en mission pour faire des reportages sur les derniers produits et pour interviewer des

experts. Consultez notre chaîne YouTube Elektor ([youtube.com/elektorim](https://youtube.com/elektorim)) !

Depuis le printemps, nous avons ajouté d'autres sources d'inspiration régulières pour vous : des webinaires éditoriaux, des cours ([www.elektormagazine.com/elektor-academy](http://www.elektormagazine.com/elektor-academy)), et deux émissions mensuelles en direct sur YouTube. Tout cela est diffusé directement sur votre PC, tablette ou smartphone, et vous pouvez également poser des questions aux présentateurs et aux experts via une fonctionnalité de chat.

## Webinaires Elektor

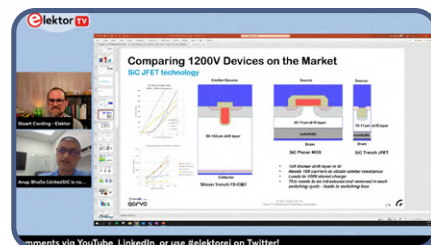
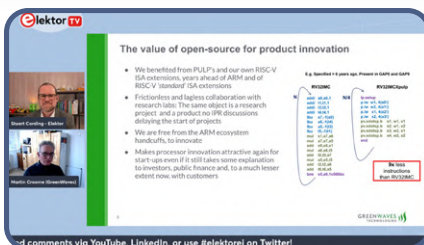
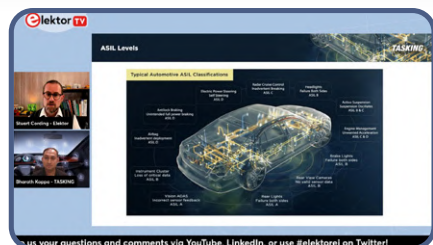
Vous pouvez vous inscrire aux webinaires à l'adresse [www.elektormagazine.com/webinars](http://www.elektormagazine.com/webinars). L'équipe de rédaction d'Elektor organise un webinaire pour chacun des numéros bimestriels réguliers, en se concentrant sur le sujet principal de ce numéro. Par exemple, le thème principal du numéro que vous avez entre les mains est « le sans-fil », alors soyez à l'affût du webinaire, qui aura lieu le 13 octobre à 16h00 CET.

Pour les deux live streams sur YouTube (voir ci-dessous), vous n'avez pas besoin de vous inscrire sur Elektor, mais l'émission en direct et l'option de chat restent les mêmes. Pour la fonctionnalité de chat, vous devez être connecté à YouTube.

## Elektor Engineering Insights

Étant coincé chez lui à cause du Covid pendant deux ans, sans accès aux salons professionnels, Stuart Cording d'Elektor a voulu trouver un moyen de recréer les conversations techniques qu'il avait habituellement lors des expositions et des congrès. Grâce à ses nombreux contacts dans l'industrie et au soutien de l'équipe d'Elektor, il a décidé de donner vie à son émission, Engineering Insights. Diffusée en direct chaque mois sur Elektor TV sur YouTube, LinkedIn et Twitter, les invités de Stuart partagent leurs connaissances sur tous les sujets techniques envisageables, des plus simples aux plus compliqués.

Jusqu'à présent, Elektor Engineering Insights a interviewé ceux qui développent de nouveaux dispositifs à faible consommation basés sur le processeur RISC-V, ainsi qu'une société qui construit les outils nécessaires pour simuler des instructions personnalisées sur ce noyau. Nous nous sommes également intéressés à la technologie à large bande, en examinant les avantages



des dispositifs en nitrure de gallium (GaN) et en carbure de silicium (SiC) par rapport aux MOSFET en silicium traditionnels. Et, pour ceux qui se demandent si leur invention peut être certifiée, Stuart s'est entretenu avec l'Office européen des brevets pour mieux comprendre le processus de demande, et a parlé à un développeur d'énergie solaire portugais pour savoir à travers son expérience comment faire une demande de brevet.

« Au fil des ans, j'ai beaucoup appris de mes pairs du secteur, en visitant leurs bureaux, leurs laboratoires et en les rencontrant lors de salons professionnels », explique Stuart. « Les restrictions imposées par le Covid ont été dévastatrices, coupant essentiellement l'échange de connaissances et d'idées qu'offrent les foires commerciales et les congrès. J'espère vraiment que mon émission contribue à ajouter de la valeur à ces événements et qu'elle soit considérée par la communauté des ingénieurs comme une ressource fiable pour s'informer sur les dernières technologies, les logiciels et les approches de développement. »

Plus d'informations sur le site : [www.elektormagazine.com/eei](http://www.elektormagazine.com/eei)

## Elektor Lab Talk

Mathias Claußen et Jens Nickel sont tous les deux rédacteurs d'Elektor. Mathias est notre expert en logiciels au sein du laboratoire Elektor, et Jens est le rédacteur en chef du magazine. Les deux sont passionnés d'électronique et de programmation, même dans leur vie privée. Ils sont toujours intéressés par les derniers gadgets, les nouvelles techniques électroniques et les points culminants du monde des logiciels. Ne manquez pas les émissions où ils parlent des derniers projets Elektor et des produits phares, ou tout simplement du monde de

l'électronique. Parfois, ils invitent également des experts de différents domaines de l'électronique. Lors de chaque émission, les téléspectateurs peuvent également gagner des cartes de développement, des livres ou d'autres produits de l'e-shop Elektor ! Elektor Lab Talk est diffusé en continu tous les mois. Pour obtenir la liste des émissions à venir et de toutes les émissions passées, rendez-vous sur <https://youtu.be/aIOJrB-1mdp8>. Bien sûr, vous pouvez regarder les

émissions plus tard « à la demande », mais vous ne pourrez alors pas discuter avec Mathias et Jens. N'oubliez donc pas de les regarder en direct ! Si vous êtes connecté à YouTube, vous pouvez appuyer sur la petite cloche pour obtenir un rappel. N'oubliez pas de vous abonner à la chaîne et d'aimer nos vidéos.

Plus d'informations sur le site : [www.elektormagazine.com/elt](http://www.elektormagazine.com/elt)

220357-01



**LabTalk**





# Électrification d'un vélo

## Utilisation d'un kit de modification de vélo électrique

Thomas Scherer (Allemagne)

Une colline escarpée, mon amour-propre de passionné d'électronique et mon âge avancé ont été les raisons pour lesquelles j'ai décidé d'électrifier mon fidèle vélo. Après une première version avec un moteur à entraînement avant, que j'ai construite il y a de nombreuses années, j'ai maintenant opté pour le bon choix : un moteur à entraînement central. Lisez la suite pour en savoir plus sur mon expérience avec ce projet de conversion.



Figure 1. Avant : mon vélo avec un moteur de moyeu avant et un câblage improvisé.

J'habitais à Francfort. À cette époque, ma vie de cycliste était encore raisonnable. Presque tout y est plat, comme à Münster (le foyer du cyclisme en Allemagne) ou aux Pays-Bas, où la plus haute montagne culmine à 322,4 mètres — considérée comme une taupinière par les habitants des Alpes. Avec mon vélo, je pouvais me déplacer presque partout dans la ville plus rapidement et plus confortablement qu'avec une voiture. Cependant, il y a environ 15 ans, j'ai déménagé à Bad Vilbel, à environ 6 km de Francfort. Bien que Francfort soit encore à distance de vélo, il y avait une colline entre ma maison et la grande ville, et la première fois que j'ai abordé cette colline a été une expérience épuisante.

Après les malédictions et le vœu de « plus jamais ça », mes pensées se sont rapidement tournées vers l'assistance électrique. Une option aurait été d'acheter un nouveau VAE (Vélo à Assistance Électrique), mais j'avais récemment acheté un vélo très confortable

avec une suspension avant et arrière et une transmission par courroie au lieu d'une transmission par chaîne, donc la mise à niveau était une alternative plus intéressante. En prime ça satisfaisait mon envie de bricoler. Dès mon arrivée à la maison, je me suis connecté sur eBay et j'ai commandé les pièces nécessaires à l'électrification du vélo. À l'époque, il n'y avait que deux choix : la traction avant et la traction arrière. Je ne voulais pas sacrifier la transmission par courroie, il devait donc s'agir d'un moteur de roue avant. La **figure 1** montre mon vélo après la conversion initiale, composé d'un moteur de moyeu épais et lourd de 36 V en provenance de Chine que j'ai commandé avec un contrôleur, des leviers de frein et une batterie pour porte-bagages.

### Pourquoi choisir un moteur à entraînement central ?

Avec le moteur de moyeu déjà installé dans la roue avant, la conversion de mon vélo n'a

pas pris très longtemps. Dès le premier tour d'essai, j'ai appris deux choses : premièrement, que la colline de Bad Vilbel n'était plus un défi redoutable, et deuxièmement, que le fabricant du contrôleur n'avait pas beaucoup réfléchi au code de la route allemand. Le moteur avait plus qu'assez de puissance, mais il a rapidement vidé la batterie, et l'ensemble du dispositif n'était fondamentalement pas légal pour la circulation routière en Allemagne (voir l'**encadré 250 W et 25 km/h**). Heureusement, j'ai pu identifier le contrôleur et retrouver un outil en ligne qui m'a permis de limiter la puissance du moteur et de rendre le tout conforme à la loi. J'ai utilisé un capteur à effet Hall déclenché par des aimants dans le disque de frein avant pour respecter la limite de vitesse prescrite de 25 km/h. Un petit circuit garantissait que le moteur n'était alimenté que lorsque le vélo roulait à moins de 25 km/h. J'ai même réussi à réduire doucement la puissance entre 20 et 25 km/h.

En fait, j'aurais pu être satisfait, mais comme dit le proverbe, le mieux est l'ennemi du bien. En particulier, je craignais qu'après un certain temps, la fourche avant ne se casse en raison de la fatigue des matériaux causée par le stress du couple moteur. Le véritable tournant est venu lors d'une sortie à vélo avec mon amie. Le vélo qu'elle conduisait - un modèle plus ancien, un VAE prêt à l'emploi avec un moteur à entraînement central - avait une autonomie de batterie nettement meilleure malgré ses 48 500 kms au compteur. Cela signifiait que mon moteur n'était pas particulièrement efficace. De plus, un moteur à entraînement central traverse le changement de vitesse, ce qui fournit beaucoup plus de force dans les rapports inférieurs. Le fait que l'énergie de freinage puisse être récupérée avec un moteur à moyeu ne l'emporte pas sur les avantages d'un moteur à entraînement central, car la récupération d'énergie est une considération relativement mineure avec un vélo.

### Commandé et livré

Une recherche en ligne a révélé qu'un VAE répondant à mes exigences coûterait facilement plusieurs milliers d'euros — et me priverait de beaucoup du plaisir à bricoler. Encore une fois, l'alternative était la conversion. Mis à part quelques petits fabricants de kits d'adaptation, il n'en existe qu'un seul avec une large gamme de produits, une large base d'utilisateurs et des prix raisonnables : Bafang. Les moteurs de ce fabricant asiatique sont disponibles avec différentes puissances et tensions de fonctionnement. Le moteur de type BBS01 a une puissance nominale de 250 W et une tension de fonctionnement de 36 V, ce qui en fait le moteur idéal pour la situation allemande. Cependant, la commande en ligne est un peu délicate : ce type existe aussi en 48 V et avec une puissance nominale de 250 W, 350 W ou même 500 W. Un kit contenant la quasi-totalité des pièces (moteur, afficheur, manivelles, plateau, leviers de frein, câblage, petites pièces diverses et gants blancs ;—), mais sans batterie, peut être obtenu auprès de très nombreuses sources pour moins de 500 €. Vous avez également besoin d'une batterie adaptée (avec des prix à partir de 150 €) et de quelques outils, puis vous êtes prêt à partir.

D'autres types de moteurs sont également disponibles, comme le BBS02 avec une puissance nominale de 750 W à 48 V (parfois étiqueté 500 W) et le BBS03 (également appelé BBSHD) avec une puissance nominale colossale de 1 kW. Est-ce vraiment autorisé

### Einkaufswagen




<input checked="" type="checkbox"/>		Accolmile Metall-Schaltensor für BAFANG BBS01B BBS02B BBSHD Mittelmotor Antriebssystem	16,48 €
Menge: 1 ▼ Löschen			
<input checked="" type="checkbox"/>		Bafang USB Programmierkabel für Mid Drive Motor Kit BBS01 BBS02 BBS03 BBSHD Elektrischer Fahrradmotor USB Kabel Umrüstsatz	15,16 €
Menge: 1 ▼ Löschen			
<input checked="" type="checkbox"/>		Bafang Elektrofahrrad-Kit Mittelmotor BBS02B 48V 750W Umbausatz Ebike-Komponenten-Kit oder Mittelmotor mit 48V 11.6/17.5Ah/ 52...	624,57 €
Farbe: Fahrradcomputer:850C Größe: Kettenblatt:44T-Rahmenakku:48V 11,6Ah Menge: 1 ▼ Löschen			
			Summe (3 Artikel): 656,21 €

Figure 2. Capture d'écran de ma commande pour les composants principaux.



Figure 3. Contenu de la livraison sans la batterie : (a) écran avec support, (b) plateau, (c) extracteur de bras de manivelle, (d) moteur, (e) accélérateur au pouce, (f) bague d'espacement gauche, (g) adaptateur USB/TTL, (h) capteur de changement de vitesse, (i) gants, (j) faisceau de câbles, (k) lampe frontale à LED, (l) connecteur de batterie, (m) leviers de frein, (n) protège-plateau, (o) clé de roulement de pédalier, (p) bras de manivelle gauche, (r) bras de manivelle droite et (s) support de moteur.

en Europe ? Étonnamment, la réponse est oui, car les lois concernent la puissance réelle plutôt que la puissance potentielle — et la puissance réelle est déterminée par le contrôleur du moteur et peut être réglée à l'aide d'un outil. Le principal avantage des moteurs de plus grande taille est qu'ils disposent d'un contrôleur plus performant, qui peut extraire plus de liquide (en pointe) du moteur. J'ai donc opté pour le moteur BBS02. Sa puissance de crête devrait être plus que suffisante pour résister aux VAE tout faits.

Pour configurer les paramètres du contrôleur de moteur, vous avez besoin d'un adaptateur série USB vers TTL. Pratique-

ment tous les types avec un circuit intégré CH340, et certains avec un circuit intégré FTDI, conviennent. Les types CH340 avec un mini-connecteur correspondant sont peu coûteux, j'en ai donc commandé un en même temps.

Un autre composant requis est un capteur de changement de vitesse, car le changement de vitesse sous un couple élevé est difficile pour un changement de vitesse. Ce capteur permet de couper brièvement le moteur lors d'un changement de vitesse.

La question suivante était la capacité de la batterie. Je pensais que 550 Wh devraient suffire, car ma précédente batterie 36 V n'avait





Figure 4. La batterie du cadre 48 V : (a) chargeur, guide de l'utilisateur, clés et batterie, (b) vue du côté gauche de la batterie et (c) vue de dessous de la batterie et du support du cadre.

que 400 Wh. La dernière question était le choix de l'affichage. Les différents fournisseurs proposent des kits où vous pouvez choisir parmi différents écrans avec différentes caractéristiques et différents prix. J'ai opté pour le type 850C couramment utilisé, car il dispose d'un affichage LCD couleur et de cinq niveaux de support.

La **figure 2** montre une capture d'écran de ma commande auprès d'un revendeur assez important. Grâce à une remise opportunément disponible, le montant total, frais de port compris, était d'un peu moins de 630 €. J'étais satisfait. La **figure 3** montre ce qui a été livré. Dans la **figure 4**, vous pouvez voir la batterie du cadre avec le chargeur et le support de montage pour fixer la batterie au cadre à la place d'un porte-bouteille d'eau.

### Est-ce que tout convient ?

Si vous envisagez ce type de conversion, vous devez vérifier quelques points avant d'appuyer sur le bouton Commander. Un moteur d'entraînement central Bafang est inséré dans le pédalier par la droite et fixé par une bague filetée à gauche. Pour cela la largeur (ou longueur) du pédalier de votre vélo doit être comprise entre 68 et 77 mm. S'il est un peu plus étroit que 68 mm, vous pouvez compenser avec des bagues d'écartement. S'il est un peu plus large que 68 mm, vous aurez également besoin de rondelles de 6 mm pour le support moteur sur le côté gauche. De plus, le diamètre intérieur doit être d'au moins 33,5 mm et ne doit pas être beaucoup plus grand. Cela signifie que vous



Figure 5. L'extracteur de manivelle en haut et la clé en bas faisaient partie de la livraison. J'ai dû commander séparément la clé à ergot au milieu.



devez d'abord tout mesurer. Dans mon cas, il s'adapte presque parfaitement. Il est également important de commander en même temps les bons leviers de frein, car ils coupent le moteur lorsque vous freinez. Dans de nombreux cas, vous pouvez choisir entre des leviers pour freins sur jante et des leviers pour freins à disque hydrauliques, sans différence de prix.

En parcourant l'immense quantité de contenu en ligne sur les moteurs Bafang, j'ai rencontré plusieurs rapports sur les risques de faire fonctionner des moteurs 48 V à une tension légèrement plus élevée. Il existe des batteries avec une cellule supplémentaire (14 cellules au lieu de 13), ce qui signifie qu'elles ont une tension nominale de 52 V. Une batterie de 48 V complètement chargée peut avoir une tension de sortie aussi élevée que 54,5 V dans des conditions sans charge. Une batterie de 52 V peut donc appliquer près de 59 V aux bornes du contrôleur de moteur, et apparemment les moteurs n'aiment pas cela à long terme. Alors rappelez-vous : 48 V suffisent.

J'ai en fait une bonne collection d'outils, mais je ne suis pas un mécanicien de vélo passionné, donc je n'avais pas de clé à ergot adaptée (illustrée au milieu de la **figure 5**) pour retirer les bagues de retenue de mes roulements de pédalier. J'ai donc acheté une clé bon marché. L'extracteur de bras de manivelle requis était déjà inclus dans les articles livrés.

Un dernier aspect est qu'avec les moteurs à entraînement central Bafang, vous pouvez choisir des plateaux de 42 à 46 dents, ce qui



Figure 6. Le mécanisme interne d'un moyeu à sept vitesses, re-graissé après avoir retiré le frein à rétropédalage.

affecte le rapport de démultiplication. J'ai opté pour le plateau standard à 44 dents. Des versions déportées avec moins de dents sont également disponibles dans les magasins d'accessoires, si vous souhaitez assembler un VTT avec une force d'entraînement particulièrement élevée.

### Installation

En guise de remarque préliminaire, une description détaillée du processus d'installation nécessiterait un article beaucoup plus volumineux et n'est en tout cas certainement pas nécessaire. Il existe énormément de rapports sur ce sujet disponibles en ligne, ainsi que de nombreuses vidéos YouTube traitant de tous les aspects mécaniques. Le kit est également livré avec des instructions (en anglais), que j'ai trouvées utiles. Je ne peux même pas recommander de sources en ligne particulières, car cela vaut vraiment la peine de se documenter sur ce sujet avant de commencer. C'est parce que les différents rapports et instructions ont leurs propres forces et faiblesses, et dans certains cas des interprétations plutôt uniques.

La procédure de base : retirez les bras de manivelle gauche et droit ainsi que l'axe de manivelle, les roulements et le plateau. Insérez le moteur par la droite et fixez-le à gauche avec la bague filetée, puis fixez le plateau et le protège-plateau à droite. Montez ensuite les nouveaux bras de manivelle et les anciennes pédales. Ensuite, remplacez les leviers de frein et montez l'écran et l'accélérateur au pouce sur le guidon. Enfin, installez la batte-



rie et connectez le faisceau de câbles. Appliquez un peu de Loctite sur les joints filetés si nécessaire pour vous assurer qu'ils restent bien serrés. Si vous avez l'habitude de travailler sur des vélos, vous pouvez le faire en un après-midi si tout s'adapte.

Mon vélo, cependant, présentait un certain nombre de défis, j'ai donc passé plusieurs jours sur la conversion, en travaillant avec soin. Au début, j'ai pensé que je pouvais d'une manière ou d'une autre adapter le pignon avant de la courroie au nouveau moteur d'entraînement. Malheureusement, ce n'était tout simplement pas possible, alors je suis passé de la transmission par courroie à la transmission par chaîne. C'est plus facile à dire qu'à faire. Mon moyeu existant à vitesses intégrées Shimano à huit vitesses n'était pas vraiment adapté à la reconversion à la transmission par chaîne, j'avais donc besoin d'un nouveau moyeu à engrenages. J'ai d'abord essayé un moyeu à sept vitesses bon marché provenant d'un vélo mis au rebut. Il avait un frein à rétropédalage, ce qui est un risque pour la sécurité et n'est pas très pratique. J'ai donc décidé de démonter le moyeu à engrenages et de retirer le frein à rétropédalage (**figure 6**). Cela s'est avéré possible et j'ai réussi à le faire avec un peu d'aide en ligne. Cependant, c'était difficile à supporter pour mes mains, qui sont habituées à travailler avec des composants électroniques propres plutôt qu'avec des pièces grasses.

La roue avant avec le moteur de moyeu a dû être retirée et remplacée par l'ancienne roue avant, mais cette roue était équipée d'un générateur de moyeu moderne qui n'était plus

## 250 W et 25 km/h

La situation juridique d'un VAE « maison » (également appelé e-bike25) varie considérablement d'un endroit à l'autre. Aux États-Unis, vous pouvez plus ou moins faire ce que vous voulez, mais les résidents européens sont liés par la réglementation dans une certaine mesure. Comme on pouvait s'y attendre, la réglementation en Allemagne est particulièrement stricte [1]. En Allemagne, il y a quatre critères à respecter si vous voulez éviter d'enfreindre la loi :

1. Puissance limitée à 250 W
2. Vitesse limitée à 25 km/h
3. Assistance à la conduite uniquement lors du pédalage (le « mode cyclomoteur » n'est pas autorisé)
4. Assistance au démarrage uniquement jusqu'à 6 km/h sans pédaler

Ces critères sont loin d'être précis. La loi fait référence à la puissance continue et ne dit rien sur la puissance de crête. Par conséquent, dans certaines situations (par exemple, en montant une côte à basse vitesse), même les vélos électriques de fabricants renommés délivrent des centaines de watts de plus que la valeur moyenne autorisée. La situation concernant l'assistance dépendante de la vitesse n'est pas claire non plus. Une diminution progressive de 250 W à 0 W entre 20 et 25 km/h est-elle nécessaire, comme on le suppose parfois, ou suffit-il de réduire brusquement la puissance du moteur juste avant 25 km/h ? Et quelle est la tolérance sur la limite de vitesse de 25 km/h ? Peut-on raisonnablement s'attendre à une tolérance de 3 km/h au-dessus de la limite prescrite, telle qu'autorisée pour les véhicules à moteur captés par les radars ?

Seuls les points 3 et 4 sont plus ou moins clairs. Tout accélérateur au pouce monté sur un vélo ne peut certainement accélérer que jusqu'à 6 km/h sans assistance active du pilote, ce qui est donc autorisé.

Et tout véhicule électrique commercialisé dans l'UE nécessite une déclaration de conformité UE et un marquage CE, mais vous pouvez les délivrer vous-même.

nécessaire. L'alimentation de l'éclairage du vélo directement à partir de la batterie est désormais autorisée, et le faisceau de câbles a même un connecteur séparé pour cela qui fournit 6 V à 3 W. J'ai donc mis la roue avant avec le générateur de moyeu sur eBay et acheté sur eBay une roue avant appropriée sans générateur.

Un bon ami - le fils d'un maître mécanicien de vélos et le frère d'un propriétaire de magasin de vélos - m'a averti qu'un moyeu à engre-

nages normal finirait par s'user sous l'effet du couple moteur. En conséquence, j'ai jeté un coup d'œil à ce qui est disponible à cet effet. Le top absolu est sans aucun doute le Rohloff Speedhub [2] : 14 vitesses, haut rendement, très robuste grâce à une bonne ingénierie allemande - le tout sans doute, très bien, mais plus cher que mon vélo, le kit de conversion compris. Et je n'avais pas vraiment besoin de 14 vitesses ; « moins c'est plus » semblait être approprié ici. Une autre option était le moyeu à cinq vitesses Nexus 5E de Shimano [3], nettement moins cher mais robuste, qui est conçu spécifiquement pour les VAE et est plus robuste que la plupart des autres. C'était assez bon pour moi, alors j'en ai commandé un. Le défi s'est présenté rapidement : le moyeu à engrenages devait être rayonné sur une jante. Là encore, la bonne approche était de se documenter d'abord, et j'ai découvert un monde totalement nouveau pour moi. L'ami mentionné précédemment m'a fait remarquer que le rayonnage d'une jante est une tâche difficile, même pour un mécanicien de vélo qualifié, mais cela n'a fait que stimuler mon ambition. La **figure 7** montre le nouveau moyeu à engrenages dans une nouvelle jante avec de nouveaux rayons, le tout dans mon gabarit d'alignement composé d'une pince à une main, de quelques serre-câbles et d'un étau vintage. Avec cela, j'ai réussi à obtenir un faux-rond d'environ  $\pm 0,05$  mm latéralement et  $\pm 0,15$  mm radialement. Si vous avez

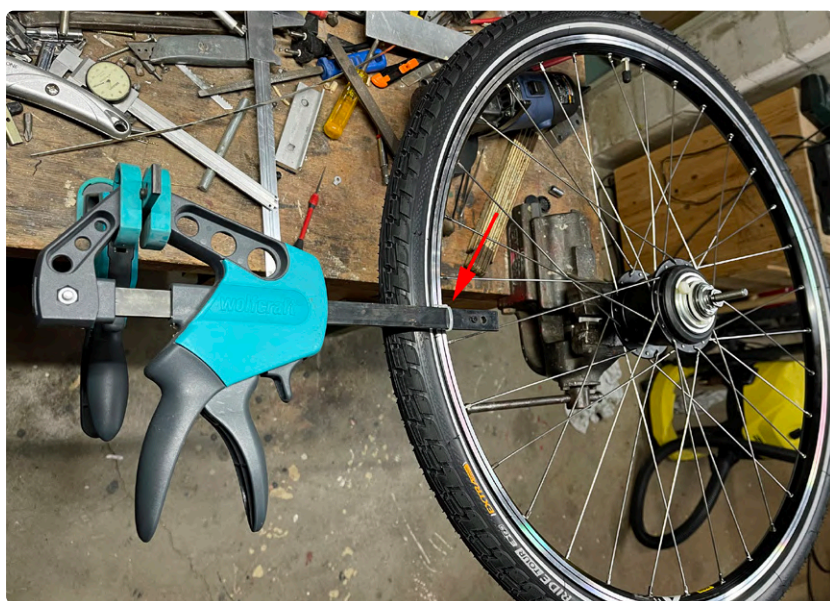


Figure 7. Gabarit improvisé pour le montage des rayons. L'étau est venu de mon grand-père.





Figure 8. Moteur et support gauche. Mon boîtier de pédalier mesurait 70 mm de large, donc le support nécessitait des rondelles en acier inoxydable (flèche) avec des trous de 6 mm.

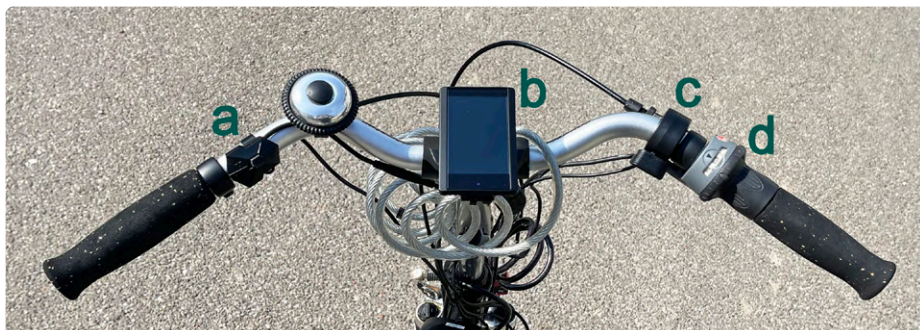


Figure 9. Nouveaux accessoires de guidon : (a) boutons de commande, (b) écran, (c) accélérateur au pouce (aide au démarrage) et (d) poignée de changement de vitesse avant la conversion à l'Inter-5E.



Figure 10. Après : Le vélo électrique entièrement équipé, toujours avec l'ancien moyeu à sept vitesses. Mais ça roule !

une configuration de dérailleur, vous n'avez pas besoin de vous embêter avec ce genre d'arrangement, et vous êtes invités à rire de mes efforts.

L'emplacement de la batterie nécessitait également un examen plus approfondi. Aupa-

vant, j'avais une batterie vissée sur le porte-bagages, mais je n'aimais plus cette approche. Une batterie de cadre peut généralement être montée sur les deux douilles filetées du cadre destinées à fixer un porte-bouteille d'eau. La position de ces douilles filetées sur mon vélo

n'était pas idéale, j'ai donc fabriqué un adaptateur de montage à partir d'une feuille d'acier inoxydable mesurant 400 × 35 × 3 mm et l'ai vissé au cadre avec une couche de caoutchouc en dessous.

Cela résume les particularités de mon cas ; j'espère que votre situation sera plus facile. La **figure 8** montre le côté gauche du moteur installé. La **figure 9** montre les nouveaux raccords sur mon guidon. Le résultat global fini peut être admiré sur la **figure 10**.

## Paramètres

Comme mes années d'adolescence appartiennent au passé, je ne suis pas particulièrement excité par la conduite de véhicules illégaux. De plus, la vitesse maximale autorisée de 25 km/h me suffit, surtout en circulation urbaine. Mon expérience montre que ma vitesse moyenne est maintenant nettement plus élevée qu'avant sans assistance électrique, sans doute grâce à l'assistance. En conséquence, l'étape suivante consistait à définir des valeurs de paramètres appropriées afin que mon vélo électrique « maison » soit conforme aux réglementations européennes et allemandes.

Cela nécessite un outil logiciel approprié en plus de l'adaptateur USB/TTL mentionné précédemment. L'option la plus avancée et la moins sujette aux erreurs est l'outil de configuration Bafang V2.0 de Stefan Penov, qui peut être téléchargé à partir de son site Web [4] complet avec le code source, des instructions et des exemples de configuration. Malheureusement, de nombreuses informations contradictoires sur la programmation du contrôleur Bafang peuvent être trouvées en ligne, et les instructions de l'outil ne sont pas tout à fait adéquates. Cependant si vous suivez ma procédure, il devrait vous être facile non seulement de rendre votre moteur légal, mais aussi de le configurer pour répondre à vos besoins.

La première étape consiste à brancher l'adaptateur USB/TTL sur un port USB de votre ordinateur. Si vous utilisez Windows 11 (comme moi), le pilote correspondant au CH340 sera installé automatiquement. Sinon, vous pouvez télécharger une version actuelle du pilote à partir de [5]. Pour FTDI, vous pouvez trouver un pilote approprié sur le site Web du fabricant. Comme vous pouvez le voir sur la capture d'écran du gestionnaire de périphériques de la **figure 11**, sur mon ordinateur, un port série virtuel a été configuré sur COM3.

Lorsque vous lancez l'outil de configuration Bafang, la fenêtre illustrée à la **figure 12** s'affiche. Si vous déconnectez maintenant





l'écran du moteur, vous pouvez insérer la fiche verte de l'adaptateur USB/TTL dans la prise verte (menant au moteur) et alimenter le moteur via l'interrupteur sur la batterie. La LED de l'adaptateur doit s'allumer. Après avoir sélectionné le bon port virtuel à droite sous *Communication Interface*, vous pouvez cliquer sur *Connect*, puis sur *Read Flash* comme première étape. Ceci lit la configuration par défaut du contrôleur de moteur. Il est conseillé d'utiliser le menu *File* pour l'enregistrer avec un nom significatif, de sorte que vous ayez toujours une sauvegarde si d'une manière ou d'une autre, vous ratiez le réglage des paramètres.

### Basic

Les paramètres de base sont affichés dans l'onglet *Basic* de la fenêtre. Une batterie avec BMS coupe normalement la batterie si la tension est trop basse. Sous *Low Battery Protection*, vous pouvez également saisir une valeur. Avec une batterie de 48 V et une tension minimale de 3 V par cellule, la valeur de coupure est de 39 V ; avec une batterie de 36 V, la valeur appropriée est de 30 V.

Le courant maximum sous *Current Limit* détermine la puissance de crête tirée de la batterie et, en combinaison avec d'autres paramètres, détermine également indirectement la puissance continue. Vous ne devez jamais entrer ici un courant supérieur à celui que le contrôleur peut gérer. Sa valeur maximale est affichée en bas à droite. Pour un BBS01 36 V avec une puissance nominale de 250 W, la limite est de 15 A. Cela correspond à une consommation électrique de 540 W. Après soustraction de diverses pertes, cela laisse au plus 70 % à la roue arrière. La puissance de sortie maximale est donc d'environ 380 W. En combinaison avec d'autres réglages de paramètres, cela vous met du côté de la sécurité. Avec le BBS02 48 V, 25 A sont possibles. Selon Adam Ries, cela se traduit par une puissance de crête brute de 1,2 kW, avec 840 W réellement disponibles en supposant un rendement global de 70 %. C'est beaucoup trop à mon goût. J'ai donc réduit le courant crête à 15 A pour une puissance crête réelle acceptable d'environ 500 W à la roue arrière — et mon contrôleur m'en sera reconnaissant. Certains VAE prêts à l'emploi avec des moteurs Bosch ont des réglages nettement plus élevés. Si vous devez définir la limite de courant pour un moteur BBSHD, vous pouvez le découvrir par vous-même. Son contrôleur peut gérer 30 A, mais la batterie doit également être en mesure de le fournir si vous souhaitez utiliser pleinement la consom-

mation électrique maximale de 1,5 kW. Bien sûr, dans ce cas, ce ne sera pas légal. Viennent ensuite les niveaux d'assistance *Assist Levels*. En plus du niveau 0, le contrôleur prend en charge neuf niveaux supplémentaires. La plupart des écrans sont en fait de petits ordinateurs de vélo et ne permettent que cinq niveaux supplémentaires. Cependant, certains prennent en charge neuf niveaux ou ont un nombre configurable de niveaux. Pour tous les affichages, la règle est que pour *Assist 0*, vous devez entrer « 0 » pour *Current Limit* et *Speed Limit*, sauf si vous souhaitez une assistance au démarrage via un accélérateur au pouce, auquel cas vous devez entrer « 1 » comme indiqué ici. Mon écran prend en charge cinq niveaux. Malheureusement, les instructions disponibles en ligne ne sont pas toujours d'accord sur les niveaux à configurer pour les écrans de moins de neuf niveaux. Les

niveaux 1, 3, 5, 7 et 9 sont souvent recommandés pour un affichage à cinq niveaux, mais j'ai aussi vu 1, 2, 4, 6, 9 et d'autres variantes. Dans mon cas, aucun de ceux-ci n'a fonctionné correctement, mais les valeurs de la **figure 12**, où chaque niveau sauf le dernier est dupliqué, ont fonctionné. Les pourcentages de limite de courant sont liés au paramètre *Current Limit* et, de même, les pourcentages de vitesse sont liés à la vitesse maximale définie dans l'onglet suivant. Avec cette configuration, au niveau 3 (correspondant au niveau 5/6) je roule jusqu'à la moitié de la puissance pour des vitesses allant jusqu'à 20 km/h si la vitesse maximale est fixée à 25 km/h. Bien sûr, ces valeurs ne sont pas immuables et peuvent être ajustées si vous le souhaitez. Au niveau 1 (correspondant au niveau 1/2) j'utilise habituellement l'aide au démarrage, donc là le réglage n'est que de 40 %.

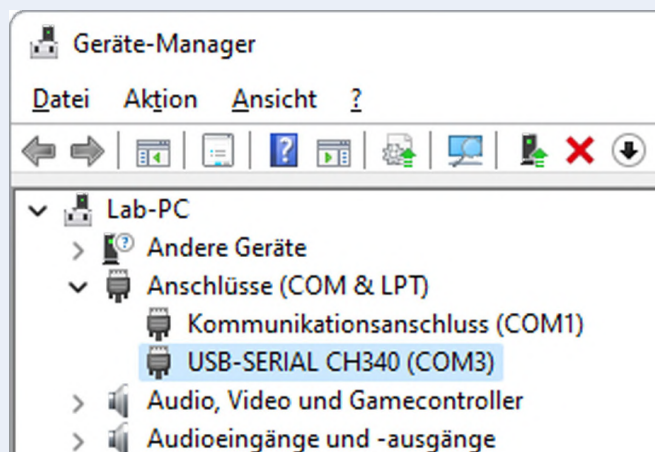


Figure 11. Dans la fenêtre du gestionnaire de périphériques de Windows, l'adaptateur USB/TTL s'affiche avec le port virtuel COM3.

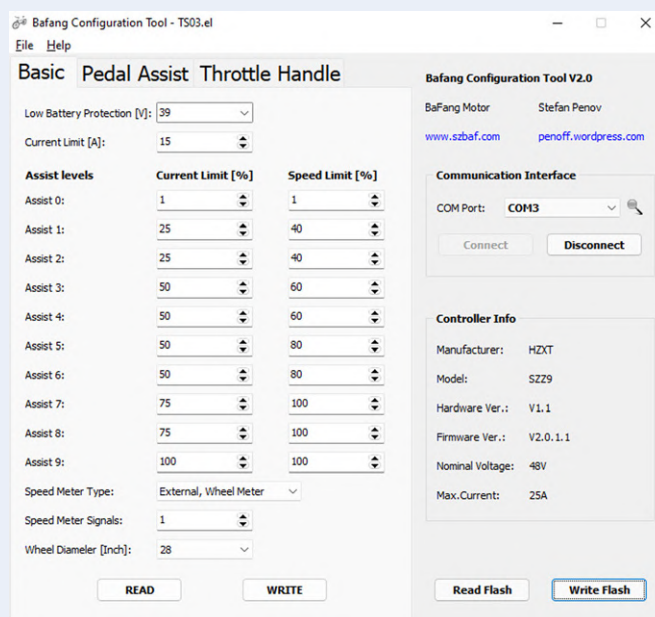


Figure 12. La fenêtre de saisie inférieure avec l'onglet *Basic* sélectionné, montrant mes réglages de paramètres.



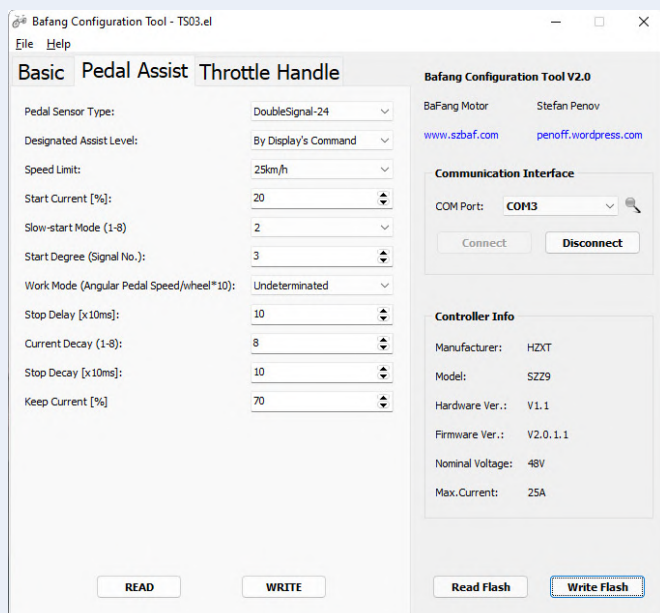


Figure 13. La fenêtre d'outil avec l'onglet *Pedal Assist* sélectionné. Assurez-vous de définir la limite de vitesse ici !

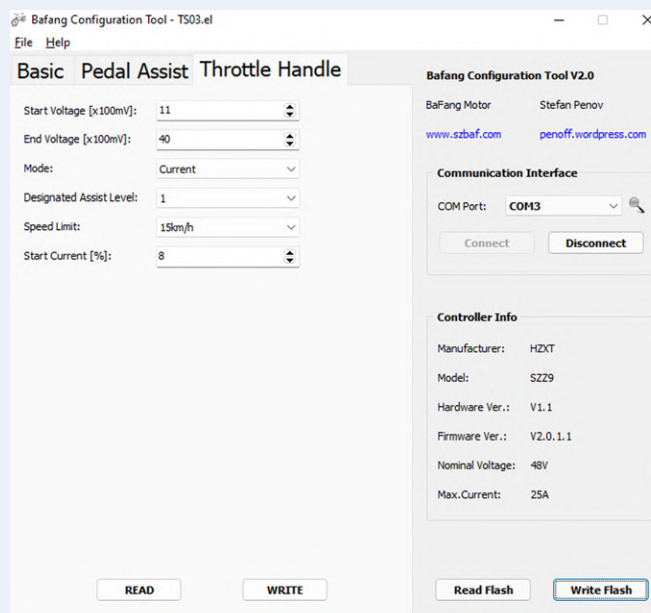


Figure 14. Les paramètres d'assistance au démarrage sont définis dans l'onglet *Throttle Handle*.

Pour *Speed Meter Type*, vous devez toujours sélectionner *External*, *Wheel Meter*. Entrez « 1 » pour *Speed Meter Signals* si vous n'avez installé qu'un seul aimant sur les rayons pour déclencher le capteur de régime. Entrez le diamètre de la roue en pouces pour le paramètre *Wheel Diameter*.

### Pedal Assist

Cet onglet (figure 13) contient d'autres paramètres importants. Le paramètre *Pedal Sensor Type* doit être réglé exactement sur ce qui est indiqué sur la figure. Le paramètre *Designated Assist Level* est réglé pour être contrôlé par l'écran, qui est le seul moyen de changer de niveau à l'aide des boutons du guidon. Maintenant, les choses commencent à devenir intéressantes : pour *Speed Limit*, vous devez toujours entrer une vitesse maximale de 25 km/h. Il est également possible de récupérer cette valeur à l'écran, mais cela permet à l'utilisateur de la manipuler pendant la conduite. Vous pouvez me croire : la police ne voit pas d'un bon œil ce genre d'astuces - et de nos jours, les policiers savent certainement comment naviguer sur les écrans des vélos électriques. En conséquence, vous devez définir la limite de vitesse comme une valeur

fixe dans le contrôleur.

*Start Current* définit le niveau de courant pour le démarrage. Des valeurs supérieures à 30 % entraînent une accélération très brutale au démarrage. À des réglages de vitesse plus élevés, cela peut surcharger le contrôleur. Une valeur de 20 % (correspondant à 3 A ou 150 W) donne un démarrage régulier et en douceur. *Slow-Start mode* définit le comportement au démarrage ; les valeurs plus élevées sont plus brusques. *Start Degree* définit le nombre d'impulsions du signal interne de la pédale nécessaires pour démarrer le moteur. Des valeurs plus faibles entraînent un démarrage plus rapide, mais une valeur de « 1 » doit être évitée, sinon le vélo risque de démarrer à l'envers. Apparemment, personne ne sait vraiment ce que fait le paramètre *Work Mode*, vous devriez donc le laisser tel quel.

*Stop Delay* est le délai par incréments de 10 ms après lequel le moteur s'éteint lorsque vous arrêtez de pédaler. Le paramètre *Current Decay* détermine de combien le courant est réduit lorsqu'une cadence élevée spécifique (vitesse de pédalage) est atteinte. Cela garantit que même à 25 km/h vous ne pouvez pas dépasser 250 W de puissance continue en pédalant très vite. J'ai sélectionné une valeur élevée pour cela.

*Current Decay* définit le point où la réduction de puissance commence et *Keep Current* définit la valeur en pourcentage du courant réduit résultant. Je ne sais toujours pas quelle valeur me convient le mieux.

### Throttle Handle

Cet onglet n'est pertinent que si vous avez installé une poignée d'accélérateur ou un accélérateur au pouce. Ici, en Allemagne, vous devez vous assurer que la vitesse maximale possible ne dépasse pas 6 km/h lorsque l'accélérateur est actionné sans pédaler. Vous devez d'abord définir les valeurs de tension minimale et maximale sous *Start Voltage* et *End Voltage*. Une plage de tension étroite entraîne une réponse plus brusque de l'accélérateur. Le paramètre suivant est Mode, avec les options *Current* et *Speed*. Je trouve *Current* plus naturel et plus doux.

Ensuite, vous devez définir le niveau d'assistance au démarrage sous *Designated Assist Level*. Dans mon cas, cela est réglé sur le niveau 1. J'ai spécifié une nouvelle *Speed Limit* de 15 km/h. Peut-être vous souvenez-vous qu'une vitesse maximale de 40 % était fixée pour le niveau 1. Référencée à 15 km/h, cela

## LIENS

- [1] Loi Pedelec allemande: [www.gesetze-im-internet.de/stvg/\\_1.html](http://www.gesetze-im-internet.de/stvg/_1.html)
- [2] Rohloff Speedhub: [www.rohloff.de/en/products/speedhub](http://www.rohloff.de/en/products/speedhub)
- [3] Shimano Nexus Inter-5E: <https://tinyurl.com/bdzh48k>
- [4] Outil de configuration Bafang V2.0: <https://penoff.me/2016/01/13/e-bike-conversion-software>
- [5] Pilote pour CH340 (USB/TTL): [www.wch.cn/downloads/CH341SER\\_ZIP.html](http://www.wch.cn/downloads/CH341SER_ZIP.html)




donne exactement les 6 km/h autorisés. Dans les pays où une valeur plus grande est autorisée, vous pouvez également entrer d'autres niveaux et vitesses. Le dernier paramètre ici est *Start Current*. Ce paramètre ne concerne également que l'aide au démarrage et devrait être assez petit. Avec 10 % du courant maximum réglé sous *Basic*, le vélo démarre très bien.

### Enregistrement

Pour enregistrer les valeurs saisies sur chaque onglet dans le contrôleur, cliquez sur le bouton *Write*. Cliquer sur *Write Flash* écrit toutes les valeurs dans le contrôleur en même temps. Ensuite, vous pouvez immédiatement faire un essai routier pour voir l'effet des paramètres modifiés.

### C'est l'heure d'un essai routier

Si vous êtes inspiré par mon expérience et que vous souhaitez électrifier personnellement un vélo de cette manière, vous devez toujours porter un casque lors des premières sorties et porter un casque après avoir modifié ultérieurement tout réglage de paramètre. Dans mon cas, rien d'inhabituel ne s'est jamais produit, mais on ne sait jamais. Un moteur à entraînement central comme celui-ci peut développer beaucoup de force dans les vitesses inférieures. Contrairement aux moteurs à entraînement central d'autres fabricants (par exemple, Bosch), les moteurs Bafang n'ont pas de capteur de couple dans la manivelle de la pédale. Cela signifie que l'assistance n'est pas proportionnelle à la force appliquée, mais dépend plutôt du niveau d'assistance et de la cadence de pédalage. Je m'y suis habitué assez rapidement. En termes de performances et de couple, mon vélo n'a rien à envier aux produits du commerce.

Si vous êtes allé aussi loin dans votre mise à niveau comme décrit ici, la prochaine étape est un essai routier. J'espère que vous le trouverez très agréable ! 

210726-04

### Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



### PRODUITS

- **Compteur multifonctions sans fil VAX-1030 de Joy-IT (SKU 19199)**  
[www.elektor.fr/19199](http://www.elektor.fr/19199)
- **Alimentation à découpage CC PeakTech 6227 (0-60 V, 0-6 A) PeakTech 6227 avec LCD couleur et 2x USB (SKU 19323)**  
[www.elektor.fr/19323](http://www.elektor.fr/19323)
- **Velleman VTSS220 Station de soudage avec contrôle de température (SKU 19865)**  
[www.elektor.fr/19865](http://www.elektor.fr/19865)



## NOTRE GAMME PAR DES TECHNICIENS POUR LES TECHNICIENS

The best part of your project:  
[www.reichelt.com](http://www.reichelt.com)

### Uniquement le meilleur pour vous - provenant de plus de 1.500 marques

Nos responsables produits sont employés par Reichelt depuis de nombreuses années et connaissent les exigences de nos clients. Ils rassemblent une large gamme de produits de qualité, à la fois parfaits pour les besoins dans les domaines de la recherche et du développement, la maintenance, l'infrastructure informatique et la production en petites séries et adaptés pour les fabricants.

### ESSENTIELLE ET POLYVALENTE LES CONNEXIONS IDÉALES POUR VOTRE PROJET



Découvrez maintenant ► <https://rch.lt/conf>

Types de paiement :



- Excellent rapport qualité prix
- Plus de 120 000 produits sélectionnés
- Livraison fiable - depuis l'Allemagne dans le monde entier

**reichelt**  
elektronik – Tirer le meilleur parti de votre projet

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

Assistance téléphonique: +33 97 518 03 04

Les réglementations légales en matière de résiliation sont applicables. Tous les prix sont indiqués en € TVA légale incluse, frais d'envoi pour l'ensemble du panier en sus. Seules nos CGV sont applicables (sur le site <https://rch.lt/CG-FR> ou sur demande). Semblables aux illustrations. Sous réserve de coquilles, d'erreurs et de modifications de prix. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande (Allemagne), tél. +33 97 518 03 04

# démarrer en électronique... (15)

## multiplication de tensions



Eric Bogers (Elektor)

Nous avons terminé l'épisode précédent par un circuit redresseur simple que nous avons utilisé pour générer une tension d'alimentation symétrique (c'est-à-dire tension positive et négative égales). Une propriété intéressante de ce circuit est que nous pouvons également l'utiliser comme doubleur de tension.

Dans la **figure 1**, nous rappelons le schéma du redresseur qui génère une tension d'alimentation symétrique. Une tension positive apparaîtra aux bornes de la résistance en haut et une tension négative de même amplitude apparaîtra aux bornes de celle en bas — mesurées par rapport au nœud commun de ces deux résistances. Bien entendu, cela s'avère extrêmement utile si nous devons (par exemple) alimenter deux amplificateurs opérationnels. Mais attendez un peu ! Nous ne sommes pas obligés d'utiliser le nœud qui relie ces deux résistances comme une connexion commune ! Si nous ne le faisons pas, alors nous obtenons environ le double de la tension du transformateur aux bornes des deux résistances. Ce circuit est donc un doubleur de tension.

Réorganisons un peu les composants du circuit de la **figure 1** — voir **figure 2**. Il s'agit également d'un doubleur de tension. Pendant les demi-périodes négatives de la tension alternative d'entrée, le condensateur C1 est chargé à la valeur de crête de la tension alternative. Puis, pendant la demi-période positive, la tension de sortie du transformateur est ajoutée à cette tension aux bornes de C1, de sorte que le condensateur C2 est chargé via la diode D2 pour doubler la valeur de crête de la tension CA.

Bien entendu, la tension aux bornes de C2 ne sera jamais égale au double de la valeur de crête de la tension alternative. D'abord, nous devons soustraire les chutes de tension dans le sens direct des deux diodes, et ensuite, C2 sera déchargé par la résistance (c'est-à-dire la charge).

Il est possible d'utiliser ce type de circuit pour charger un

condensateur à une tension élevée et de l'utiliser, par exemple, comme dispositif de déclenchement dans un spectacle pyrotechnique.

La **figure 3** montre un circuit qui triple la tension. Pendant la demi-période positive, le condensateur C1 est chargé à la tension de crête. Cela donne la possibilité de charger C2 pendant la demi-période négative au double de la valeur de crête. Pendant les demi-périodes positives, la valeur de crête est également ajoutée à la tension de crête double de C2. Celle-ci est finalement utilisée pour charger le condensateur C3 via D3.

Enfin, nous avons représenté sur la **figure 4** le schéma d'un quadrupleur de tension. Pendant la demi-période négative, C1 se charge via D1 à la valeur crête de la tension alternative. Pendant la demi-période positive, la valeur de crête de la tension alternative du transformateur est ajoutée à la tension aux bornes de C1 ; elle permet de charger le condensateur C3 via D2 au double de la valeur de crête. Pendant la demi-période négative, le condensateur C2 est ensuite chargé via D3 à trois fois la valeur de crête, et enfin (toujours pendant la demi-période positive) le condensateur C4 se charge via D4 à quatre fois la valeur de crête.

Nous pourrions continuer ce petit jeu — en théorie, il est possible de concevoir un multiplicateur de tension qui multiplie la tension alternative d'entrée par un nombre très important. Mais, cela nécessite un nombre considérable de composants, et en plus l'efficacité du circuit diminue rapidement : les multiplicateurs à diodes sont maudits par une résistance interne assez élevée. Sous charge, la



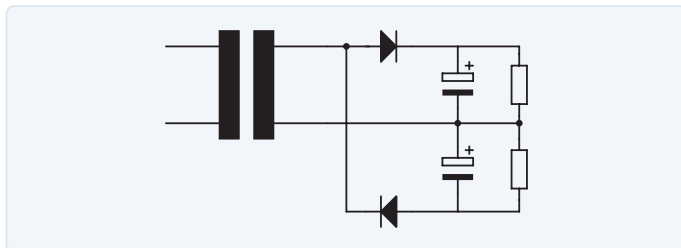


Figure 1. Voici comment nous générons une tension d'alimentation symétrique.

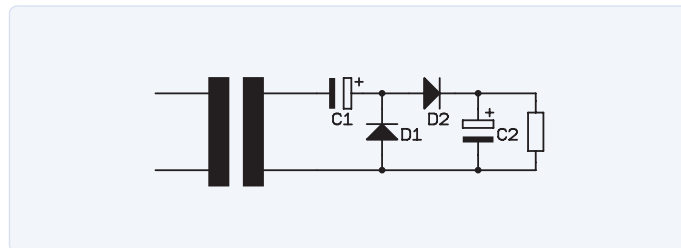


Figure 2. Le circuit est également un doubleur de tension.

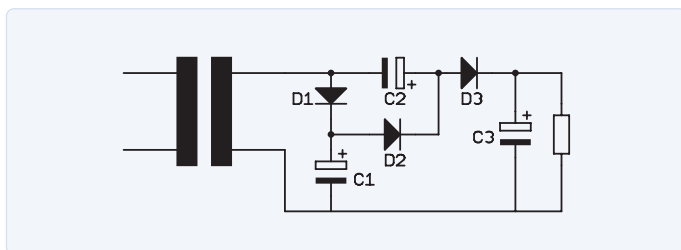


Figure 3. Tripleur de tension.

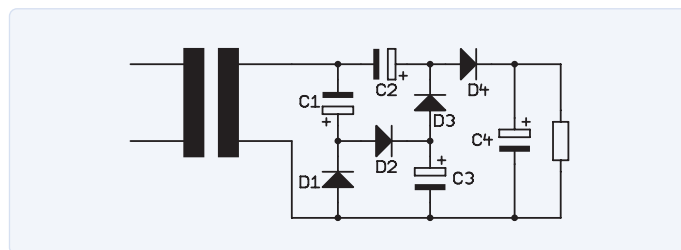


Figure 4. Quadrupleur de tension.

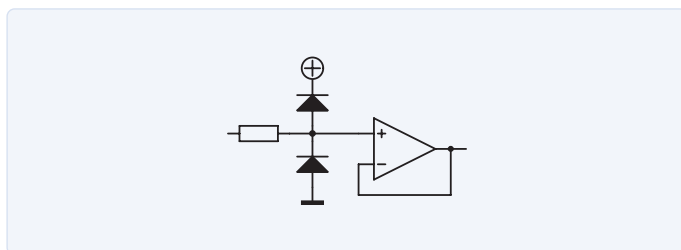


Figure 5. Limitation de la tension d'entrée.

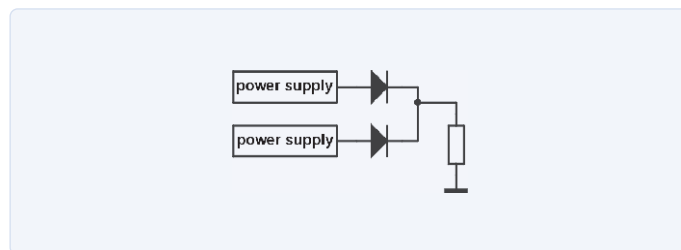


Figure 6. Connexion en parallèle de deux alimentations.

tension chute rapidement. Si l'on a besoin d'une haute tension un peu plus résistante à la charge, il est préférable d'utiliser un transformateur. Nous l'utilisons pour augmenter la tension et de la redresser ensuite.

### Autres circuits à diodes

Avant de nous plonger dans les diodes Zener et d'autres types de diodes intéressantes, nous allons d'abord jeter un coup d'œil à d'autres circuits à diodes fréquemment utilisés.

Le symbole schématisé à droite de la **figure 5** est un amplificateur opérationnel, ou « ampli op ». Ces amplificateurs seront abordés en détail plus tard dans cette série. Pour le moment, il nous suffit de savoir que les ampli op ne fonctionneront pas si les tensions appliquées à leurs entrées sont (considérablement) supérieures à la tension d'alimentation positive ou inférieures à la tension d'alimentation négative. Pour éviter de telles mésaventures, nous pouvons ajouter des diodes entre l'entrée et les rails d'alimentation positif et négatif (comme le montre la **figure 5**), qui achemineront les

tensions d'entrée trop élevées vers l'alimentation.

Avec ce circuit, il est important de limiter le courant avec une résistance en série (à gauche sur la **figure 5**). Le circuit de la **figure 5** est adapté à une tension d'alimentation asymétrique ; si vous utilisez une tension d'alimentation symétrique, l'anode de la diode inférieure n'est pas reliée à la masse mais à la tension d'alimentation négative.

Dans les concerts et spectacles, on utilise généralement deux sources d'alimentation pour les tables de mixage : si l'une d'elles tombe en panne, l'autre est disponible pour prendre le relais — après tout *the show must go on*. Ces alimentations peuvent être connectées à des circuits différents du réseau électrique, protégées par des fusibles distincts.

Ce n'est pas une très bonne idée de connecter deux sources de tension continue « simplement » en parallèle ; cela doit être fait avec des diodes. La source ayant la tension la plus élevée fournit le courant pour la charge, tandis que l'autre source de tension (l'alimentation de secours) n'a pas de charge.

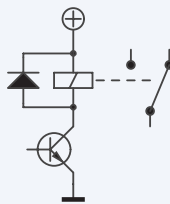


Figure 7. Diode de roue libre.

Lorsque les deux alimentations fonctionnent et fournissent la même tension (ce qui devrait être le cas — après tout, elles sont régulées et compensent les différences de tension d'entrée), le courant total requis par la charge sera raisonnablement bien réparti entre les deux alimentations.

Les circuits d'alimentation des tables de mixage fournissent généralement différentes tensions. Vous devrez combiner chacune d'entre elles avec son propre réseau de diodes (comme le montre la **figure 6**).

Lorsqu'on coupe le courant, une inductance génère un pic de tension qui peut facilement atteindre une valeur de quelques centaines de volts — et c'est plus que suffisant pour porter un coup fatal aux semiconducteurs. Ce pic de tension est de polarité opposée à la tension normale d'alimentation, de sorte que nous pouvons, facilement, le court-circuiter avec une diode dite de roue libre, comme le montre la **figure 7**.

Dans cette figure, l'inductance est la bobine d'un relais ; le composant en bas est le transistor utilisé pour allumer et éteindre le relais. C'est ce transistor qui est protégé des tensions trop élevées par la diode de roue libre.


## Diode Zener

Si l'on utilise une diode ordinaire dans le sens inverse, elle commencera à conduire au-delà de la tension de claquage maximale possible (et rendra généralement l'âme). La tension de claquage d'une diode normale s'élève généralement à quelques centaines de volts et varie largement d'un exemple à l'autre.

En revanche, une diode Zener a une tension de claquage qui se situe (normalement) entre 1 V et 100 V. De plus, il s'agit d'un paramètre déterminé de manière raisonnablement précise.

Contrairement à une diode ordinaire, une diode Zener ne se détériore pas lorsqu'elle commence à conduire dans le sens inverse (bien sûr, vous devez limiter le courant qui circule dans le sens inverse à une valeur modérée). Cette propriété des diodes Zener leur permet de réguler des tensions plus élevées.

Vous devez toujours utiliser une diode Zener — comme dans la **figure 8** — en combinaison avec une résistance en série ; cette résistance limite le courant qui traverse la diode.

Nous concluons ainsi cet article. Dans le prochain épisode, nous continuerons avec la diode Zener et quelques autres membres intéressants de la famille des diodes. 

220256-04

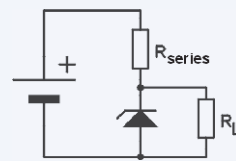


Figure 8. Application de base de la diode Zener.

La série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basic Electronics Course » de Michael Ebner, publié par Elektor.

## Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



## PRODUITS

- > **B. Kainka, Initiation à l'électronique et programmation de montages pour débutants**  
[www.elektor.fr/19339](http://www.elektor.fr/19339)
- > **R. Mallard, L'électronique pour les débutants**  
[www.elektor.fr/15662](http://www.elektor.fr/15662)



# Abonnez-vous !

seulement  
**54,95 €**  
par an  
(6 numéros)

Souscrivez dès maintenant un abonnement d'un an au MagPi et recevez une Raspberry Pi Zero 2 W avec un connecteur GPIO à 40 broches avec code couleur.



Abonnez-vous!  
**WWW.MAGPI.FR/ABO**



**MagPi**  
www.magpi.fr Magazine



# zone D

Astuces, bonnes pratiques et autres informations pertinentes

## sur le vif

Transmutations

Ilse Joostens (Belgique)

Si un jour vous décidez d'orienter vos compétences en électronique vers la conception de produits, il vous faudra devenir touche-à-tout. Alors que bon nombre d'amateurs ne s'intéressent qu'à l'électronique elle-même, je la vois comme la partie d'un tout, et aussi comme un moyen permettant d'atteindre un certain objectif. Mon approche est, en somme, holistique.

Ma vie professionnelle compte de nombreuses rencontres humaines enrichissantes, et diverses initiations à des disciplines qui jusque-là m'étaient étrangères. Au compte de mon expérience figurent aussi un quarteron d'excentriques et quelques sujets exaltants, voire ésotériques. Je me souviens ainsi de courriels envoyés à des heures indues pour discuter des allotropes du plutonium, un sujet, recon-

naissez-le, moins banal que la météo. Un zeste de savoir en électronique m'a en outre servi plus d'une fois à comprendre et exploiter des disciplines pourtant extérieures à l'électronique elle-même. Et voilà la boucle bouclée. Tout est relié à tout, vous dis-je.

### Radioactive Man et moi

Il y a environ un an, un lecteur a envoyé à la rédaction d'Elektor une longue lettre concernant ma *Station de surveillance de rayonnement ionisant* – publiée en janvier 2020 [1]. Notre échange fut d'abord formel, mais au fil des mois nous avons appris à mieux nous connaître. Mon correspondant s'est révélé être un ingénieur en aéronautique retraité et le descendant d'une vieille famille noble. Son père, physicien nucléaire, avait déposé plusieurs brevets et rédigé dans les années 40 une thèse portant sur « l'élément à rayonnement alpha d'une portée de 1,8 cm » – le lecteur attentif aura reconnu le plutonium. La dernière page de la thèse montrait le schéma d'une invention consistant à concentrer chimiquement « l'élément » à l'aide d'un matériau fait d'amiante. Du plutonium et de l'amiante, quoi de plus sûr pour faire un peu de chimie ? L'époque était insouciante. Comparée à eux, la liste REACH des « substances extrêmement préoccupantes » semble avoir été établie pour les poules mouillées. Après quelques courriels supplémentaires tournant autour du nucléaire, l'idée m'est venue de me rendre

dans la salle de réception d'un hôpital universitaire munie d'un petit compteur à scintillation. Le spectre gamma des patients radioactifs que je croisais révélait souvent le traitement ou l'examen qu'ils avaient subi, par exemple la raie d'émission de 511 keV typique d'une tomographie par émission de positons. Et le secret médical, dans tout ça ? À chaque mesure je ne pouvais m'empêcher de penser au super-héros *Radioactive Man* des Simpson, et me demandais si le personnel de la réception et de la cafétéria ne risquait pas de recevoir accidentellement une dose supérieure à la limite légale de 1 mSv par an.

Un compteur à scintillation [2] ne ressemble en rien à un compteur Geiger-Müller classique. Sa sensibilité est beaucoup plus grande et son temps de réponse bien plus court. Les petits dosimètres reposant sur un cristal à scintillation viennent hélas d'un pays aujourd'hui considéré comme hostile, mais on peut se procurer auprès de grossistes bien connus des puces photo-multiplicatrices bon marché – rien que de l'écrire, l'envie me démange de bricoler quelque chose. Le problème est que j'ignore où acheter des petits cristaux à scintillation à un prix raisonnable. Pour l'instant je vais donc me contenter de rêver.

## Psychotronique

Mon père (d'une énergie pas vraiment nucléaire) possédait un appareil photo reflex analogique, et je dois bien avouer qu'étant plus jeune je m'intéressais plus à la photo qu'à l'électronique. Ce passe-temps m'est resté, et il me rend de grands services puisque des clichés réussis de mes créations électroniques favorisent leur vente. L'électronique rend à son tour de grands services à la photographie. J'ai même appris que la haute tension permettait d'obtenir des effets photo fantastiques. La photographie Kirlian, c'est son nom, est décrite dans le livre *Psychotronica* de Matthijs van der Veer. Je l'ai acheté avec l'intention de m'y mettre et non pas, soyons claire, pour les sujets plus nébuleux que couvre aussi cet ouvrage. À propos de clichés sublimes, Gordon Kirkwood en réalise à l'aide d'un générateur de Marx [3]. Je frémis à l'idée d'essayer ça moi-même. Ceci dit, je crains que les voisins n'apprécient guère le feu d'artifice électrique que cela occasionnerait.

J'utilise déjà la haute tension pour le travail du bois. Je me suis en effet servie d'un convertisseur Flyback et d'un pilote ZVS pour construire un dispositif qui me permet de graver des figures de Lichtenberg en toute sécurité (fig. 1) [4]. Je pratique aussi l'impres-

sion par sublimation pour personnaliser des décorations murales, des tasses et autres sous-verres. Ce procédé marche également sur des plaques d'aluminium, et s'avère ainsi formidable pour fabriquer des panneaux de commande – une fois leurs trous et encoches usinés avec une fraiseuse numérique !



Figure 1. Générateur Lichtenberg (Photo : Ilse Joostens).

## Transmutez-vous !

Explorer d'autres domaines débride la créativité et l'imagination, aussi la vie d'un électronicien ne devrait-elle pas se résumer à l'électronique. Alors sortez des sentiers battus, osez remettre en question les valeurs et les règles admises, soyez un peu plus artistique et, surtout, osez panacher différentes techniques. Le résultat n'en sera que plus beau, et vous apportera bien plus de satisfaction qu'un énième montage sur plaque d'essai ou circuit imprimé qui n'aura pour seul boîtier que l'obscurité d'un tiroir. N'hésitez pas, lancez-vous ! ◀

220294-04

## LIENS

[1] Station de surveillance de rayonnement ionisant, Ilse Joostens: [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-145/57079](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-145/57079)

[2] Compteur à scintillation : [http://wikipedia.org/wiki/D%C3%A9tecteur\\_%C3%A0\\_scintillation](http://wikipedia.org/wiki/D%C3%A9tecteur_%C3%A0_scintillation)

[3] Photographies de Gordon Kirkwood: <http://gordonkirkwood.com/photography>

[4] Gravure de figures de Lichtenberg dans le bois: [www.youtube.com/watch?v=xmZuidC5qUY](http://www.youtube.com/watch?v=xmZuidC5qUY)

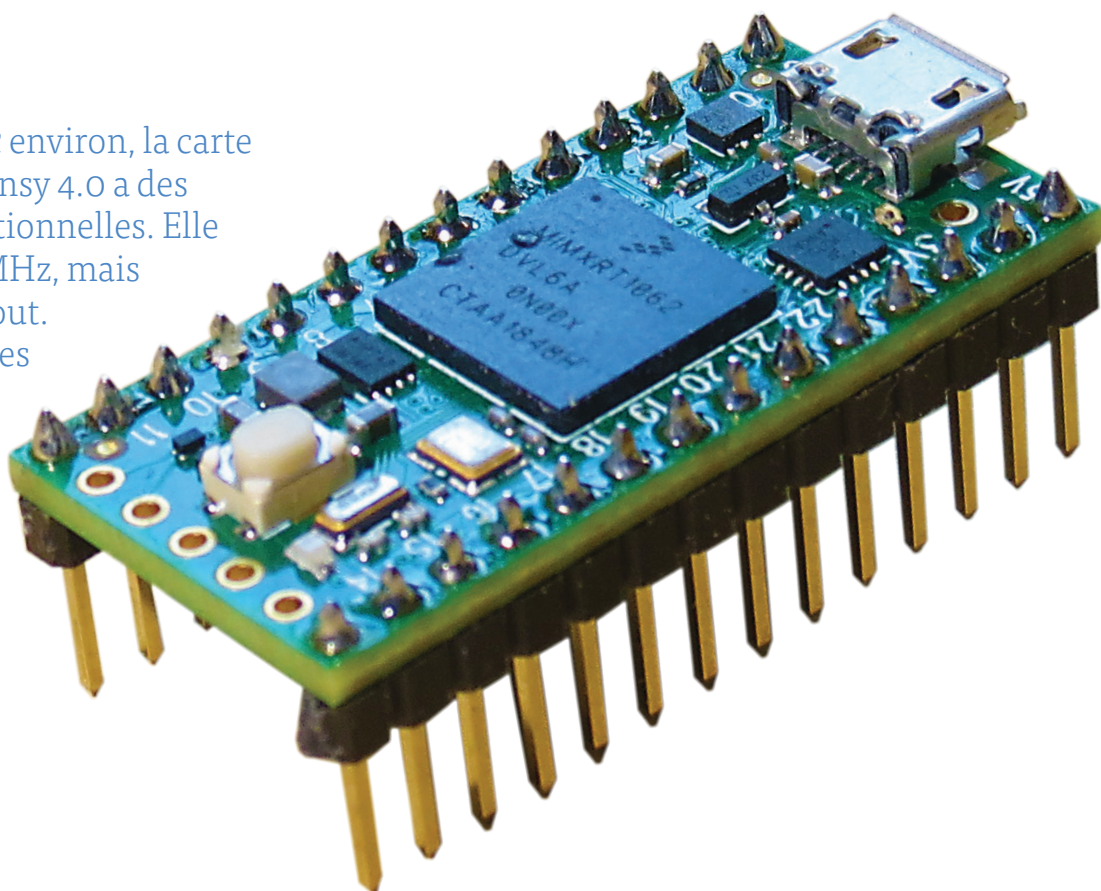


# Teensy 4.0 – comment cette carte peut-elle être aussi rapide ?

Non, la vitesse, ce n'est pas sorcier !

Martin Ossmann (Allemagne)

Disponible pour 20 € environ, la carte microcontrôleur Teensy 4.0 a des performances exceptionnelles. Elle est cadencée à 600 MHz, mais cela n'explique pas tout. Au moyen de quelques essais, nous allons examiner quelles caractéristiques et quelles dispositions ont conduit à ce niveau de performances.



Le processeur utilisé, l'IMX-RT1062 de NXP, un ARM Cortex-M7, est plus proche, par son architecture, des processeurs de PC que des microcontrôleurs AVR. Pour le programmer, nous allons surtout utiliser l'EDI *Teensyduino*, largement compatible Arduino, en ayant quelquefois recours au C ou à l'assembleur.

## Faire commuter une broche

Pour commencer, nous allons faire commuter une broche aussi rapidement que possible. Pour nous échauffer et à titre de comparaison, faisons l'opération sur un Nano cadencé à 16 MHz.

Rien que par sa fréquence d'horloge, le Teensy est  $600 / 16 = 37,5$  fois plus rapide que l'Arduino. Pour faire clignoter la LED sur la broche 13 de l'Arduino, on peut se servir du programme du **listage 1**, censé allumer et éteindre la LED pendant une microseconde. On observe en fait que la LED est allumée pendant 3,5 µs et éteinte pendant 3,9 µs. Deux raisons à cela : la première est que la fonction `digitalWrite()` prend 2,5 µs environ, la seconde est qu'entre deux appels de `loop()`, l'Arduino exécute quelques tâches qui prennent 0,4 µs. Pour commuter plus rapidement, on peut et on doit program-

mer plus près du matériel comme le montre le **listage 2**.

Avec ce programme, une exécution de la boucle ne dure plus que 2,66 µs, soit 6 périodes d'horloge à une fréquence de 16 MHz. Pour savoir d'où viennent ces 6 périodes, on peut examiner le programme assembleur du **listage 3**.

La boucle se compose de trois instructions. Les instructions `sbi` et `cbi` allument et éteignent la LED. Avec l'instruction `rjmp` on réalise la boucle infinie souhaitée. Le manuel de référence de l'AVR donne les temps d'exécution des différentes



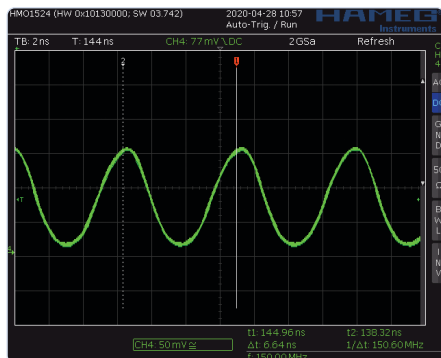


Fig. 1. Commutation de broche à 150 MHz.

instructions. Chaque instruction durant deux cycles d'horloge, on retrouve ainsi la durée observée. Il n'est guère possible d'obtenir par programme une commutation plus rapide et nous allons voir comment s'y compare la vitesse maximum obtenue avec une Teensy 4.0.

Commençons avec un programme dans le «style Arduino» (**listage 4**). Un cycle de la boucle infinie dure 135 ns. Par rapport à l'Arduino, c'est relativement rapide, mais ça prend tout de même 18 cycles d'horloge. L'exécution d'un `digitalWrite()` est assez lente et les «pertes» internes entre appels de `loop()` ne sont pas négligeables. Passons donc à la programmation proche du matériel (**listage 5**). L'exécution de la boucle `while` ne dure que 6,66 ns, soit 4 cycles.

L'oscillogramme de la **fig. 1** montre la tension sur la sortie LED. Comme le signal a une fréquence de 150 MHz, il occupe toute la bande passante de l'oscilloscope et ressemble davantage à une sinusoïde qu'à un carré. Pour une mesure précise des temps d'allumage et d'extinction de la LED, la fréquence d'horloge est réduite à 100 MHz. Ces temps sont de deux cycles, soit 20 ns à 100 MHz.

Pour savoir quelles instructions l'unité centrale (UC) exécute dans cette boucle, considérons le **listage 6**. Comme pour l'Arduino, la boucle se compose de trois instructions. Deux instructions d'écriture de mot (`str.w`) commutent le bit 13 et une instruction de branchement (`b.n`) ferme la boucle. On aimerait connaître le nombre de cycles consommé par chaque instruction, mais la documentation ARM reste muette sur ce sujet, avec raison d'ailleurs, puisque ce nombre dépend de nombreux effets

#### Listage 1. Commutation de broche dans le style Arduino.

```
void setup() {
    pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop() {
    digitalWrite(led, HIGH); //3.5 us high time
    delayMicroseconds(1);
    digitalWrite(led, LOW); // 3.9 us low time
    delayMicroseconds(1);
}
```

#### Listage 2. Commutation de broche proche du matériel Arduino-AVR.

```
#define ledBit 5
#define ledDDR DDRB
#define ledPORT PORTB

void setup() {
    cli();
    ledDDR |= _BV(ledBit) ; set output
    while(1){
        ledPORT |= _BV(ledBit) ; 2 cycles on
        ledPORT &= ~_BV(ledBit); 4 cycles off
    }
}
```

#### Listage 3. Commutation de broche en assembleur.

```
342: f8 94 cli ; cli();
344: 25 9a sbi 0x04, 5 ; ledDDR |= _BV(ledBit) ;
; while(1){ // 2.6648 MHz = 6 cycles
346: 2d 9a sbi 0x05, 5 ; ledPORT |= _BV(ledBit) ;
348: 2d 98 cbi 0x05, 5 ; ledPORT &= ~_BV(ledBit) ;
34a: fd cf rjmp .-6 ; jump to 0x346
```

#### Listage 4. Programme pour Teensy en style Arduino.

```
int led = 13;

void setup() {
    pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop(){
    digitalWrite(led,1) ;
    digitalWrite(led,0) ;
}
```

#### Listage 5. Programme pour Teensy proche du matériel.

```
void setup() {
    pinMode(13, OUTPUT);
    cli();
    while(1){ // cycleTime 150 MHz = 4 cycles
        CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ; // on: 2 cycles
        CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK; // off 2 cycles
    }
}

void loop(){
}
```

#### Listage 6. Commutation rapide en assembleur.

```
8c: f8c2 3084 str.w r3, [r2, #132] ; set GPIO pin 13
90: f8c2 3088 str.w r3, [r2, #136] ; clear GPIO pin 13
94: e7fa b.n 8c <setup+0x10> ; branch endless loop
```

#### Listage 7. Séquence d'instructions plus longue.

```
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
  cli();
  while(1){ // cycleTime 150 MHz = 4 cycles
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
    . . . jewells ein set/clear Paar
  }
}
void loop(){
}
```

#### Listage 8. Boucle de commutation finie.

```
while(1){
  for(int k1=15 ; k1>0 ; k1--){
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
  }
  delay(100) ;
  Serial.println("test5\n") ;
}
```

secondaires, ce qui suggère de se contenter d'une performance d'ensemble. Nous sommes têtus et voudrions quand même le savoir. Il semble que pour l'instruction `str`, il faille compter deux cycles, ce que confirme le **listage 7**.

Toute paire supplémentaire `set/clear` ne change rien à la fréquence de la tension sur la broche 13. Cela signifie qu'une paire `set/clear` allonge la boucle de 4 cycles. Dans l'exemple initial, les deux instructions `str` représentent donc 4 cycles, soit la durée totale de la boucle `while`. Il semble surprenant que l'exécution de l'instruction de saut n'y ajoute aucun cycle supplémentaire, mais on en verra la raison plus tard. Cela rend la carte Teensy à 4 cycles encore plus rapide que l'AVR à 6 cycles.

Ajoutons encore un peu à la confusion avec la boucle du **listage 8**. Pour que la tension sur la broche de la LED soit plus proche d'un carré, gardons la fréquence de 100 MHz. Le

programme commute la broche de la LED 15 fois, fait une pause et affiche un texte, puis recommence.

La tension sur la broche de la LED a l'aspect de la **fig. 2**. Le rapport cyclique entre *haut* et *bas* varie. Au début, l'exécution de la boucle semble tantôt plus, tantôt moins longue, les instructions semblent avoir une durée d'exécution variable. Vers la fin, la boucle dure 4 cycles, comme avec la boucle infinie précédente. C'est étonnant, vu que la boucle contient maintenant une instruction de plus, `k1--` (listage 9), qui ne semble n'exiger aucun temps supplémentaire et donc ne pas influencer la durée d'exécution de la boucle.

#### Prédiction de saut

La prédiction de saut avec exécution spéculative d'instructions fournit une première explication à la grande vitesse d'exécution de la boucle. Pour le comprendre, il

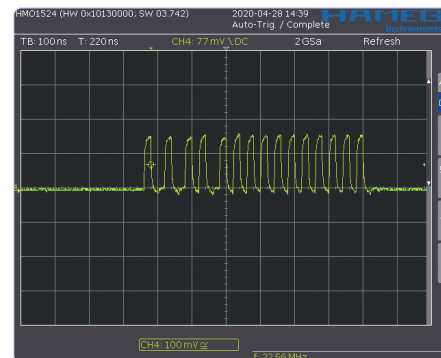


Fig. 2. La broche commute irrégulièrement.

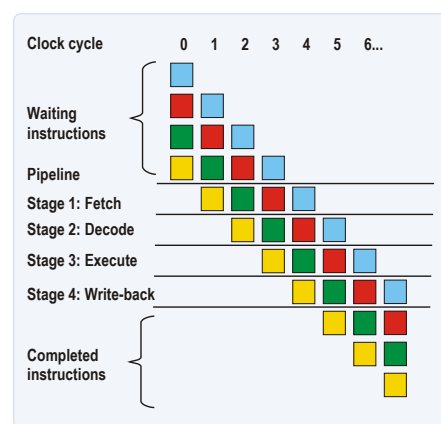


Fig. 3. Pipeline à 4 étages.

faut avoir une connaissance précise de la manière dont l'UC exécute les instructions. Une première technique d'augmentation de la vitesse consiste en l'introduction de *pipelines*. Le pipeline contient les instructions en cours d'exécution. Chaque instruction est décomposée en plusieurs *étapes*, associées aux *étages* du pipeline. Si, par exemple, l'instruction 1 exécute l'étape 4, l'instruction 2 en est à l'étape 3, l'instruction 3 à l'étape 2 et l'instruction 4 à l'étape 1 (pipeline à 4 étages, **fig. 3**). Les instructions passent de la mémoire au pipeline que l'unité de lecture de la mémoire doit alimenter en permanence avec de nouvelles instructions en veillant à ce qu'il soit toujours bien rempli.

Il arrive toutefois qu'il faille purger le pipeline de son contenu parce que celui-ci est faux, lorsqu'il se produit un *aléa*. C'est le cas des sauts conditionnels si l'exécution ne se poursuit pas en séquence. Un autre

aléa est ce qu'on appelle un *pipeline stall* (suspension du transit). Il peut se produire lorsque l'activité d'un étage dépend du résultat élaboré par un autre étage. Dans le cas du saut conditionnel, l'UC devrait savoir si le saut va avoir lieu ou non pour remplir correctement le pipeline. C'est impossible, mais l'UC peut tenter de le prédire. Dans notre exemple (**listage 9**), le saut est exécuté 14 fois sur 15. L'UC observe ce qui se passe pour les premiers parcours de la boucle et note que le saut a lieu à chaque fois. Elle en déduit qu'il aura lieu aussi la fois suivante.

Après l'instruction de saut, le pipeline est donc toujours rempli avec les instructions `str`. L'UC a raison au début, mais pas à la fin, où il se produit un aléa. C'est cette technique qu'on appelle prédiction de saut avec exécution spéculative d'instructions. Comme le pipeline est rempli correctement la plupart du temps, l'instruction de saut ne coûte pratiquement plus de temps machine, ce qui explique le comportement du programme du listage 9. Au début, la prédiction est incorrecte et, à la fin, la boucle est exécutée à très grande vitesse. D'un autre côté, le calcul précis du temps d'exécution d'une partie de code à partir des cycles d'instructions devient très difficile, car le résultat de la prédiction dépend de nombreux facteurs, c'est pourquoi les nombres de cycles des instructions individuelles ne sont pas documentés. Une bonne prédiction de saut est un élément essentiel de l'architecture d'une UC à haute performance. Comme les UC modernes possèdent souvent des pipelines de grande taille, un aléa devient pénalisant et une prédiction correcte essentielle. Les *branch-predictors* courants atteignent un taux de réussite de plus de 98 % ! Les petits processeurs et les microcontrôleurs (les AVR, par ex.) en sont souvent dépourvus, mais les pipelines sont devenus des éléments standards.

Examinons maintenant le temps d'exécution de parties de code un peu plus compliquées. Notre premier programme calcule dans une boucle un produit scalaire (**listage 10**). Le calcul proprement dit est effectué par l'instruction `skp += x[k]*y[k]`. Avant cette instruction, allumons la LED sur la broche 13 et éteignons-la après. Le temps d'allumage de la LED devrait donc nous donner le temps précis d'exécution de notre instruction de test.

Nous constatons avec surprise que le temps d'allumage mesuré équivaut à deux cycles. Mais la commutation de la broche 13 prend

#### Listage 9. Code assembleur de la boucle de commutation finie.

```
ca: 230f      movs      r3, #15          ; k1=15
cc: 3b01      subs      r3, #1          ; k1--
ce: f8c5 4084 str.w     r4, [r5, #132]   ; set pin 13
d2: f8c5 4088 str.w     r4, [r5, #136]   ; clear pin 13
d6: d1f9      bne.n     cc <test5()+0x10> ; if !=0 springe nach cc
```

#### Listage 10. Produit scalaire pour test.

```
cyclesStart = ARM_DWT_CYCCNT ;
skp=0 ;
for(int k=0 ; k<nn ; k++){
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK;
    skp += x[k]*y[k] ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
}
cyclesStop = ARM_DWT_CYCCNT ;
```

#### Listage 11. Programme assembleur du produit scalaire.

```
for(int k=0 ; k<nn ; k++){
a0: ecf3 6a01 vldmia    r3!,          ; x[k1++]
a4: ecb1 7a01 vldmia    r1!,          ; y[k2++]
a8: 42a3      cmp       r3, r4          ; k1==1000 ?
aa: f8c2 0084 str.w     r0, [r2, #132] ; set pin 13
ae: eee6 7a87 vdma.f32 s15, s13, s14   ; skp += x[k]*y[k] ;
b2: f8c2 0088 str.w     r0, [r2, #136] ; clear pin13
b6: d1f3      bne.n     a0              ; branch on not equal
```

#### Listage 12. Addition de 100 valeurs de fonction.

```
int NN=100 ;
CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK;
sum=0 ;
for(int k=0 ; k<NN ; k++){
    sum += fun1(k) ;
}
CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;

int fun1(int x){
    return 100*x+x*x+32 ;
}
```

déjà tout ce temps à elle seule et n'en laisse aucun à notre instruction de test. Ce qui se passe réellement n'est donc pas ce que nous pensions.

Pour en découvrir la raison, reportons-nous au code assembleur correspondant (**listage 11**).

On voit qu'il n'y a qu'une seule instruction entre les actions sur la broche. Le compilateur a déplacé les accès aux variables `x[k1++]` et `y[k2++]` devant l'allumage de la LED. Il est donc impossible de déduire

le temps d'exécution de notre instruction du temps d'allumage de la LED. Le compilateur ne génère donc pas le code que nous pensions ; il lui arrive de modifier l'ordre de succession des instructions si cela améliore la performance et ne change rien au résultat. Pour la mesure des temps, il faut donc s'assurer que le compilateur ne procède pas à des optimisations intempestives.

La variable `ARM_DWT_CYCCNT` fournit le total des cycles écoulés, on peut s'en servir pour évaluer le temps d'exécution. C'est ainsi



#### Listage 13. Code assembleur de la boucle d'addition.

```
1ea: f8c6 3084 str.w  r3, [r6, #132]    ; set pin13
1ee: 4602      mov    r2, r0
1f0: f8c5 9000 str.w  r9, [r5]          ; sum=0x000C9CB6H
1f4: f8c6 3088 str.w  r3, [r6, #136]    ; clear pin13
```

#### Listage 14. Boucle plus complexe.

```
void loop(){
    int xx=42 ;
    int nn=256 ;
    int k ;
    int m=0 ;
    int vv=0 ;
    while(1){ // 5 cycles, 9 cycles if dualIssueDisabled
        cyclesStart = ARM_DWT_CYCNT ;
        for( k=0 ; k<nn ; k++){
            CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK; // led-1
            CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK; // led-2
            xx *= 105529 ;
            vv += m & 0x1234 ;
            m +=17 ;
        }
        cyclesStop = ARM_DWT_CYCNT ;
        ...
    }
}
```

#### Listage 15. Code assembleur du listage 14.

```
// r9=105529 ; r3=m ; r5=vv ; r6=xx

1d8: f241 2234 movw  r2, #4660          ; r2=0x1234
1dc: f8c8 7084 str.w r7, [r8, #132]    ; set pin 13
1e0: fb09 f606 mul.w r6, r9, r6          ; xx *= 105529 ;
1e4: 401a      ands  r2, r3            ; r2= m & 0x1234 ; r2=1234h r3=m
1e6: 3311      adds  r3, #17           ; m +=17 ;
1e8: f8c8 7088 str.w r7, [r8, #136]    ; clear pin 13
1ec: 4299      cmp   r1, r3            ; abbruchbedingung r1 <> m
1ee: 4415      add   r5, r2           ; r5 += m & 0x1234 ; r5=vv
1f0: d1f2      bne.n 1d8 <loop+0x1c> ; loop weitermachen
```

#### Listage 16. Tampon alloué dynamiquement en mémoire RAM2.

```
uint8_t *RAM2buffer ;
RAM2buffer=(uint8_t *)malloc(NN) ;
cyclesStart = ARM_DWT_CYCNT ;
int sum=0 ;
for(int k=0 ; k<NN ; k++){
    sum += RAM2buffer[k] ;
}
cyclesStop = ARM_DWT_CYCNT ;
```

que, dans notre exemple et pour 1000 exécutions de la boucle, le nombre de cycles par boucle (le total / 1000) est de 7. Mesurons maintenant le temps total de 100 exécutions de la boucle du **listage 12**, en encadrant comme précédemment la boucle d'instructions de commutation de la LED. Dans cette boucle, on fait la somme des valeurs de la fonction **fun1(k)**.

Nous obtenons le résultat étonnant de 5 ns pour l'ensemble de la boucle, soit 3 cycles. Comment est-ce possible ? Une fois encore, l'explication nous est fournie par le code assembleur (**listage 13**).

#### Compilateur optimiseur

Entre les deux instructions de commutation de la LED, le compilateur n'en a inséré que deux simples, et pas une boucle complète. On ne retrouve aucune boucle dans le code assembleur. Une analyse plus poussée montre que le compilateur a éliminé la boucle et l'a remplacée par l'instruction **sum=826550** (= 0x000C9CB6H). Il a donc commencé par évaluer cette valeur et s'en est servi pour remplacer 100 exécutions de boucle par une assignation. Cela montre l'efficacité avec laquelle les compilateurs optimiseurs arrivent à traiter du code relativement compliqué. Le code exécuté peut donc ponctuellement différer du code source. Ici aussi, il faut procéder avec précaution pour ne pas en arriver à comparer des pommes et des poires.

Exécutons maintenant la boucle du **listage 14**. La carte Teensy effectue un parcours de cette boucle en 5 cycles. Ça semble relativement court, alors recourons encore une fois au code assembleur (**listage 15**). Nous y découvrons la longueur de la boucle : 9 instructions. La carte Teensy les exécute en 5 cycles, ce qui semble à première vue surprenant. La carte Teensy y parvient parce que son processeur est une «UC superscalaire avec *dual issue*». Dans une unité centrale superscalaire, certaines unités (additionneur,...) sont présentes en plusieurs exemplaires, de sorte que les parties de plusieurs instructions peuvent être traitées simultanément. Dans ce contexte, *dual issue* signifie que deux instructions sont transférées simultanément de la première partie du FIFO vers les unités superscalaires.

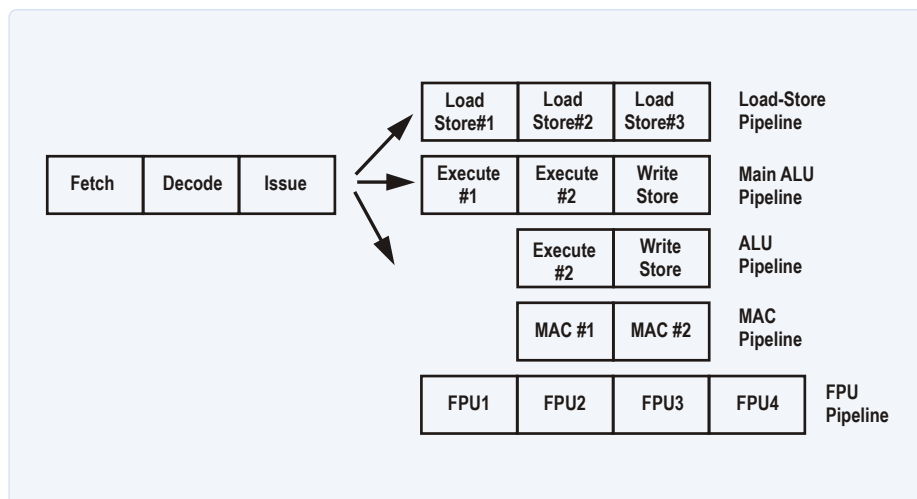
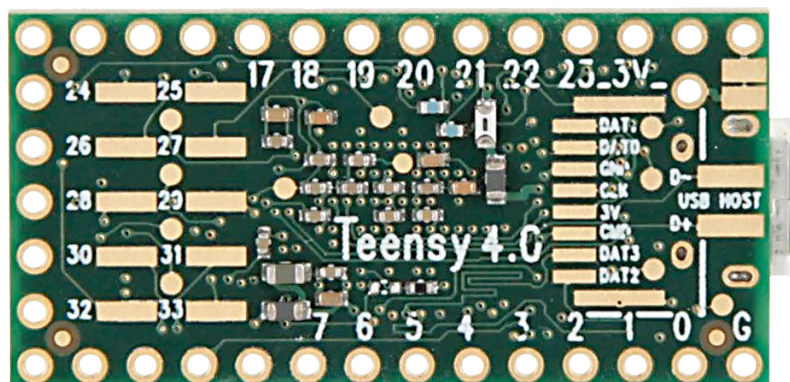


Fig. 4. Pipeline dual-issue.

## ATOUTS DE L'UC IMXRT1062

- › Fréquence d'horloge élevée
- › Compilateur optimisé
- › Prédiction de saut avec exécution spéculative d'instructions
- › Structure RISC
- › Pipeline
- › Architecture superscalaire
- › Dual issue
- › Cache d'instructions
- › Cache de données
- › Unité de calcul flottant



### Votre avis, s'il vous plaît...

Vous pouvez vous adresser à l'auteur par courriel en anglais (ou en allemand) : [ossmann@fh-aachen.de](mailto:ossmann@fh-aachen.de).

données résident en RAM rapide, le cache de données n'apporte pas d'amélioration supplémentaire. Les zones de mémoire allouées dynamiquement par `malloc()` se situent dans une mémoire lente (RAM2). Si l'on y utilise des données et qu'on coupe le cache de données, le programme ralentit d'un facteur 7 parce que RAM2 est desservie par un bus plus lent.

Nous arrivons ainsi à la fin de notre voyage à travers les concepts d'amélioration de la performance. L'encadré reprend la liste des concepts mis en œuvre dans la Teensy. Peut-être que quelqu'un voudra faire le même travail avec le Raspberry Pi, dont la nouvelle version est cadencée à 1,5 GHz. Il y a encore quelques autres concepts, comme l'exécution dans le désordre (*out of order execution*), l'unité de gestion des pages (*paging memory management unit*), les caches L2 et L3, l'exécution en parallèle de fils multiples (*simultaneous multithreading*) ou le renommage de registres (*register renaming*) qui peuvent servir à apporter un supplément de gain de performances. ◀

200190-02

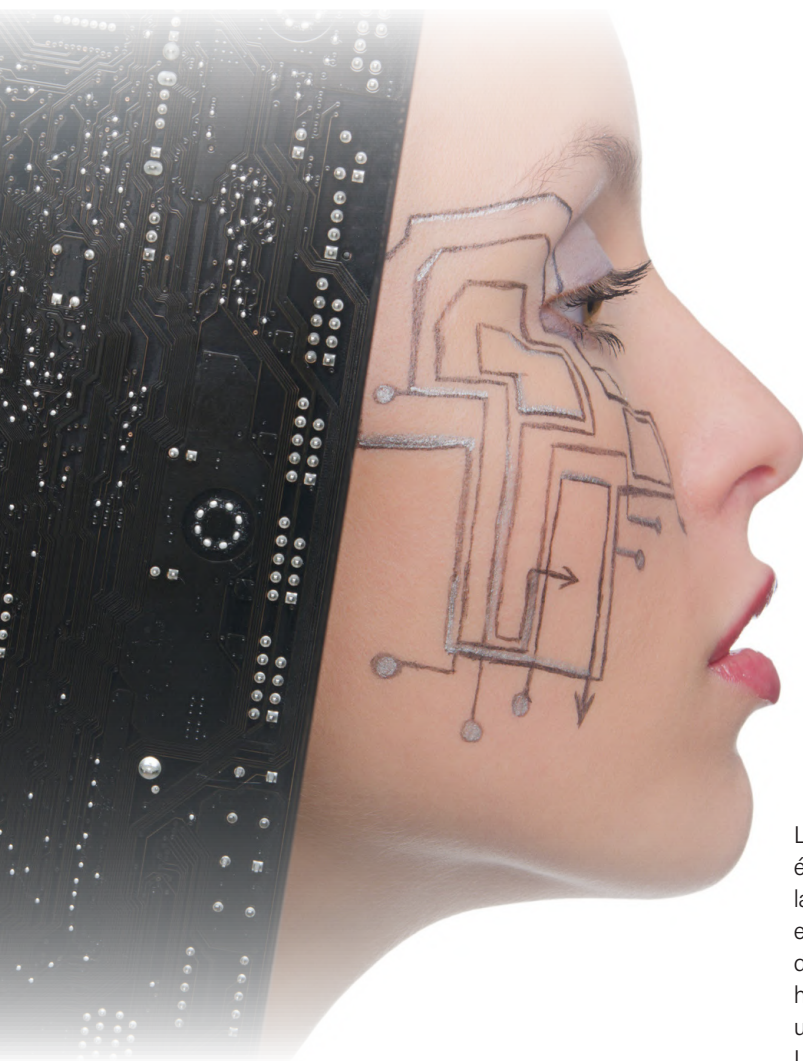
Le pipeline a alors l'aspect de la **fig. 5**. De l'unité *Issue* deux instructions peuvent parvenir simultanément aux unités suivantes. Si nous neutralisons le *Dual Issue*, notre boucle va consommer 9 cycles pour 9 instructions, soit presque le double, ce qui montre l'importance et l'efficacité de ces techniques d'optimisation. Examinons maintenant les performances dans le cas d'une application réelle, la transformation de Fourier rapide (FFT). Commençons avec une FFT à 128 points. Sur un Arduino, son exécution prend 50 ms, sur Teensy 4.0, 23  $\mu$ s seulement, ce qui est  $50000 \mu\text{s} / 23 \mu\text{s} = 2200$  fois plus rapide ! Le gain apporté par la fréquence d'horloge n'est que de  $600 \text{ MHz} / 16 \text{ MHz} = 37$ , la différence, soit

un facteur de  $2200 / 37 = 60$ , provient de l'unité de calcul flottant et d'autres spécificités de l'architecture de la Teensy. Comme on peut couper chacune de ces spécificités (prédiction de saut, *dual issue*,...), on peut évaluer son effet avec précision.

La prédiction de saut apporte un gain de 21 %, le *dual issue*, de 41 %, ce qui montre que le traitement superscalaire de deux instructions est relativement fréquent. Le cache d'instructions n'apporte aucun gain dans notre exemple. Cela provient du fait que notre code réside dans la mémoire rapide. Si l'on met le code en mémoire flash et qu'on coupe le cache, le programme ralentit d'un facteur 7, qui est donc le mérite du cache. Mais si les

# simulation d'amplificateur de puissance audio avec **TINA**

« simuler avant de construire »



**Dogan Ibrahim (Royaume Uni)**

Les numéros doubles d'été d'Elektor contiennent habituellement de petits projets, qui incitent toujours à l'expérimentation et à la création. Bien que vous puissiez tester la plupart d'entre eux, en plaçant quelques composants sur une platine d'essai ou en les soudant, envisagez d'abord de réaliser une simulation de ces circuits. Nous présentons ici TINA (ou TINACloud) et son utilisation pour comprendre, tester et analyser un simple amplificateur de puissance audio sans risque de fumées de soudure, ou de fusibles grillés.

Les amplificateurs de puissance audio sont essentiellement les étages finaux des amplificateurs audio. Ils sont conçus pour amplifier la puissance ( $P$ ) avec précision. En revanche, un amplificateur de tension est conçu pour une amplification optimale de la tension ( $V$ ). Les sorties des amplificateurs de puissance audio sont généralement reliées à des haut-parleurs. Le **tableau 1** présente les principales différences entre un amplificateur de tension et celui de puissance.

Les amplificateurs de puissance audio sont disponibles et conçus spécialement pour différentes configurations, généralement appelées classe A, classe B, classe AB, classe C, etc., avec les principales caractéristiques suivantes :

- **Classe A** : ici, le point de fonctionnement du transistor est proche du centre de la tension d'alimentation. Le transistor conduit en continu. Le principal avantage de l'amplification de classe A est que le signal de sortie est pratiquement exempt de distorsion. Cependant, le circuit souffre d'un mauvais rendement.
- **Classe B** : dans le fonctionnement en classe B, deux transistors sont utilisés avec leurs points de fonctionnement situés au point de coupure. Par conséquent, un transistor amplifie le signal sur une moitié de la forme d'onde de l'entrée audio, tandis que l'autre





**Tableau 1. Différences entre les amplificateurs de tension et de puissance.**

Paramètre	Amplificateur de tension	Amplificateur de puissance
Couplage	En général, R-C	En général, transformateur
Tension d'entrée	Quelques mV	En général, 2 à 4 V
Courant du collecteur	Quelques mA	Plus de 100 mA
Résistance de la charge	Quelques kilo-ohms	4 à 20 $\Omega$
$\beta$	Plus de 100	4 à 30
Gain en tension	Faible	Élevé
Puissance de sortie	Faible	Élevée

transistor l'amplifie pendant l'autre moitié. Le courant de repos est nul lorsqu'il n'y a pas d'entrée et, par conséquent, aucune puissance n'est dissipée dans cette situation. La configuration de classe B souffre de distorsion, en particulier au point de croisement du signal d'entrée.

- **Classe AB** : cette configuration est semblable à la classe B, mais la distorsion est diminuée en appliquant une faible polarisation au-dessus des seuils de conduction des transistors. La classe AB est la configuration d'amplificateur de puissance audio la plus utilisée.

### Simulation d'un amplificateur de puissance audio de classe AB

La **figure 1** montre le schéma d'un amplificateur de classe AB standard, composé d'une paire de transistors NPN et PNP appariés (c'est-à-dire complémentaires). Le schéma de circuit est généré avec TINA ou TINACloud pour la simulation. En supposant que vous ayez installé TINA ou TINACloud, vous pouvez dessiner le schéma vous-même ou importer le fichier *sim14* à partir des programmes disponibles en téléchargement à l'adresse [1]. Une fois sur cette page, commencez par admirer l'e-book de l'auteur, puis faites défiler jusqu'aux téléchargements. Ensuite, cliquez sur *Software\_Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (767.94 kB). Enregistrez le fichier, décompressez-le, enregistrez le résultat dans un dossier convenablement nommé, ensuite trouvez le fichier de simulation appelé *sim14*.

Un haut-parleur virtuel de 4  $\Omega$  est connecté à la sortie du circuit. Deux ampèremètres virtuels sont connectés pour mesurer le courant (la valeur efficace) respectivement à l'entrée et à la sortie du circuit. Les composants (virtuels) utilisés sont listés dans le **tableau 2**.

Le circuit fonctionne de la manière suivante : on utilise deux diodes pour fournir une polarisation en courant continu aux transistors. T3 fournit le courant à travers ces diodes. La tension de sortie de repos est fixée à environ  $V_{CC}/2$ . T3 joue le rôle d'un amplificateur à émetteur commun et d'un tampon pour petits signaux, pilotant les bases de T1 et T2. Pour la moitié positive du signal d'entrée, T1 est activé, tandis que T2 est bloqué. De même, pour la moitié négative du signal d'entrée, T2 est activé, tandis que T1 est maintenu désactivé.

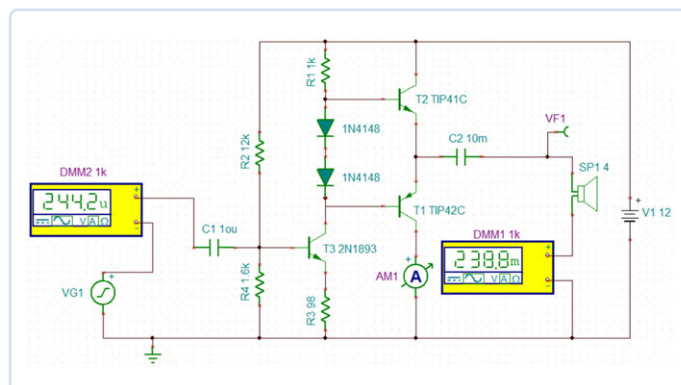


Figure 1. Circuit de l'amplificateur de puissance audio de classe AB généré par TINA.

**Tableau 2. Composants utilisés pour : sim14 — Simulation d'un amplificateur de classe AB.**

Composant	Valeur (unités selon TINA)
VG1	onde sinusoïdale 400 m, $f = 1$ k
C1	10 $\mu$
C2	10 m
R1	1 k
R2	12 k
R3	98
R4	1,6 k
D1, D2	1N4148
T1	TIP41C (NPN)
T2	TIP42C (PNP)
SP1	haut-parleur 4 $\Omega$
V1	batterie 12 V

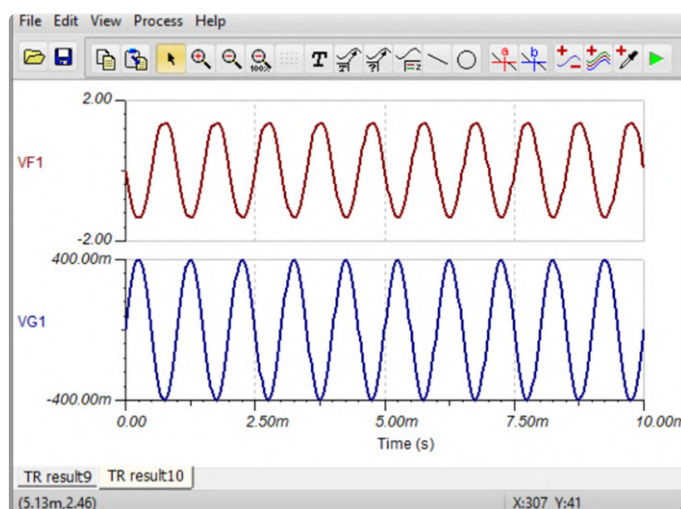


Figure 2. Tensions d'entrée et de sortie sur l'oscilloscope virtuel de TINA.

## Simulation TINA

Tout d'abord, regardons les formes d'onde d'entrée et de sortie. Cliquez sur **Analysis** → **Transient**. Réglez l'affichage de **Start** et **End** sur 0 et 10m. La **figure 2** montre les formes d'onde sur l'oscilloscope virtuel où les « lectures » de l'ampèremètre ont été supprimées. La tension d'entrée (courbe inférieure) est de 800 mV crête à crête, et la tension de sortie (courbe supérieure) est d'environ 3 V crête à crête, ce qui donne un gain de tension inférieur à 4.

Maintenant, examinons les courants continus dans le circuit. Cliquez sur **Analysis** → **DC Analysis** → **Table of DC results**. La **figure 3** montre les tensions et les courants continus dans le circuit, mesurés par le logiciel TINA.

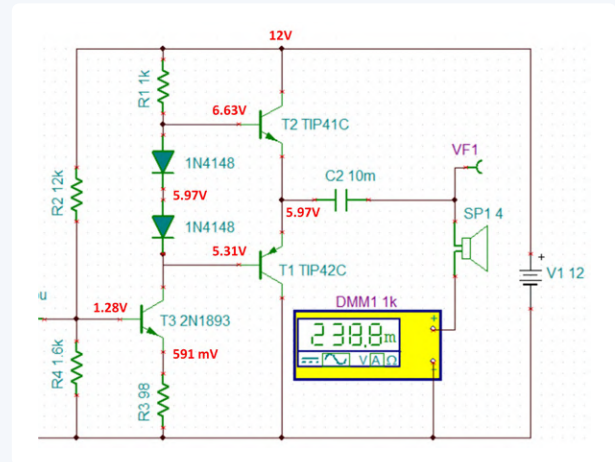
Il est peut-être plus intéressant de connaître les tensions et les courants alternatifs dans le circuit. Cliquez sur **AC** en mode interactif. Le courant d'entrée (244,2  $\mu A_{rms}$ ) et le courant de sortie (238,8  $mA_{rms}$ ) seront affichés par les deux ampèremètres représentés sur la figure 1.

Vous pouvez obtenir un format tabulaire des courants et des tensions alternatifs en cliquant sur **Analysis** → **AC Analysis** → **Table of AC results**. La **figure 4** montre les résultats du courant alternatif.

## Testez avant de construire

TINA et TINACloud sont tous les deux parfaits pour une analyse rapide de nombreux circuits électroniques avant de les construire. Les deux

## Un peu de théorie



Tensions continues du circuit telles que calculées par TINA.

### 1. DC analysis

Les tensions continues en différents points du circuit sont calculées par TINA comme le montre la figure.

La tension de la base de T3 est donnée par :

$$\frac{R4}{R4 + R2}(V_{cc} - 1,4) = \frac{1,6}{1,6 + 12}(12 - 1,4) = 1,24 \text{ [V]}$$

Aperçu des tensions dans les circuits :

Tension de l'émetteur de T2,  $V_{E2} = 1,24 - 0,7 = 540 \text{ mV}$

Courant de l'émetteur de T2,  $I_{E2} = 0,540 / 98 = 5,5 \text{ mA}$

Tension de la base de T1,  $V_{B2} = V_{CC} - (I_{E2} \times R1 + 1,4 + V_{E2}) = 4,56 \text{ V}$

Tension de la base de T2,  $V_{B2} = V_{CC} - I_{E2} \times R1 = 6,5 \text{ V}$

Tensions des émetteurs de T1 et T2,  $V_{E1} = V_{B2} - 0,7 = 5,93 \text{ V}$

Notez que la tension des émetteurs de T1 et T2 est presque égale à  $V_{CC} / 2$ . Les résultats théoriques sont très proches de ceux calculés par TINA.

### 2. AC analysis

La puissance de sortie CA de l'amplificateur  $P_o$  est donnée par :

$$P_o = \frac{V_L^2}{R_L} \text{ [W]}$$

où  $V_L$  est la valeur efficace des tensions de charge.

D'après l'analyse CA,  $V_L = 0,955 \text{ V}$ , et  $R_L = 4 \Omega$ .

Par conséquent,  $P_o = 228 \text{ mW}$ .

La puissance d'entrée CA,  $P_i$ , est calculée comme suit :

$$P_i = 0,4 \times 0,244 = 0,0976 \text{ [mW]}$$

Le gain en puissance correspond à  $228 / 0,0976 = 2333$  ou 33,6 dB.

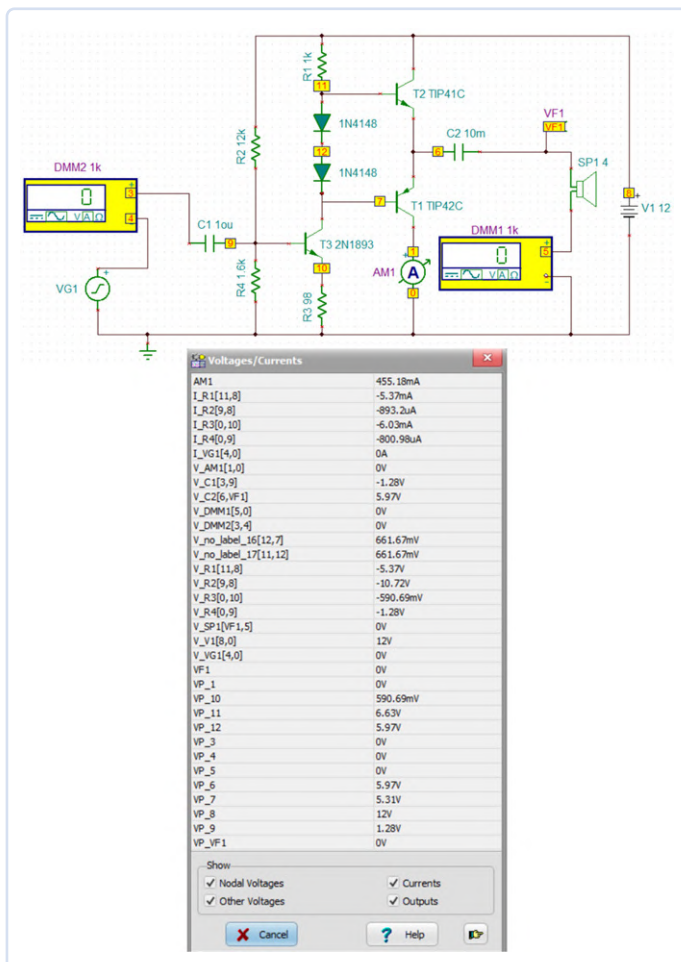


Figure 3. Tensions et courants continus dans le circuit de l'amplificateur.

programmes sont éducatifs et conviviaux et permettent d'économiser beaucoup de temps et d'argent en jonglant avec des composants, même si ceux-ci restent les éléments déterminants du fonctionnement « réel » d'un circuit lorsqu'il est correctement assemblé. De même, si la simulation avec TINA est réalisée comme il faut, elle aura une valeur prédictive élevée des effets constatés après avoir appuyé sur le bouton de mise sous tension. Si cela vous a intéressé, un autre exemple plus étendu de l'utilisation de TINA ou TINACloud a été présenté par l'auteur dans un article précédent [2]. ◀

220215-04

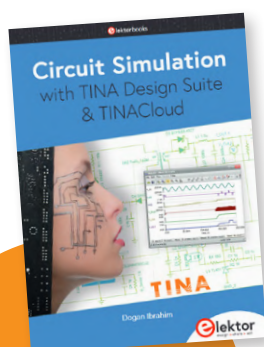


### À propos de l'auteur

Dogan Ibrahim est titulaire d'une licence en électronique, d'une maîtrise en génie de la commande automatique et d'un doctorat en traitement des signaux numériques. Dogan a travaillé dans de nombreuses entreprises industrielles avant de revenir à la vie académique. Il est l'auteur de plus de 70 livres techniques et a publié plus de 200 articles techniques sur l'électronique, les microprocesseurs, les microcontrôleurs et les domaines connexes.

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (d.ibrahim@btinternet.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



Les deux éditions  
viennent avec une licence  
TINACloud Basic Edition  
GRATUIT d'un an  
(offre limitée)

I_R1[10,7]	5.46mA rms
I_R2[8,7]	893.51uA rms
I_R3[0,9]	6.62mA rms
I_R4[0,8]	820.26uA rms
I_VG1[3,0]	244.17uA rms
V_C1[2,8]	1.28V rms
V_C2[5,VF1]	5.97V rms
V_DMM1[4,0]	0V rms
V_DMM2[2,3]	0V rms
V_no_label_15[11,6]	661.89mV rms
V_no_label_16[10,11]	661.89mV rms
V_R1[10,7]	5.46V rms
V_R2[8,7]	10.72V rms
V_R3[0,9]	649.12mV rms
V_R4[0,8]	1.31V rms
V_SP1[VF1,4]	955mV rms
V_V1[7,0]	12V rms
V_VG1[3,0]	282.84mV rms
VF1	955mV
VP_10	6.7V rms
VP_11	6.05V rms
VP_2	282.84mV rms
VP_3	282.84mV rms
VP_4	0V rms
VP_5	6.04V rms
VP_6	5.4V rms
VP_7	12V rms
VP_8	1.31V rms
VP_9	649.12mV rms
VP_VF1	955mV rms

Show
☒ Nodal Voltages
☒ Currents
☒ Other Voltages
☒ Outputs

Cancel
Help

Figure 4. Tensions et courants alternatifs dans le circuit.



### PRODUITS

- > D. Ibrahim, *Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (SKU 19977) [www.elektor.fr/19977](http://www.elektor.fr/19977)
- > D. Ibrahim, *Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (E-Book, SKU 19978) [www.elektor.fr/19978](http://www.elektor.fr/19978)

### LIENS

- [1] Fichiers de simulation TINA / TINACloud : [www.elektor.fr/circuit-simulation-with-tina-design-suite-tinacloud](http://www.elektor.fr/circuit-simulation-with-tina-design-suite-tinacloud)  
[2] D. Ibrahim, «Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud,» Elektor 5-6/2022: [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-259/60538](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-259/60538)

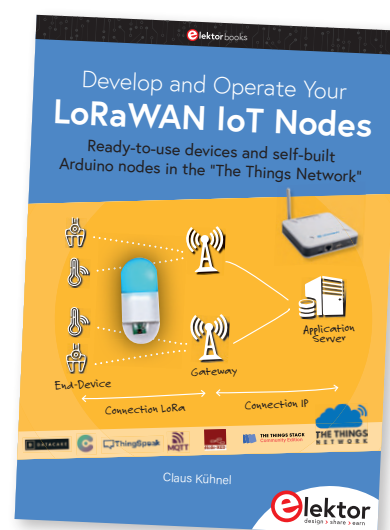


# Développer et utiliser vos nœuds LoRaWAN pour l'Internet des Objets (IdO)

Exemple de chapitre :  
Modules LoRaWAN Dragino LHT65, LDS01 et LDS02

Claus Kühnel (Suisse)

Considéré comme un circuit, un nœud LoRaWAN associe un microcontrôleur et un émetteur-récepteur LoRa. La disponibilité de nombreux nœuds de capteurs LoRaWAN commerciaux conçus pour un « usage industriel » devrait plutôt encourager les expérimentateurs passionnés. Dans cet article, Claus Kühnel, auteur d'un ouvrage Elektor, montre qu'il est relativement facile de faire « dialoguer » trois modules de capteurs Dragino au sein d'un réseau étendu LoRaWAN.



**Note de la rédaction.** Cet article est un extrait du livre de 224 pages *Develop and Operate your LoRaWAN IoT Nodes* (Elektor, 2022). L'extrait a été formaté et légèrement modifié pour correspondre aux normes éditoriales et à la mise en page du magazine Elektor. Étant donné qu'il s'agit d'un extrait d'une publication plus importante, certains termes de cet article peuvent faire référence à des discussions se trouvant ailleurs dans le livre. L'auteur et l'éditeur ont fait de leur mieux pour éviter une telle situation et répondront volontiers aux questions. Les coordonnées des personnes à contacter sont indiquées au paragraphe « **Questions ou commentaires** ».

Des dispositifs LoRaWAN (Long-Range Wireless Area Network) extrêmement variés, proposés par de nombreux fabricants, sont disponibles dans le commerce à des prix très différents. Vous aurez une bonne vue d'ensemble de l'offre de dispositifs LoRaWAN chez les distributeurs les plus connus et sur différents sites Internet, dont certains cités ici de manière arbitraire :

- [www.thethingsnetwork.org/marketplace/products/devices](http://www.thethingsnetwork.org/marketplace/products/devices)
- <https://iot-shops.com/product-category/lora/lorawan-devices/>
- [www.lora-shop.ch/](http://www.lora-shop.ch/)
- <https://lorawan-webshop.com/shop/10-lorawan-devices/>
- <https://smartmakers.io/iot-sensoren-uebersicht/>

Concernant les dispositifs prêts à l'emploi présentés dans l'ouvrage, j'ai veillé à ce qu'ils se situent dans une fourchette de prix acceptable pour les fabricants afin d'éliminer tout obstacle au développement expérimental de ces capteurs.

## Capteur de température et d'humidité Dragino LHT65

Le capteur de température et d'humidité Dragino LHT65 est basé sur la technologie LoRaWAN et permet une transmission à longue portée. Il contient un capteur intégré de température et d'humidité SHT20 de Sensirion et une connexion pour des capteurs externes destinés à mesurer la température, l'humidité du sol, l'inclinaison, etc.

Vous pouvez, par exemple, connecter un capteur DS18B20 étanche au moyen d'un câble de connexion permettant de mesurer la température extérieure par cette liaison externe (**figure 1**).

Vous trouverez toutes les informations nécessaires sur le nœud de capteurs dans le manuel du Dragino LHT65 - référence web [1]. La connexion de capteurs externes supplémentaires y est également décrite.

Le LHT65 est équipé d'une pile intégrée non rechargeable de 2400 mAh. La durée de vie prévue de la pile est de plus de dix ans. Le nœud est entièrement compatible avec le protocole LoRaWAN v1.0.2. Le fonctionnement avec une passerelle LoRaWAN standard arbitraire est possible. Le **tableau 1** résume les caractéristiques



Figure 1. Dragino LHT65-EU868-E1 avec capteur DS18B20 externe.



Figure 2. Identifiants EUI et clés logicielles pour le LHT65.

techniques du capteur Dragino LHT65-EU868-E1. L'emballage du Dragino LHT65 comprend un autocollant indiquant les données nécessaires à l'enregistrement de l'appareil terminal auprès du serveur LoRaWAN (**figure 2**) et un câble de programmation spécial (**figure 3**). Conservez-les en lieu sûr ! Il est préférable de se souvenir des identifiants uniques étendus (EUI) et des clés pour l'enregistrement et les réglages ultérieurs.

Pour configurer le LHT65, il suffit d'utiliser les commandes AT. La mise à jour du micrologiciel et la configuration à l'aide de l'interface série nécessitent le câble de programmation connecté au LHT65 au moyen des zones de contact situées à l'arrière du capteur.

Le manuel d'utilisation du LHT65 contient la description de la mise à jour du micrologiciel à l'aide d'un débogueur/programmeur intégré ST-LINK/V2 pour STM8 et STM32 et précise de nombreux détails [2]. Je ne l'aborderai donc pas ici.

Le point essentiel, c'est la configuration au moyen de commandes AT et du câble de programmation. En raison de l'interface réalisée, il faut un convertisseur FTDI-USB-UART (**figure 4**). Un programme terminal établit une connexion. Seules les lignes Rx, Tx et GND doivent être connectées entre le câble de programmation et le convertisseur FTDI-USB-UART.

**Tableau 1.**  
**Dragino LHT65-EU868-E1 - Spécifications techniques**

Capteur de température (interne)	Résolution	0,01 K
	Précision	± 0,8 K
	Dérive à long terme	< 0,02 K/a
	Plage de mesure	-40 °C - +80 °C
Capteur d'humidité (interne)	Résolution	0,04 % rH
	Précision	±10 % rH
	Plage de mesure	0 - 99,9 % rH
	Temps de réponse	< 5 s
Capteur de température externe DS18B20	Résolution	0,0625 K
	Précision (-10 °C - +85 °C)	±0,5 K
	Accuracy (-55 °C - +125 °C)	±2 K
	Plage de mesure	-55 °C - +125 °C

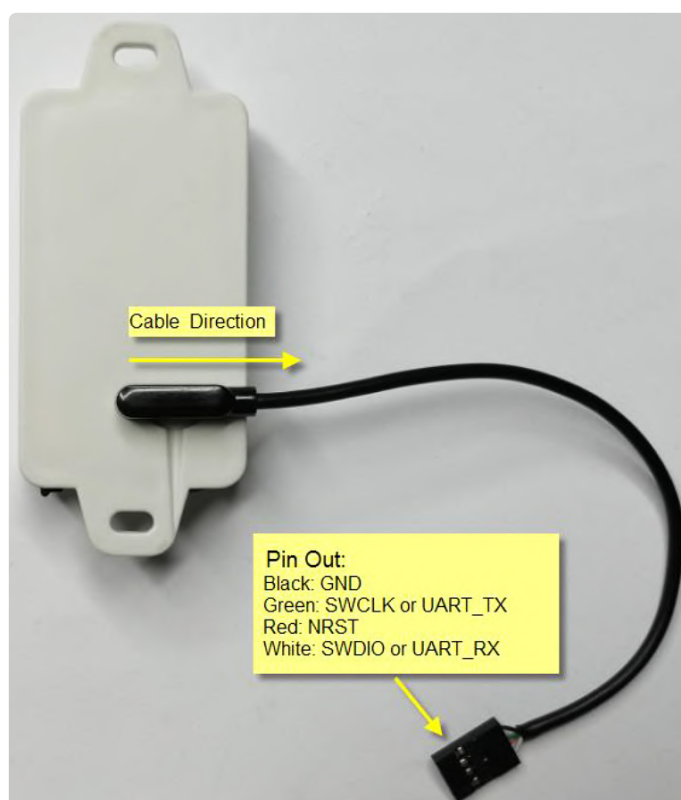


Figure 3. Câble de programmation LHT65.

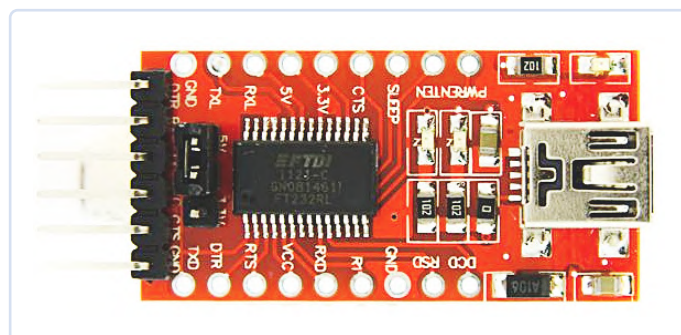


Figure 4. Convertisseur USB-UART de type FTDI.

```

COM43 - PuTTY
Correct Password
AT+DEUI=a8 40 41 ac c1 82 d2 be all configurations to print
AT+DADDR=0182D2BE
AT+APPKEY=61 ac 44 77 2a b4 61 6d 86 c3 a6 d2 c4 3d f9 b7
AT+NMKSKEY=17 54 3c 67 2d 52 9c 9a 3d 29 6a dd b5 83 22 2b
AT+APPSKEY=fd b1 3f 2c b3 6d 95 b8 67 bb ac f2 45 1d 87 21
AT+APPEUI=a0 00 00 00 00 01 01
AT+ADR=1
AT+TXP=0
AT+DR=4
AT+DCS=0
AT+PMM=1
AT+RX2FQ=869525000
AT+RX2DR=3
AT+RX1DL=5000
AT+RX2DL=6000
AT+JN1DL=5000
AT+JN2DL=6000
AT+NMJ=1
AT+NMKID=00 00 00 13
AT+FCU=1
AT+FCO=0
AT+CLASS=A
AT+NJS=1

```

Figure 5. Requête de la configuration du LHT65.

J'utilise PuTTY comme programme terminal et je le connecte à COM43 à 9600 bauds. Vous pouvez voir le port COM utilisé dans le gestionnaire de périphériques lorsque vous connectez le convertisseur FTDI à un port USB.

PuTTY affiche la sortie du LHT65. Pour accéder au mode de configuration, entrez le mot de passe 123456. La commande ATZ suivante réinitialise le microcontrôleur interne. Chaque commande doit se terminer par ↵ (CR/LF).

123456 ↵

ATZ ↵

Vous pouvez interroger la configuration actuelle à l'aide de la commande **AT+CFG** (figure 5).

Les lignes du haut de la configuration contiennent les paramètres importants pour l'enregistrement sur le serveur TTS (CE). S'il n'y a pas de changement, ils doivent correspondre aux données figurant sur l'autocollant fourni.

L'enregistrement sur le serveur TTS (CE) se fait maintenant sous une forme légèrement différente puisque le capteur Dragino LHT65 a déjà une entrée d'enregistrement TTS (CE) et les données correspondantes sont stockées (figure 6).

La saisie des EUI et des clés suit la méthode habituelle (figure 7). Un clic sur le bouton *Register end device* (enregistrer le terminal) met fin à l'enregistrement du nouveau dispositif sur le serveur TTS (CE). S'il n'y a pas d'erreur, le nœud du capteur LHT65 renvoie ses données en direct après un court instant (figure 8).

Pour recevoir des messages lisibles sur la console TTS (CE), j'ai entré le code JavaScript du **listage 1** dans le formateur de charge utile afin de la décoder. Le formateur de charge utile décode les données de tension de la batterie, de température et d'humidité relative mesurées par le SHT20, ainsi que la température mesurée par le DS18B20 externe.

La figure 9 montre une partie de la fenêtre de la console TTS (CE) contenant les messages décodés du LHT65. Au début, l'intervalle de transmission par défaut est de 20 minutes.

Un message descendant peut configurer le LHT65. Dans le manuel du Dragino LHT65 mentionné ci-dessus, vous trouverez une description de la configuration à l'aide des commandes AT et des messages descendants.

La commande **downlink 01 xx xx xx** configure le temps d'intervalle. Comme vous pouvez le voir sur la figure 10, j'ai réglé le temps d'intervalle sur 60 (0x3C = 60<sub>16</sub>) secondes à l'aide de la commande

Figure 6. Enregistrement du LHT65 1ère partie.

Figure 7. Enregistrement du LHT65 2e partie.

Figure 8. Données en direct produites par le LHT65.



Time	Entity ID	Type	Data preview
↑ 15:02:20	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 28.4, TempC_DS: 31.81, TempC_SHT: 31.43 } CC 18
↑ 15:52:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 27.2, TempC_DS: 31.75, TempC_SHT: 31.21 } CC 18
↓ 15:51:29	a84041acc182d2be	Forward downlink data message	FPort: 1 Payload: 01 00 02 58
↑ 15:51:15	a84041acc182d2be	Decode uplink data message failure	Unknown FPort
↑ 15:51:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 28, TempC_DS: 31.61, TempC_SHT: 31.2 } CC 18
↑ 15:50:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 26.6, TempC_DS: 31.75, TempC_SHT: 31.17 } CC 18
↑ 15:49:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 26.5, TempC_DS: 31.81, TempC_SHT: 31.13 } CC 18
↑ 15:48:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.098, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 27.6, TempC_DS: 31.56, TempC_SHT: 31.08 } CC 1A
↑ 15:47:15	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 24.9, TempC_DS: 31.56, TempC_SHT: 31.05 } CC 18
↑ 15:46:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 25.5, TempC_DS: 31.68, TempC_SHT: 31.01 } CC 18
↑ 15:45:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.098, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 27.3, TempC_DS: 31.68, TempC_SHT: 30.98 } CC 1A
⬇ 15:44:14		Console: Stream reconnected	The stream connection has been re-established
↑ 15:44:08	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 27.8, TempC_DS: 31.62, TempC_SHT: 30.94 } CC 18
⬇ 15:44:08		Console: Stream connection closed	The connection was closed by the stream provider
↓ 15:26:04	a84041acc182d2be	Forward downlink data message	FPort: 1 Payload: 01 00 00 3C
↑ 15:24:08	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.098, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 33.3, TempC_DS: 30.87, TempC_SHT: 30.39 } CC 1A
↑ 15:04:13	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperature Sensor", Hum_SHT: 29.8, TempC_DS: 29.87, TempC_SHT: 30.38 } CC 18

Figure 9. LHT65 — données en direct et configuration descendante.

01 00 00 3C. Les sorties suivantes sont donc également affichées dans cette grille. Avec la commande 01 00 02 58 (0x0258 = 600s) le temps d'intervalle est finalement réglé sur 10 minutes.

Comme on peut le voir sur la **figure 9**, la liaison descendante ne prend pas effet avant la liaison montante suivante. Avec un dispositif LoRaWAN de classe A, une fenêtre de réception s'ouvre dès que la liaison montante a eu lieu, et les messages ne peuvent donc être reçus qu'à ce moment-là. Dans la **figure 10**, *schedule downlink* (programmer une liaison descendante) a une signification littérale. Vous pouvez toujours décider si la liaison descendante doit

remplacer une liaison déjà planifiée ou si elle doit s'y ajouter. La configuration via une liaison descendante est très pratique.

### Capteur de porte et de fenêtre Dragino LDS01

Le Dragino LDS01 est un capteur de porte et de fenêtre LoRaWAN. Le capteur détecte l'état ouvert ou fermé, et envoie cette information au serveur LoRaWAN. Grâce à ses dimensions compactes de 64 x 30 x 14 mm, le capteur peut être positionné presque partout. La **figure 11** montre le capteur fermé et la **figure 12**, le capteur ouvert. Un contact reed détecte ces deux états. De plus, certaines



#### Listage 1. Javascript pour les valeurs Vbatt, RH, et les capteurs de température

```
function decodeUplink(input) {
  var data = {};
  //Battery,units:V
  data.vbat = ((input.bytes[0]<< 8 | input.
  bytes[1]) & 0x3FFF)/1000;
  //SHT20,temperature,units:
  data.temp = ((input.bytes[2]<< 24 >> 16 |
  input.bytes[3])/100);
  //SHT20,Humidity,units:%
  data.humi = ((input.bytes[4]<< 8 | input.
  bytes[5])/10);
  //DS18B20,temperature,units:
  data.extTemp = ((input.bytes[7]<<24>>16 |
  input.bytes[8])/100);
  return {
    data: data
  };
}
```

**LHT65**  
ID: a84041acc182d2be

Last seen 5 minutes ago   ↑ 3,501   ↓ 349

Overview   Live data   **Messaging**   Location   Payload formatters   Claiming   General settings

Uplink   **Downlink**

**Schedule downlink**

**Insert Mode**  
☒ Replace downlink queue  
☐ Push to downlink queue (append)

**FPort\***

**Payload**  
  
The desired payload bytes of the downlink message

☐ Confirmed downlink

Figure 10. Configuration du LHT65 par liaison descendante.



Figure 11. Dragino LDS01, fermé.



Figure 12. Dragino LDS01, ouvert.

données dérivées de ces deux états sont placées dans la charge utile. Une pile de type CR2032 alimente le LDS01. Avec une bonne couverture réseau (base SF7, 14 dB), il est possible de transmettre jusqu'à 12.000 paquets de liaison montante. Une mauvaise couverture réseau (base SF10, 18,5 dB) réduit ce chiffre à environ 1.300 paquets de liaison montante. Selon les données de conception du fabricant, l'autonomie de la batterie peut atteindre un an. L'utilisateur peut facilement remplacer la pile CR2032.

L'emballage du Dragino LDS01 comprend un autocollant indiquant les données nécessaires à l'enregistrement de l'appareil terminal auprès du serveur LoRaWAN (figure 13). Encore une fois : conservez bien l'autocollant ! Il est sage d'utiliser les EUI et les clés pour l'enregistrement de l'appareil, et d'effectuer les ajustements ultérieurs plus tard.

Le LDS01 utilise une interface série accessible à l'intérieur de l'appareil au moyen d'une bande de connexion pour la configuration. Vous avez besoin d'un convertisseur FTDI-USB-UART pour connecter à nouveau RX, TX et GND (figure 14).

Pour accéder au LDS01, vous devez à nouveau utiliser un programme de terminal (par exemple, PuTTY). Le débit en bauds est de 115200 bps. Le mot de passe requis est 123456. La procédure d'enregistrement du LDS01 est la même que pour le LHT65 (figure 15). Le serveur TTS (CE) « connaît » déjà le LDS01.

Un clic sur le bouton *Register end device* (enregistrer le terminal) enregistre le nouveau dispositif sur le serveur TTS (CE). S'il n'y a pas d'erreur, le nœud du capteur LDS01 renvoie ses données en direct après un court instant (figure 16).

Pour trouver des données lisibles sur la console TTS (CE), j'ai entré

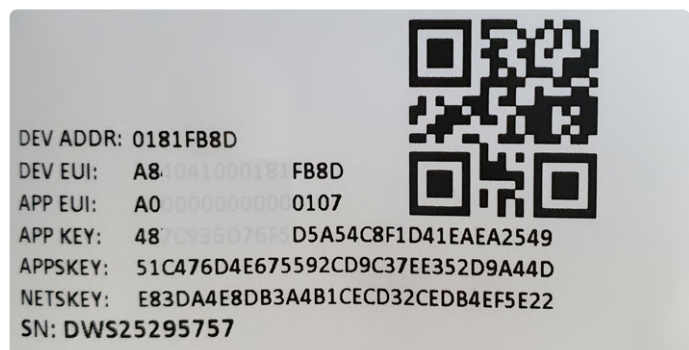


Figure 13. Identifiants EUI et clés logicielles du Dragino LDS01.

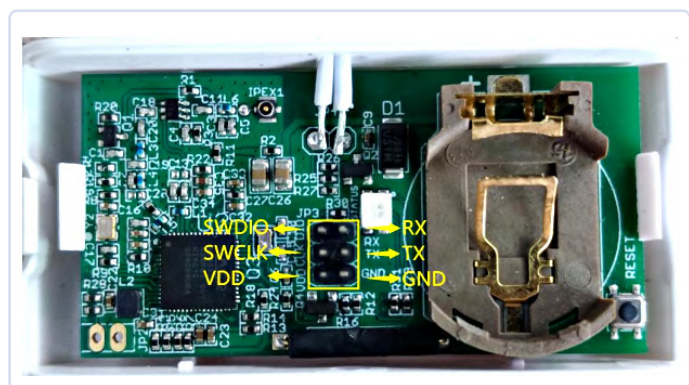


Figure 14. Dragino LDS01, et son boîtier ouvert.

**Register end device**

From The LoRaWAN Device Repository | Manually

1. Select the end device

Brand: Dragino Technology Co., Ltd. | Model: LDS01 | Hardware Ver.: Unknown... | Firmware Ver.: 1.3.0 | Profile (Region): EU\_863\_870

**LDS01**  
MAC V1.0.3, PHY V1.0.3 REV A, Over the air activation (OTAA), Class A  
LoRaWAN Door Sensor  
[Product website](#)

2. Enter registration data

Frequency plan: Europe 863-870 MHz (SF9 for RX2 - recommended)

AppEUI: A8 00 00 00 00 00 01 07 00

DevEUI: A8 40 41 00 01 81 FB 8D

AppKey: 48 7C 93 6D 76 F5 D5 A5 4C 8F 1D 41 EA EA 25 49

End device ID: lds01

After registration  
☒ View registered end device  
☐ Register another end device of this type

[Register end device](#)

Figure 15. Enregistrement du LDS01.

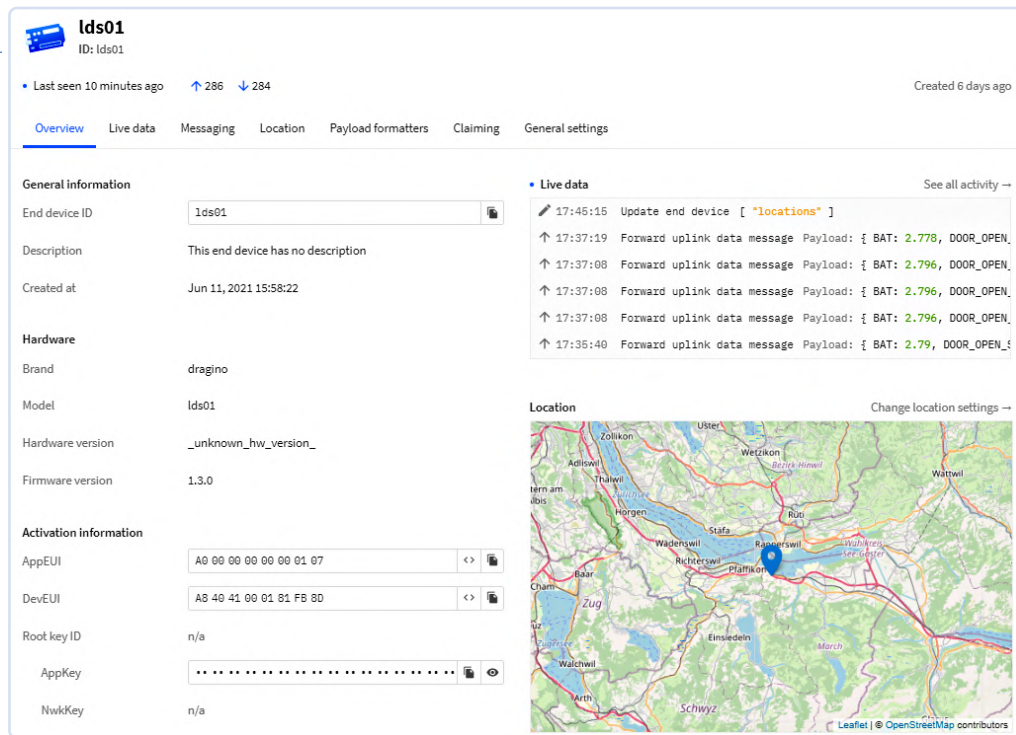


Figure 16. Données en direct produites par le LDS01.

le code JavaScript du **listage 2** dans le formateur de charge utile afin de la décoder. Le formateur de charge utile décode les données relatives à la tension de la pile, à l'état du commutateur, au nombre d'ouvertures, à la durée de la dernière ouverture et à un bit d'alarme (non évalué ici).



### Listage 2. Javascript pour LDS01

```
function decodeUplink(input) {
    var state = input.bytes[0] & 0x80 ? 1:0; //
    1:open,0:close
    var voltage = ((input.bytes[0]<< 8 | input.
    bytes[1]) & 0x3FFF)/1000;
    var alarm = input.bytes[9]& 0x01;
    var open_times = input.bytes[3]<<16 | input.
    bytes[4]<<8 | input.bytes[5];
    var open_duration = input.bytes[6]<<16 |
    input.bytes[7]<<8 | input.bytes[8]; //units:min

    return {
        data: {
            BAT: voltage,
            DOOR_OPEN_STATUS: state,
            DOOR_OPEN_TIMES: open_times,
            LAST_DOOR_OPEN_DURATION: open_duration,
        },
        warnings: [],
        errors: []
    };
}
```

En plus de l'utilisation des commandes AT, un message descendant peut également configurer le LDS01. Le manuel du LDS01 décrit les commandes AT et les messages de liaison descendante pour la configuration du Dragino LDS01 - sa référence est [2]. À titre d'exemple, la commande downlink **A8 xx xx** configure le débit de données. Comme vous pouvez le voir sur la **figure 17**, j'ai réglé le débit de données sur DR5 à l'aide de la commande **A8 00 05** pour réduire le temps d'antenne, et donc, la consommation d'énergie. Si la programmation du LDS01 ne fonctionne pas par téléchargement, vous pouvez corriger le micrologiciel à l'aide des commandes AT. La commande **AT+CRX1DELAY=5** pour réduire le temps d'antenne, et donc, la consommation d'énergie.

The screenshot shows the 'Messaging' tab in the LDS01 interface. It has sub-tabs for 'Uplink' and 'Downlink', with 'Downlink' selected. Under 'Schedule downlink', there are options for 'Insert Mode' (radio buttons for 'Replace downlink queue' and 'Push to downlink queue (append)') and a text input for 'FPort' (set to 1). The 'Payload' section has a text input containing 'A8 00 05' and a description: 'The desired payload bytes of the downlink message'. There is a checkbox for 'Confirmed downlink' and a 'Schedule downlink' button at the bottom.

Figure 17. Configuration du LDS01 par liaison descendante.





Figure 18. Le Dragino LDS02.

La bibliothèque LoRaWAN, sur laquelle est basé le code des capteurs LDS01 et LWL01, comporte une erreur fatale dans une partie binaire de la bibliothèque. Un test rapide avec la version 4.4 de la bibliothèque montre que Dragino a corrigé le problème. Il n'y a pas de déclaration concernant les autres versions du logiciel. Il semble que Dragino doive publier une mise à jour du micrologiciel pour ses produits basés sur l'ASR650x afin de les rendre compatibles avec TTS (CE), voir le rapport de problème en [3].

### Capteur de porte et de fenêtre Dragino LDS02

Le Dragino LDS02 est aussi un capteur de porte et de fenêtre LoRaWAN. Comme le LDS01, ce capteur détecte l'état ouvert ou fermé et envoie cette information au serveur LoRaWAN.

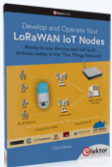
Doté de deux piles AAA, ses dimensions de 69 x 29 x 54 mm sont un peu moins compactes que celles du LDS01 (figure 18). Ces deux piles sont suffisantes pour environ 16.000 à 70.000 paquets de liaison montante. Lorsque les piles sont épuisées, l'utilisateur peut les remplacer par deux piles AAA du commerce.

Un jeu de clés uniques pour l'enregistrement LoRaWAN est préchargé sur chaque LDS02. L'enregistrement sur le serveur TTS (CE) est identique à celui du LDS01, et la connexion se fait automatiquement après la mise sous tension. ◀

220296-04



## PRODUITS



➤ **C. Kühnel, *Develop and Operate Your LoRaWAN IoT Nodes*, Elektor 2022 (livre en anglais, SKU 20147)**  
[www.elektor.fr/20147](http://www.elektor.fr/20147)

➤ **C. Kühnel, *Develop and Operate Your LoRaWAN IoT Nodes*, Elektor 2022 (E-Book, SKU 20148)**  
[www.elektor.fr/20148](http://www.elektor.fr/20148)

➤ **Capteur de porte Dragino LDS02 (EU868, SKU 20004)**  
[www.elektor.fr/20004](http://www.elektor.fr/20004)

➤ **Autres produits LoRa et LoRaWAN**  
[www.elektor.fr/catalogsearch/result/?q=LoRA](http://www.elektor.fr/catalogsearch/result/?q=LoRA)



### À propos de l'auteur

Le Dr Claus Kühnel a étudié les technologies de l'information à l'Université technique de Dresde, en Allemagne. Il a développé, entre autres, des systèmes embarqués pour des appareils de diagnostic de laboratoire. Dans ce domaine interdisciplinaire, il a été au contact de l'univers des *makers*. Passionné par les nouvelles technologies autour des microcontrôleurs, il est l'auteur de nombreux articles et ouvrages sur le matériel et les logiciels liés à ces véritables systèmes sur puces, en Allemagne et ailleurs.

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ([info@cksript.ch](mailto:info@cksript.ch)), ou contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).

## LIENS

[1] Dragino LHT65 Manual: <https://bit.ly/35cHPiP>

[2] Dragino LHT65 firmware update description: <https://bit.ly/3MWw5oC>

[3] Dragino LDS01 Manual: <https://bit.ly/3a34ovG>

[4] Dragino ARS650x firmware error: [www.thethingsnetwork.org/forum/t/new-application-v3-otaanotworking/43338/30](http://www.thethingsnetwork.org/forum/t/new-application-v3-otaanotworking/43338/30)

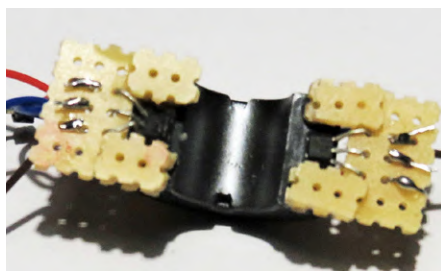
# projet 2.0

## Corrections, mises à jour et courriers des lecteurs

Jens Nickel (Elektor)

### Pince ampèremétrique pour courant continu

Elektor 5-6/2021, p. 26 (200595-04)



Sur la deuxième page de l'article, il y a deux formules :  $V = I \times 38,92 \text{ mV/A}$  et  $V = I \times 39,26 \text{ mV/A}$ . Les résultats sont dix fois plus grands pour le nombre supposé de tours ( $n = 1$ ). Les formules correctes pour  $n = 1$  sont,  $V = I \times 3,892 \text{ mV/A}$  et  $V = I \times 3,926 \text{ mV/A}$ .



### Pince ampèremétrique pour courant continu

Elektor 5-6/2021, p. 26 (200595-04)

J'ai trouvé l'article sur la pince ampèremétrique pour courant continu avec un capteur à effet Hall très intéressant. Cela m'a donné l'idée d'utiliser un noyau de ferrite avec un capteur à effet Hall pour détecter les impulsions de tension dans les câbles de bougie d'allumage des motos anciennes. Lors des événements de notre club d'anciens, nous souhaitons effectuer des mesures de bruit sur les systèmes d'échappement. Cela nécessite un régime moteur fixe de 2000 tr/min. Les motos ont des allumages magnéto, donc aucune impulsion basse tension (6 V ou 12 V) n'est présente, et le réglage des paramètres sur les moteurs n'est pas possible. Une « pince de détection de tension » serait idéale pour notre objectif. Le circuit décrit dans l'article est destiné à la mesure de courant, mais les impulsions d'allumage dans un câble de bougie ont une haute-tension (10 à 20 kV) à faible courant.

Un noyau de ferrite avec un A1324LUA peut-il également être utilisé à cette fin ?

Ardy Notenboom

Je pense qu'un noyau annulaire en ferrite n'est pas adapté pour détecter les impulsions dans vos câbles d'allumage. Le couplage entre les impulsions haute tension et la bobine pourrait déformer la forme d'onde des impulsions. Cependant, cela vaut la peine d'essayer. Un couplage capacitif serait probablement plus adapté, comme le dispositif utilisé pour déclencher les stroboscopes (par exemple, les lampes de calage de moteur). Vous pouvez consulter les schémas des circuits des stroboscopes typiques.

Martin Ossmann (auteur de l'article)



### Tracer des graphiques avec Arduino

Elektor 3-4/2022, p. 15 (200540-04)

Dans le numéro de mars-avril, vous avez décrit le traceur sériel d'Arduino. Cependant, il existe de meilleures alternatives. L'une d'elles est SerialPlot, que j'utilise dans mes projets. Les versions pour Windows et Linux peuvent être téléchargées sur :

<https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software/log/192838-serialplot-v012-release>

Un exemple de tracé est montré dans l'illustration.

Walter Trojan



### Prise en main du micro-contrôleur ESP32-C3 RISC-V

Elektor 1-2/2022, p. 59 (210466-04)

J'ai une petite question avant de passer une commande : Est-ce que le kit ESP-C3-

12F disponible dans l'e-choppe Elektor ([www.elektor.fr/esp-c3-12f-kit-development-board-with-built-in-4-mb-flash](http://www.elektor.fr/esp-c3-12f-kit-development-board-with-built-in-4-mb-flash)) utilise déjà la révision 3 de l'ESP32-C3 (c'est-à-dire sans les bogues décrits dans l'article) ?

Michael Kasper

Le kit dans notre e-choppe utilise la révision 3 ou ultérieure de l'ESP-C3. Les bogues de la révision 2 décrits dans l'article ne sont donc pas présents.

Mathias Claußen (Elektor)



### Vos premiers pas avec l'ESP32-C3 et l'IdO

Elektor 5-6/2022, p. 6 (220017-04)

En tant qu'abonné Elektor, j'ai lu l'article et j'ai alors eu l'idée d'installer Node-RED sur mon Raspberry Pi 3B afin d'utiliser MQTT. En tant que débutant, cela a immédiatement conduit au premier problème : mon Raspberry Pi a-t-il besoin de son propre écran et clavier pour cela, ou puis-je le contrôler depuis mon PC ? SSH est-il suffisant pour cela ou ai-je besoin d'une autre connexion pour afficher les diagrammes Node-RED ?

Hans Kast

Node-RED est entièrement contrôlé et programmé via un navigateur, qui n'a pas à fonctionner sur le Raspberry Pi. Il suffit donc d'installer Node-RED sur un Raspberry Pi sans moniteur ni périphériques d'entrée connectés ; tout ce dont vous avez besoin est un lien SSH pour l'installation. Pour plus d'informations sur l'installation et le fonctionnement, vous pouvez consulter l'article <https://www.elektormagazine.fr/articles/prise-en-main-de-nodered>.

Mathias Claußen (Elektor) ◀

220305-04

# 5G pour moi tout seul

Maîtrise totale du déploiement de la 5G avec les réseaux cellulaires privés



Stuart Cording (Elektor)

Alors que le grand public voit dans la 5G des temps de chargement plus courts pour les contenus vidéo, les utilisateurs commerciaux ou professionnels souhaitent tirer parti de ses autres avantages : faible latence, haute fiabilité et connectivité massive. Cependant, ils ne sont toujours pas prêts à émettre leurs données sensibles sur les réseaux mobiles publics. Heureusement, il existe des alternatives. Des fréquences radio sont disponibles pour déployer des réseaux cellulaires privés, permettant aux usines, stades, centres d'exposition et aéroports de prendre le contrôle total et de mieux exploiter la 5G sur leurs sites.

Comme c'est souvent le cas, le processus marketing derrière la 5G a bien avancé avant le déploiement de la technologie. Ceux qui vivent au Royaume-Uni pourraient presque croire que Kevin Bacon, acteur et ambassadeur de la marque pour l'opérateur de réseau mobile EE [1], livre lui-même les nouveaux smartphones 5G aux clients. Mais, loin du domaine des consommateurs, la 5G connaît son heure de gloire, faisant valoir les incroyables performances intégrées dans ses caractéristiques.

Alors que les précédentes progressions de la technologie cellulaire se concentraient sur le débit de données et l'amélioration de l'expérience utilisateur en passant de la 2G à la 3G, puis à la 4G, la 5G est légè-

ment différente. Oui, le débit a été considérablement amélioré, connu sous le nom de haut débit mobile amélioré ou l'*enhanced Mobile Broadband* (eMBB), offrant des débits de données 100 fois plus rapides que la 4G, mais ce n'est pas tout. Vous disposez également de communications massives de type machine (massive Machine Type Communication ou mMTC), permettant de déployer jusqu'à environ un million d'appareils sur un kilomètre carré et une autonomie de 10 ans pour les modems sans fil destinés à ce type d'applications. Et puis, il y a la communication ultra-fiable et à faible latence (*Ultra-Reliable and Low-Latency Communication* ou URLLC). Elle fournit une latence d'interface hertzienne aussi

petite que 1 ms avec une disponibilité de 99,9999 %.

## Le rôle des fonctions 5G dans les applications

Bien que les capacités de performance soient impressionnantes, il convient de préciser qu'elles ne sont pas toutes entièrement disponibles simultanément. Chacune d'entre elles cible les besoins de différents marchés et industries. L'eMBB est clairement bénéfique aux consommateurs qui ont besoin de plus de bande passante pour la transmission vidéo. Mais elle intéresse également l'industrie du divertissement. Des caméras peuvent être intégrées dans les casques des sportifs, fournissant une vue subjective de pilotes de course ou de joueurs de football américain. Le mMTC permet le suivi des conteneurs d'expédition d'un pays à l'autre ou la surveillance de la qualité de l'air grâce à des capteurs déployés dans les villes. L'URLLC peut être utilisé dans les usines, permettant à la 5G de faire partie de la boucle de contrôle des robots et cobots industriels (**figure 1**). Dans l'automobile, mMTC et URLLC seront utilisés tous les deux dans les véhicules. Cela leur permet de partager des données de conduite avec d'autres véhicules et des infrastructures fixes, de la télémétrie à faible bande passante aux données critiques concernant le freinage d'urgence.

Certaines applications, telles que l'automobile, s'appuieront sur la 5G pour utiliser ses possibilités de performance grâce à



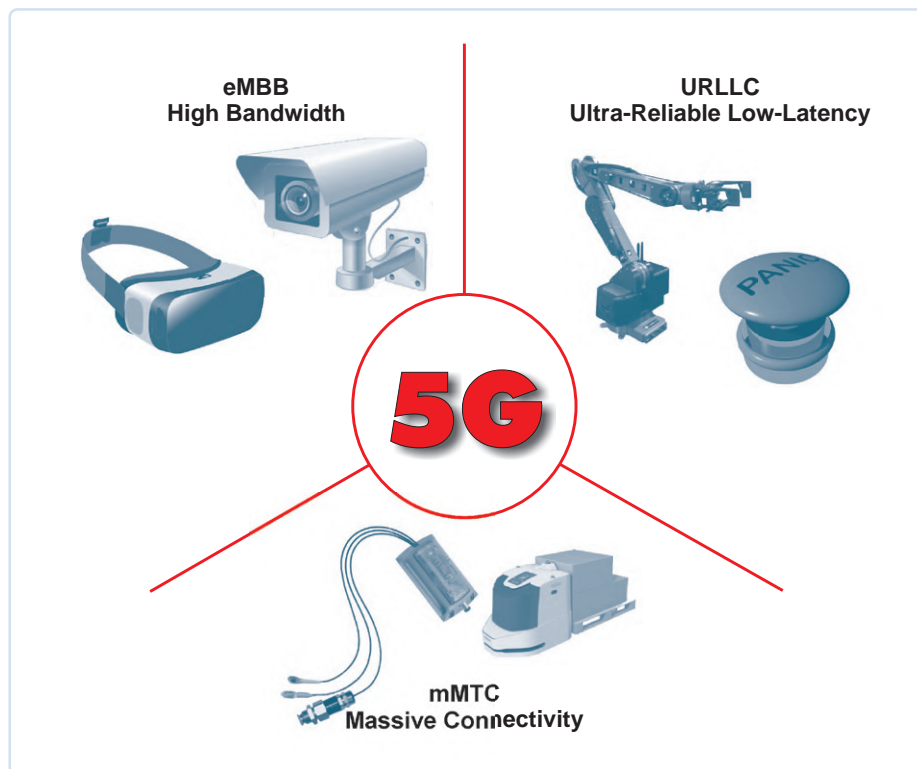


Figure 1. La 5G ne se limite pas à un haut débit mobile plus rapide. La spécification cible un large éventail de besoins commerciaux, automobiles et industriels avec une faible latence, une fiabilité élevée et une bande passante ultra-large.

l'infrastructure installée par les opérateurs de réseaux mobiles (ORM). Cependant, d'autres, comme les exploitants d'usines, de ports, d'aéroports et de stades sportifs, ont d'autres options. Par exemple, l'eMBB fournit une large bande passante pour la vidéo, mais les réseaux entourant un stade de football pourraient être surchargés lorsque les spectateurs partagent simultanément des clips du dernier but. Cela pourrait signifier que les producteurs de télévision perdent en termes de qualité vidéo lorsqu'ils partagent la même infrastructure 5G. Dans une usine, des milliers de capteurs de l'Internet industriel des objets (IIoT) envoyant régulièrement des données, même s'il s'agit de petits paquets, pourraient de ce fait entraîner des factures mensuelles massives.

### Installez votre propre infrastructure 5G

Pour contourner ces défis, une méthode consiste à installer votre propre infrastructure 5G en tant que réseau cellulaire privé (PCN). Il convient de noter que le but n'est pas de générer des revenus en offrant la 5G à quiconque se trouvant à proximité.

L'objectif est de maîtriser le déploiement pour répondre aux besoins de l'entreprise. Cela peut aller de garantir la disponibilité ou la bande passante jusqu'à la maîtrise des coûts opérationnels et à l'intensification de la sécurité en conservant toutes les données sur site. De plus, le matériel peut être déployé pour assurer une couverture complète sur l'ensemble d'un site, à l'intérieur comme à l'extérieur.

Les PCN ne sont pas nouveaux. Certains secteurs industriels, tels que l'extraction minière, utilisent des PCN 4G LTE depuis de nombreuses années. Selon les données d'Analysys Mason, plus de 1 000 réseaux LTE/5G privés sont déployés dans le monde, effectuant une surveillance en temps réel dans les usines de fabrication de véhicules, une surveillance à distance des grues dans les ports et intégrés dans les applications de sécurité des raffineries de pétrole [2]. L'un des principaux défis consiste à acquérir le spectre des fréquences radioélectriques pour le déploiement. Les fréquences publiques ont été mises aux enchères partout dans le monde aux ORM. En cas d'un accord, les entreprises souhaitant mettre en œuvre un PCN pourraient louer

une partie de ces fréquences quand disponible. Puis, il y a les fréquences industrielles qui ont été conservées dans des pays comme le Japon et l'Allemagne. Les régulateurs ont expressément mis celles-là de côté afin que les utilisateurs industriels et autres puissent bénéficier des avantages de la 5G si ces derniers sont prêts à investir dans l'infrastructure nécessaire.

Dans certains pays, les fréquences partagées sont disponibles. L'Ofcom, responsable de la régulation de l'accès aux ondes hertziennes au Royaume-Uni, propose des licences d'accès partagé dans quatre bandes de fréquences pour un fonctionnement à faible et moyenne puissance. Leur objectif est de permettre l'innovation qui améliore la couverture mobile, teste des solutions de transport connectées et autonomes, et implémente des compteurs intelligents [3]. Aux États-Unis, la bande n48 (3550 à 3700 MHz avec des canaux de 5 à 100 MHz) a été rendue disponible de la même manière par la Commission fédérale des communications (FCC). Connue sous le nom de Citizens Broadband Radio Service (CBRS), elle est promue par OnGo Alliance [4].

### Étapes pour déployer un PCN

Que le fonctionnement soit prévu dans une bande sous licence ou non, il y a beaucoup de travail à faire avant de déployer le matériel. Selon les directives préparées par Rohde & Schwarz, cela commence par la préparation du déploiement [5]. La chasse aux interférences doit être entreprise dans les bandes de fréquences pertinentes à l'aide d'un ensemble d'équipements, tels que des analyseurs de spectre et des récepteurs portables et à balayage. Cela peut impliquer simplement de se déplacer sur le site ou même d'utiliser des drones. Les interférences doivent être traitées en les éteignant ou en les signalant aux régulateurs locaux.

Une fois tous les problèmes résolus, le matériel PCN peut être déployé. Cependant, avant toute utilisation, des tests d'acceptation sur site doivent être effectués. Les tests de décodage du signal garantissent que le système 5G fonctionne correctement au niveau du protocole et que le rapport signal à bruit plus interférence (SINR) est dans les limites autorisées. La vitesse de téléchargement et de chargement et les temps d'aller-retour permettent à l'équipe

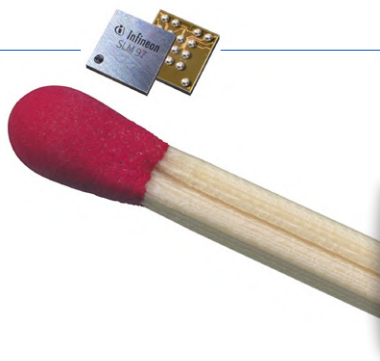


Figure 2. Les cartes SIM intégrées, appelées eSIM, sont soudées directement sur le circuit imprimé. Des circuits tels que l'Infineon SML 97 sont 30 fois plus petits qu'une carte nano SIM équivalente. (Source : Infineon)

d'évaluer l'expérience utilisateur.

Des tests supplémentaires et une surveillance du site doivent également être planifiés pour garantir des performances et une couverture continues, d'autant plus que l'environnement, comme une usine, est rempli d'équipements. Un outil adapté à cette tâche est le QualiPoc Android [6], une application de Rohde & Schwarz. Elle offre une gamme complète de tests allant de la qualité de la voix et des données à l'optimisation RF sur toutes les fréquences porteuses lorsqu'elle est installée sur un combiné approprié. Pour les applications IdO, elles peuvent également être associées à des modules NB-IoT connectés à l'interface USB du smartphone pour examiner la couverture et le bon fonctionnement dans les bâtiments et les sous-sols.

## Expulsion de la carte SIM

Il est tout à fait prévu que de nombreux appareils devront fonctionner à la fois sur les réseaux privés et sur les réseaux publics. De plus, certains réseaux ne pourraient être installés que pour soutenir un événement, tel qu'un festival, une foire commerciale ou un tournoi sportif. Ce serait absurde si l'utilisation du PCN exigeait l'installation d'une carte SIM supplémentaire pour pouvoir utiliser temporairement le réseau. C'est là qu'intervient la carte SIM intégrée (eSIM), permettant ainsi d'éliminer les supports de carte SIM et les plateaux de cartes peu pratiques.

Plutôt que de se présenter sous forme de carte, l'eSIM est un composant soudé directement sur le circuit imprimé de l'appareil électronique. Grâce à des protocoles de sécurité bien établis, l'approvisionnement de SIM à distance (Remote SIM Provisioning RSP), permet de donner aux appareils cellulaires l'accès aux réseaux à l'aide de mises à jour transmises Over-The-Air.

Et bien que les cartes SIM puissent sembler peu impressionnantes de l'extérieur, à l'intérieur, elles sont équipées de processeurs 32 bits avancés et à hautes performances avec un large éventail de fonctionnalités de sécurité pour empêcher à la fois les attaques électriques et physiques. Des accélérateurs sont également intégrés pour implémenter le chiffrement des données aussi efficacement que possible à l'aide d'algorithmes modernes tels que la cryptographie symétrique DES/AES et asymétrique RSA et ECC ainsi que des moteurs de hachage pour l'authentification des messages. L'application exécutée à l'intérieur d'une carte SIM utilise une implémentation simplifiée de Java appelée JavaCard. La gamme de solutions SLM d'Infineon est une option, avec le SLI 97 et le SLM 97 [7] ciblant respectivement les applications machine à machine (M2M) industrielles et automobiles (figure 2). Ces circuits sont également proposés dans des boîtiers MFF2 à montage en surface standard M2M mesurant  $5 \times 6$  mm ou dans des boîtiers à l'échelle de la puce de seulement  $2,5 \times 2,7$  mm, une amélioration importante même par rapport à la nano SIM. STMicroelectronics offre une autre alternative avec sa famille ST4SIM-200 [8]. En plus des circuits standards pour les objets intelligents, elle propose également des

produits adaptés aux applications industrielles et des options AEC-Q100 Grade 2 pour l'automobile.

## Alternatives aux réseaux cellulaires privés 5G (PCN)

Un PCN complet peut être trop lourd à envisager pour certaines entreprises. Dans de telles situations, des modèles hybrides sont disponibles. Une entreprise peut utiliser des solutions radio privées connectées au noyau public d'un ORM. Dans une usine, cela pourrait fournir une couverture à l'intérieur des bâtiments ou la latence de données nécessaire, sans avoir à mettre en œuvre l'ensemble du réseau (figure 3).

L'un des défis de la 4G est l'impossibilité de réserver une partie de la liaison sans fil pour fournir des garanties de latence, de fiabilité ou de bande passante. Toute personne ayant une connexion était traitée de la même manière. Avec le concept de découpage du réseau dans la 5G, tout cela change (figure 4). Les opérateurs de réseau peuvent virtualiser leur trafic, en créant des connexions qui offrent différents profils de performances.

Une tranche pourrait être dédiée aux communications à faible latence utilisées pour le contrôle en temps réel des robots. En revanche, une autre tranche peut fournir une bande passante élevée pour les caméras

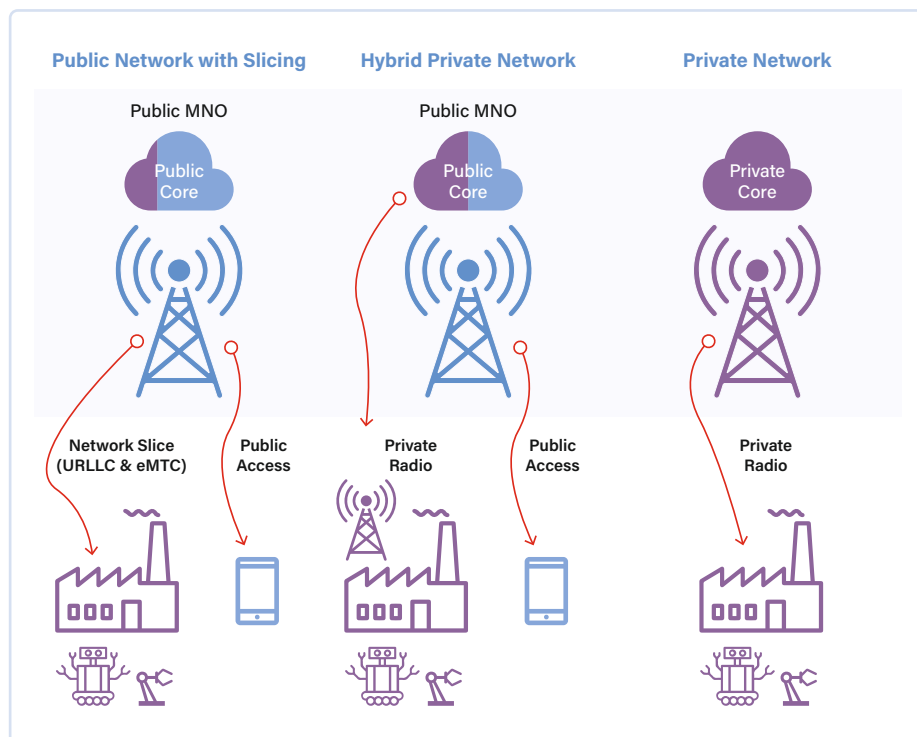


Figure 3. Si l'investissement requis pour un réseau cellulaire privé complet est prohibitif, une approche hybride peut être adoptée en associant un équipement radio privé à un opérateur de réseau mobile public.

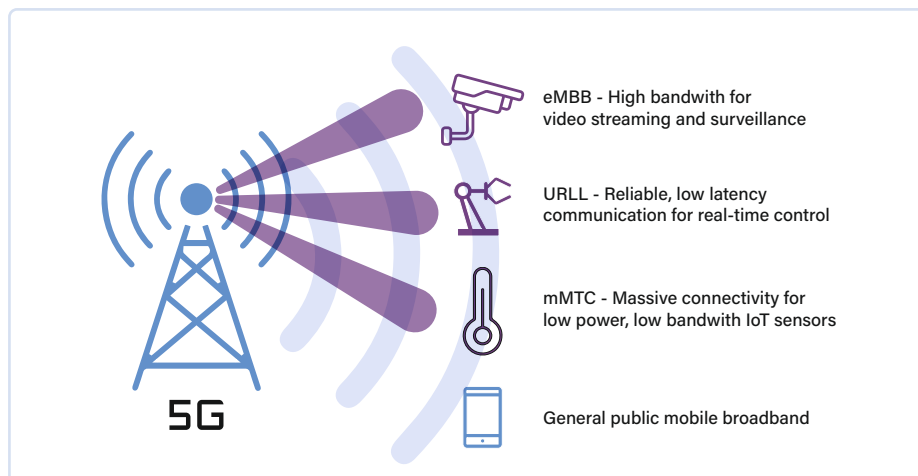


Figure 4 : Avec l'introduction du découpage en tranches du réseau, les opérateurs de réseaux mobiles peuvent fournir les fonctionnalités 5G spécifiques dont les entreprises individuelles ont besoin, tout en continuant à fournir aux utilisateurs publics un excellent haut débit mobile.

vidéo fournissant des données à un système de vision à intelligence artificielle (IA). Les ORM peuvent ainsi partitionner leurs réseaux pour répondre aux besoins de la qualité de service de leurs clients. Si vous le souhaitez, les PCN peuvent également mettre en œuvre le découpage du réseau de façon à garantir que des équipements spécifiques fonctionnent sur la 5G en fonction des besoins. Cependant, comme toute ressource, le nombre de tranches disponibles est limité.

Bien sûr, l'autre technologie qui cherche à voler la vedette est le wifi 6 (802.11ax). Comparé au wifi 5 [9] (802.11ac), il n'offre que 37 % de débit de plus. Cependant, grâce à la formation de faisceaux, le wifi 6 garantit que tous les utilisateurs atteignent des débits de données améliorés car les signaux sont dirigés vers chaque utilisateur au lieu d'être diffusés dans toutes les directions. Cela devrait voir le débit par appareil s'améliorer remarquablement par rapport aux

générations précédentes de la norme. C'est également l'une des approches utilisées par la 5G pour améliorer le débit de données par utilisateur.

Il existe également le wifi 6E qui fonctionne dans la bande 6 GHz sans licence. Aux États-Unis, cela fournit 1200 MHz de bande passante. Dans d'autres régions, la situation est différente. La Chine a conservé la bande 6 GHz pour la 5G, tandis que l'Europe n'a conservé que 500 MHz de la bande pour le wifi, laissant la partie supérieure pour la 5G [10]. Le wifi continuera à jouer un rôle important dans les implémentations de l'IdO. Cependant, le wifi n'a pas été conçu pour les objets en mouvement qui nécessitent un transfert en douceur entre les points d'accès, tels que les véhicules à guidage autonomes (AGV). De plus, sa sécurité et la fiabilité de son réseau ne correspondent pas à celles de la 5G. Ainsi, alors que le wifi 6 peut offrir des avantages à court terme avant que la 5G ne soit pleine-

ment établie, la 5G sera probablement le choix préféré, en particulier dans les applications commerciales et industrielles.

## La 5G prend son chemin

S'il est facile de rire de certaines publicités qui tentent de convertir les consommateurs en utilisateurs de la 5G, cela représente un rappel important des efforts que les ORM déploient dans cette nouvelle technologie. Les consommateurs et les utilisateurs professionnels bénéficieront des débits de données proposés qui sont plus élevés. Les ORM bénéficient également de réseaux configurables plus économes en énergie et de la possibilité d'offrir des services distingués aux clients. Mais l'aspect le plus intéressant concerne les PCN, qui permettent aux grands utilisateurs commerciaux de tirer pleinement parti de la faible latence, de la connectivité massive et du haut débit de la 5G. Et bien que ces réseaux soient privés, cela n'empêche pas les ORM traditionnels et les nouveaux acteurs, tels qu'Amazon Web Services [11] (AWS), de participer également à l'action dans cet espace en fournissant le matériel, les logiciels et la technologie backend nécessaires à leur réalisation... ◀

220297-04

## Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (stuart.cording@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

## LIENS

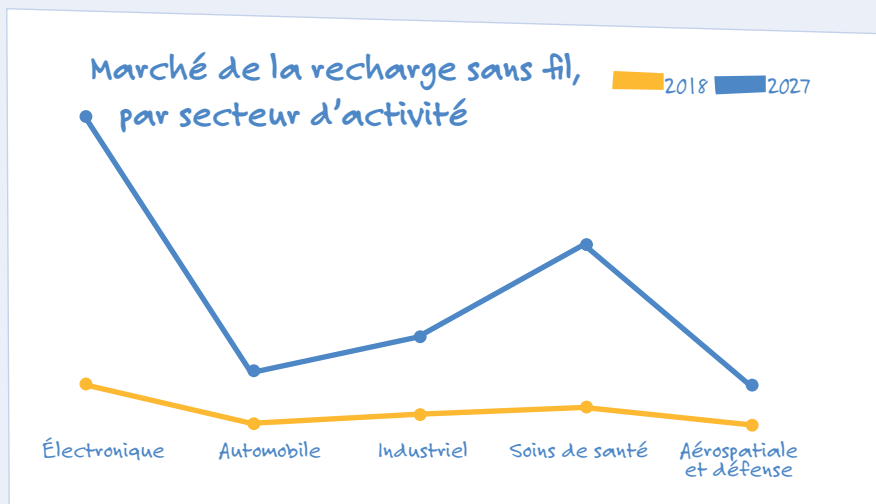
- [1] « EE | 5G. So real you could swear you were there », EE, juin 2019: <https://bit.ly/3MGa4dH>
- [2] M. Mackenzie, C. Chappell, « What are private LTE/5G networks and why are they important? », Analysys Mason, février 2021: <https://bit.ly/3sY1T4B>
- [3] «How Ofcom has enabled innovation through spectrum sharing » Ofcom, août 2020: <https://bit.ly/3MOjQuq>
- [4] Site web de OnGo Alliance: <https://bit.ly/3MLcbNu>
- [5] « Network testing in private networks », Rohde & Schwarz: <https://bit.ly/3GfDz3u>
- [6] « QualiPoc Android », Rohde & Schwarz: <https://bit.ly/3wKUFTT>
- [7] "SLM security controllers optimized for industrial applications," Infineon: <https://bit.ly/3wQK8FI>
- [8] "ST4SIM: SIM & eSIM cellular connectivity portfolio," STMicroelectronics: <https://bit.ly/3wKK8Ik>
- [9] E. Khorov et al., « A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs », IEEE, 2019: <https://bit.ly/3MQpE6A>
- [10] « The Importance of 6 GHz for 5G's Future » GSMA, mai 2021: <https://bit.ly/3sZFLqv>
- [11] Site Web de « AWS Private 5G »: <https://go.aws/3PGu7KZ>



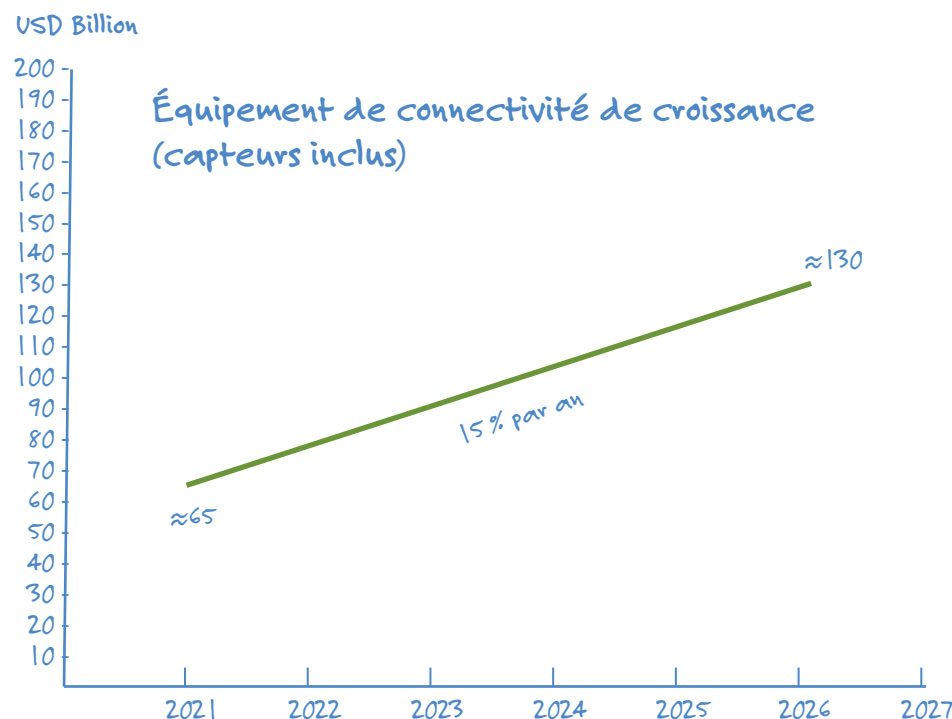
## Recharge sans fil : s'intégrer dans la famille

La communication sans fil et la recharge sans fil sont considérées comme des sujets importants pour deux raisons. La première est liée à la taille du marché, l'autre à sa croissance. La recharge sans fil est particulièrement impressionnante en termes de croissance. En termes de taille, on ne parle pas de centaines de milliards de dollars, comme c'est le cas pour la communication sans fil, mais plutôt de dizaines de milliards. Cependant, jetons un œil sur le taux de croissance annuel de la recharge sans fil au sens général (= y inclus l'automobile). Ce taux est de 24,6 % entre 2021 et 2026, passant de 4,5 milliards de dollars US en 2021 à 13,4 en 2026. Quant à la croissance, la communication sans fil arrive derrière, mais offre elle aussi des montants à deux chiffres.

(Sources : Allied Market Research ; MarketsandMarkets)



## La vue par drone confirme : tout pointe vers la même direction

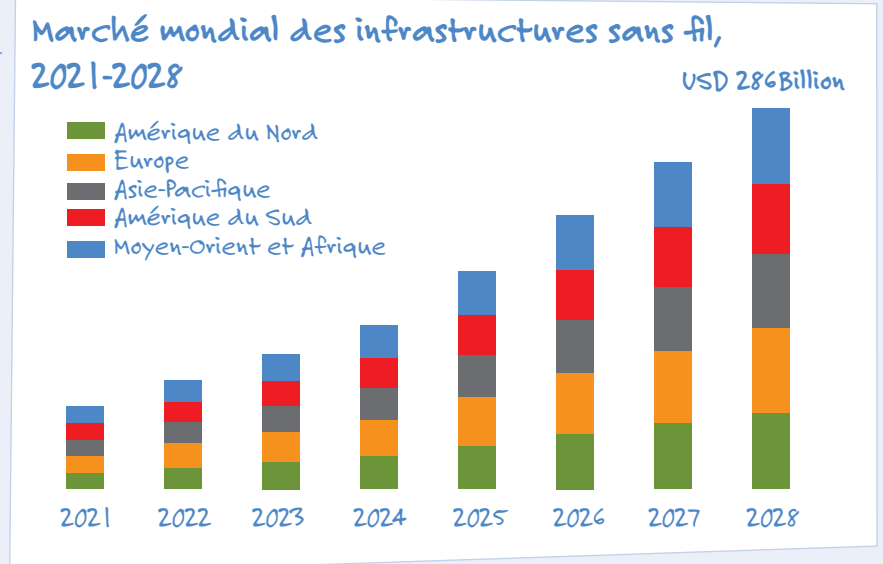


Lors d'une prise de vue par drone de l'ensemble des équipements de connectivité nécessaires dans les appareils mobiles (y compris les capteurs), cela devient clair que tous les secteurs de la société souhaitent adopter la technologie sans fil. Le marché mondial implique bien plus que des consommateurs désireux de garder le contact lors de leurs déplacements. Les municipalités veulent construire aux villes intelligentes et aux entreprises un IdO fiable 24/7. Globalement, le développement des équipements de connectivité sera en effet à deux chiffres. Des sociétés d'études marketing comme BCC Research et MarketsandMarkets prévoient une croissance de 15 % pour les cinq prochaines années. Et oui, cela inclut un tout nouveau marché : les drones.

(Sources : BCC Research; Global Market Insights; MarketsandMarkets)

## Infrastructures : Une grande partie est déjà en place, néanmoins...

Un pictogramme de communication sans fil comprend généralement deux ondes radio représentant une sorte d'antenne. Les antennes ne sont pas seulement les épines dorsales de la croissance, elles représentent aussi la croissance elle-même. Par exemple, plusieurs mâts d'antennes sont nécessaires pour déployer la technologie 5G, qui, après tout, utilise des fréquences plus élevées pour atteindre des vitesses bien supérieures à celles de la 4G. C'est pourquoi le marché des infrastructures sans fil pourrait atteindre les 286 milliards de dollars



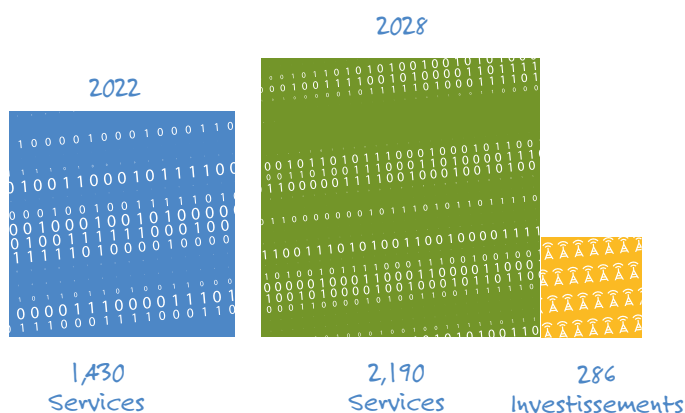
US en 2028, selon Data Bridge Market Research. Entre 2021 et 2028, cela se résume à une croissance annuelle de 7 %. Nous ne parlons pas seulement

des mâts d'antennes ici, mais aussi des stations de base et des hubs centraux.

(Sources : Data Bridge Market Research; Global Market Insights)

## Investissements ? La taille du marché s'en chargera

### Services sans fil mondiaux 2022 vs. investissements sans fil mondiaux 2028 (milliards de dollars US)



Les investissements considérables dans les infrastructures sans fil représentent un grand risque pour les fournisseurs de services de télécommunications. Pourront-ils obtenir un retour sur investissement équitable ? La réponse est un oui, certainement. Cela n'a pas grand-chose à voir avec le taux de croissance des services sans fil. Le taux de croissance des services sans fil sera à peu près le même que le taux d'investissement dans les infrastructures sans fil, soit environ 7 % de plus entre 2020 et 2030. C'est la taille du marché qui importe. Alors que les investissements dans les infrastructures atteindront près de 300 milliards de dollars en 2028, le marché mondial des services dépasse les 1400 milliards de dollars en...2022.

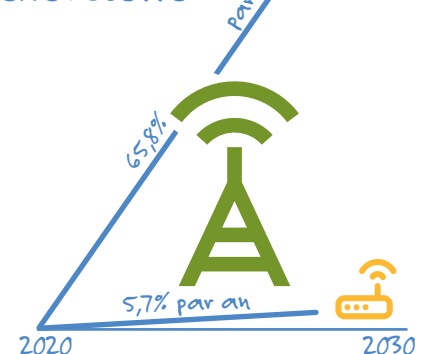
(Sources : Data Bridge Market Research; Future Market Insights; Market Research Future)

## Dans le long terme, c'est la longue portée

Il est toujours délicat de faire la différence entre une communication sans fil à longue portée et une connexion sans fil à courte portée. Où exactement s'arrête la courte portée et où commence la longue portée ? Pour que tout soit clair, supposons que les WLAN désignent les réseaux à courte portée basés sur la norme Wi-Fi 802.11. En outre, supposons que les réseaux longue portée sont régis par la norme 5 G. Ainsi, une image intéressante se dessine lorsque tous les matériels, logiciels et services sont combinés (à l'exclusion des infrastructures de télécommunications). Alors que les réseaux locaux sans fil connaîtront une croissance d'environ 5,7 % entre 2021 et 2028, les réseaux 5G connaîtront une croissance vertigineuse de 65,8 % entre 2020 et 2030. À noter : la 5G peut également être utilisée pour les réseaux locaux sans fil.

(Sources : Allied Market Research; Digi; Fortune Business Insights)

### Croissance du marché des réseaux locaux sans fil et de la 5G au cours de cette décennie



# Comment mon appareil apprend-il à transmettre ?

applications avec interfaces WiFi

Dr. Heinz Zenkner,  
Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

À mesure que les appareils grand public et industriels deviennent de plus en plus connectés, le besoin d'une connectivité sans fil facile augmente. Généralement, cela est réalisé en mettant en œuvre une interface WiFi. Mais comment s'y prendre et quels sont les pièges potentiels ? Cet article explique comment concevoir un circuit « compatible RF », la conception et routage du circuit imprimé, l'adaptation de l'antenne et le choix des composants les plus appropriés.

En raison de l'énorme essor des applications IoT (Internet des objets) et de la décentralisation des contrôles, de nombreux développeurs sont confrontés au défi d'intégrer des connexions sans fil pour la communication de données entre le périphérique tel qu'un capteur et le contrôleur central. Les avantages sont évidents : plus besoin de se soucier de l'isolation galvanique ou de la pose de câbles fixes. Une connexion sans fil hautement fiable est nécessaire pour garantir une communication sécurisée, même dans des environnements à fortes interférences. Une connexion WiFi haute fiabilité nécessite une conception conforme RF qui répond à la fois aux exigences CEM et à l'intégrité du signal. La conception de l'interface d'antenne, décrite ci-dessous, comprend les circuits, les composants, la disposition et l'intégration du système.

## Éviter les reflets sur l'antenne

Les contrôleurs WiFi fonctionnent numériquement et génèrent non seulement les signaux requis à leur sortie de transmission (port Tx), mais également des signaux parasites harmoniques. De plus, des interférences sont causées par des désadaptations dans le chemin de transmission, qui devrait idéalement avoir une impédance de  $50 \Omega$  de l'étage de sortie de transmission jusqu'à et y compris l'antenne. Pour réduire les interférences harmoniques et améliorer l'adaptation à  $50 \Omega$ , des filtres et des circuits d'adaptation sont fréquemment utilisés dans les canaux d'émission et de réception de l'interface WiFi. Les systèmes de transmission adaptés dans la gamme de fréquences correspondante garantissent la meilleure transmission possible du signal sur toute la bande passante.

## Sélectionnez les composants de filtre appropriés pour RF

Dans un circuit, des composants tels que des condensateurs, des inductances et des résistances introduisent une combinaison de différentes impédances. Par conséquent, il est essentiel de se concentrer sur les propriétés les plus importantes des composants lors de leur utilisation dans des filtres dans la plage de fréquences supérieure à 500 MHz.

## Condensateurs HF au-dessus de 500 MHz

Seuls certains types de condensateurs sont adaptés aux applications haute fréquence comme les condensateurs de la série WCAP-CSRF (n° 885392005010). Leurs paramètres électriques indiqués dans la fiche technique sont illustrés à la **Fig. 1** avec les spécifications correspondantes pour la fréquence de résonance, l'ESR, la dérive liée au DC-bias et la dérive en température. Ceux-ci peuvent également être simulés dans la plateforme de simulation en ligne « REDEXPERT ». La fréquence de résonance du condensateur est d'environ 3 GHz, la résistance série équivalente ESR est faible jusqu'à la fréquence de résonance et la dérive de polarisation CC et la dérive de température sont négligeables. En plus d'un facteur Q élevé de plus de 460, une



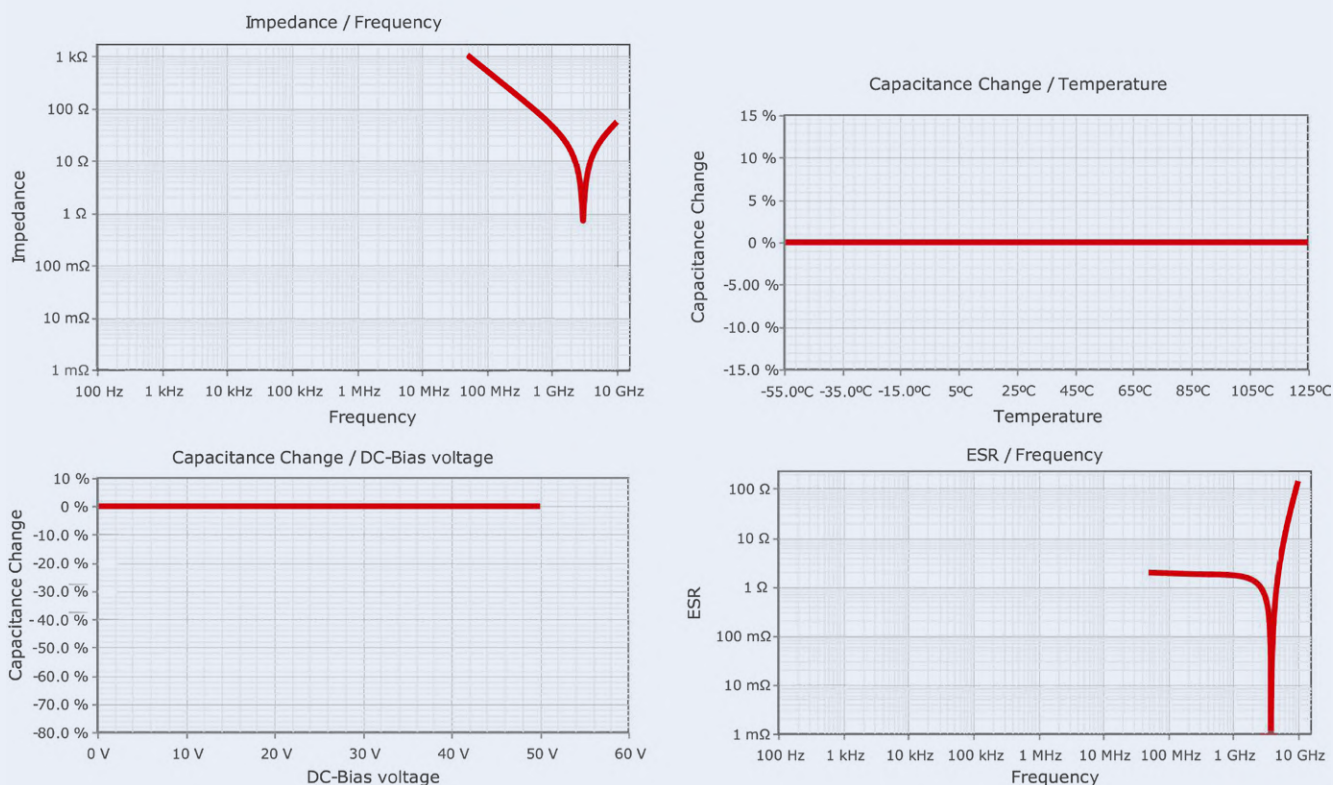


Figure 1. Caractéristiques électriques du condensateur RF de 3 pF WCAP-CSRF 885392005010

fréquence de résonance de 3 GHz entraîne une inductance parasite de 0,3 nH, ce qui est tolérable pour la plupart des applications. Ces valeurs sont essentielles pour le WiFi, le Bluetooth et d'autres applications fonctionnant dans la gamme GHz.

### Inductances RF à partir de 500 MHz

Les inductances sans noyaux de ferrite sont courantes pour l'adaptation d'antenne comme les inductances à noyaux de ferrite le sont pour les filtres CEM. Lorsque les inductances ont un noyau de ferrite, le matériau ferromagnétique doit être soigneusement sélectionné en fonction des courbes d'impédance.

Pour l'application du filtre en tant que circuit d'adaptation d'antenne à faible perte, ou une application RF similaire, les inductances de la série WE-KI sont les plus appropriés. Pour atteindre un facteur Q élevé et de hautes fréquences de résonance, les enroulements de ces composants sont bobinés sur de la céramique (tableau 1).

### Création d'une interface WiFi

La figure 2 illustre une carte d'interface IoT avec une interface WiFi à titre d'exemple. La portée radio atteignable par une source de rayonnement limitée telle que le transceiver dépend fortement de la conception de l'antenne, du boîtier et du routage. Il n'est pas rare qu'à transceiver identiques et puissances équivalentes les performances RF varient drastiquement selon le layout et la conception de l'antenne. En pratique, la plupart des produits disposent d'un transceiver qui combine les fonctions d'émission et de réception. Bien sûr, cela implique que l'adaptation d'antenne, les lignes d'alimentation et l'antenne elle-même soient utilisées simultanément pour les opérations d'émission et de réception. Le canal de réception a généralement une large plage dynamique, avec une sensibilité > 95 dB et une sensibilité inférieure de 3 à 4 dB au niveau de l'antenne. Les ajustements de gain peuvent compenser les pertes dues à la désadaptation. L'opération d'émission, cepen-

dant, est critique, car une sensibilité inférieure de 3 dB de l'antenne, ou des pertes supérieures de 3 dB sur le trajet entre l'étage de sortie d'émission et l'antenne, nécessite deux fois plus de puissance de la part de l'émetteur. Si le circuit Tx est capable de générer la puissance d'émission, cela entraîne inévitablement une consommation de courant élevée et des proportions plus élevées d'interférences harmoniques dans le signal d'émission et peut-être même des problèmes de CEM. Cependant, le niveau de transmission maximal autorisé selon les directives CEM applicables doit être respecté. Étant donné que la loi réglemente le niveau de transmission maximal, il est encore plus essentiel de développer un système bien réglé côté récepteur qui fonctionne avec une puissance de signal reçue minimale. Il convient de noter que le fabricant de la puce d'émission-réception ou du module de communication stipule généralement les antennes les plus appropriées dans la spécification. Cela garantit la conformité aux exigences normatives applicables de la directive RED 2014/53/UE, en tenant compte de l'application. Si d'autres antennes sont utilisées ou si la conception recommandée n'est pas suivie, d'autres propriétés RF en résulteront !

### Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	250 MHz	10	nH	±5%
Q-Factor	Q	250 MHz	30		min.
Q-Factor	Q	900 MHz	66		typ.
DC Resistance	$R_{DC}$	@ 20 °C	0.13	Ω	max.
Rated Current	$I_R$	$\Delta T = 15$ K	700	mA	max.
Self Resonant Frequency	$f_{res}$		4800	MHz	min.

Tableau 1. Caractéristiques de l'inductance CMS 744761110A (données de la fiche technique)

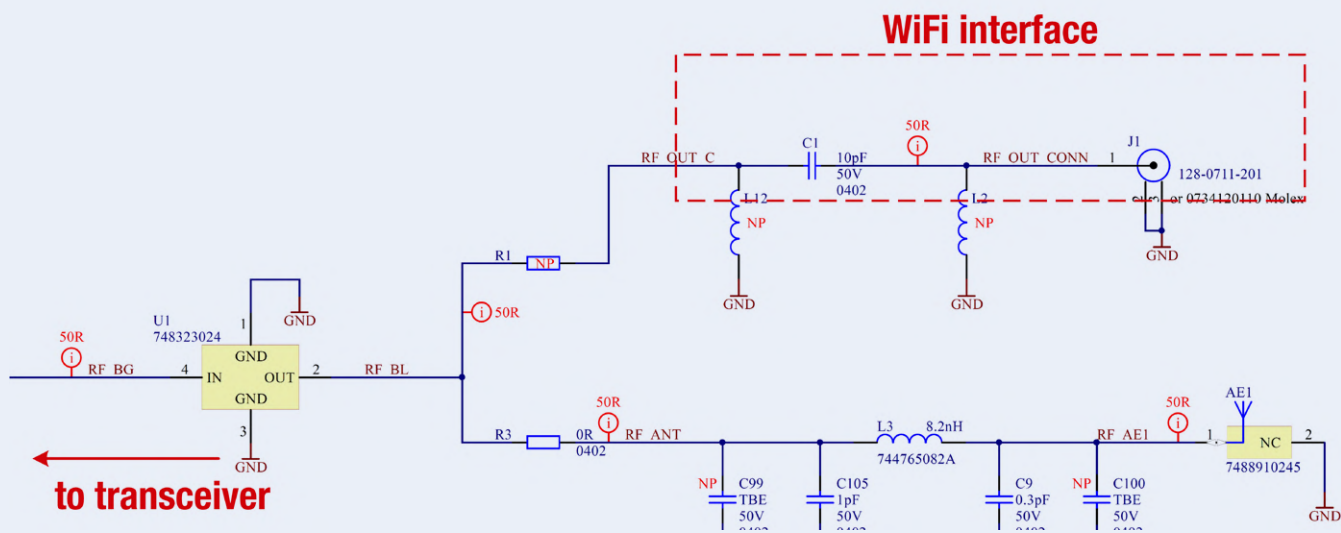


Figure 2. Circuit de l'interface wifi d'une carte d'interface IdO.

## Antennes céramique

Les antennes à puce céramique offrent plusieurs avantages. Elles sont petites et donc moins sensibles aux interférences électromagnétiques des composants à proximité. Des modifications de la conception ou du routage de la carte peuvent facilement être apportées sans simulation. L'antenne peut simplement être modifiée ou même remplacée par une autre. Les applications mobiles et à haute fréquence telles que le GPS ou les radios 2,4 GHz utilisent fréquemment des antennes céramiques. La **figure 3** montre diverses antennes à puce multicouche WE-MCA adaptées aux connexions WiFi.

## Adapter l'impédance de la ligne de transmission

Lorsque l'impédance de la source est égale à l'impédance de la charge, la puissance maximale est transmise. Cela signifie que la source est l'émetteur (sortie de l'émetteur) avec son impédance  $Z_T$ , qui alimente un chemin de circuit avec une impédance  $Z_L = Z_T$ . La puissance est transmise à l'antenne avec une impédance  $Z_A$ , qui devrait idéalement être identique à celle de la trace et de la source. Lorsque toutes les impédances ont des valeurs égales, la puissance est maximale. Si la correspondance n'est pas parfaite, le transceiver envoie un signal d'amplitude  $V_{IN}$  dans le circuit, et seule une partie du signal atteint l'antenne. Le signal restant est réfléchi aux interfaces entre la source et la ligne d'une part et entre la ligne et l'antenne d'autre part.

Une telle discordance peut être considérablement réduite en insérant un circuit correspondant, généralement un filtre  $\pi$ -, T-, LL- ou LC-. Les valeurs de capacité et d'inductance du réseau sont de l'ordre du pF et nH. Il est utile d'être équipé de design-kits contenant des valeurs allant de 0,5 pF à 20 pF et de 0,5 nH à 20 nH prêtes à apparier. Par conséquent, les emplacements de placement correspondant à l'antenne doivent être inclus dans la disposition de l'interface WiFi. La **figure 4** représente le schéma et sa section correspondante sur carte.

Le placement et routage des composants L/C et de l'antenne céramique sur le PCB sont critiques : les composants pour l'adaptation doivent être aussi proches que possible de l'antenne ou du connecteur d'antenne. La position de l'antenne, la taille de la zone en retrait autour de l'antenne et la distance entre l'antenne et le plan de masse affectent la fréquence de résonance et l'impédance de l'antenne.

Dans cet exemple, l'antenne est positionnée dans le coin de la carte. De cette façon, l'antenne n'est pas entourée de composants supplémentaires, ce qui se traduit par de bonnes performances d'antenne (**Fig. 5**). La ligne d'alimentation de l'antenne doit être considéré comme faisant partie de l'antenne. La zone de bord autour de la découpe de l'antenne, les plans de masse, sont reliées aux quatre couches. Cela garantit une masse de référence stable pour l'antenne. La longueur de la piste alimentant l'antenne et les longueur et largeur du plan de masse influencent le fonctionnement du système en dipôle ou en monopôle. Si le plan de masse mesure environ 3 à 4 cm de long et environ 1 à 2 cm de large, le système fonctionnera comme un dipôle ; si le plan de masse est plus grand, le système agira comme une antenne monopôle.

## Adaptation d'une antenne céramique

L'exemple d'étude de cas porte sur l'adaptation de l'antenne céramique multicouche WE-MCA (n° 7488910245) pour une transmission de puissance maximale. Un analyseur de réseau mesure l'adaptation. Le signal mesuré est l'atténuation de réflexion S11. En raison des impédances différentes entre l'émetteur-récepteur et l'antenne, une partie du signal provenant de l'émetteur se reflète dans le chemin du signal. Étant donné que l'impédance du de la ligne du signal dépend

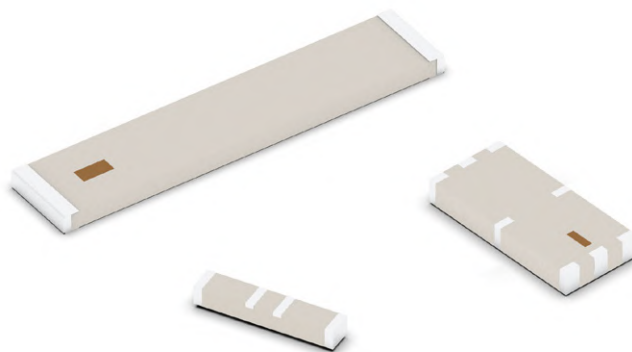


Figure 3. Antennes à puce multicouches WE-MCA dans différents modèles.

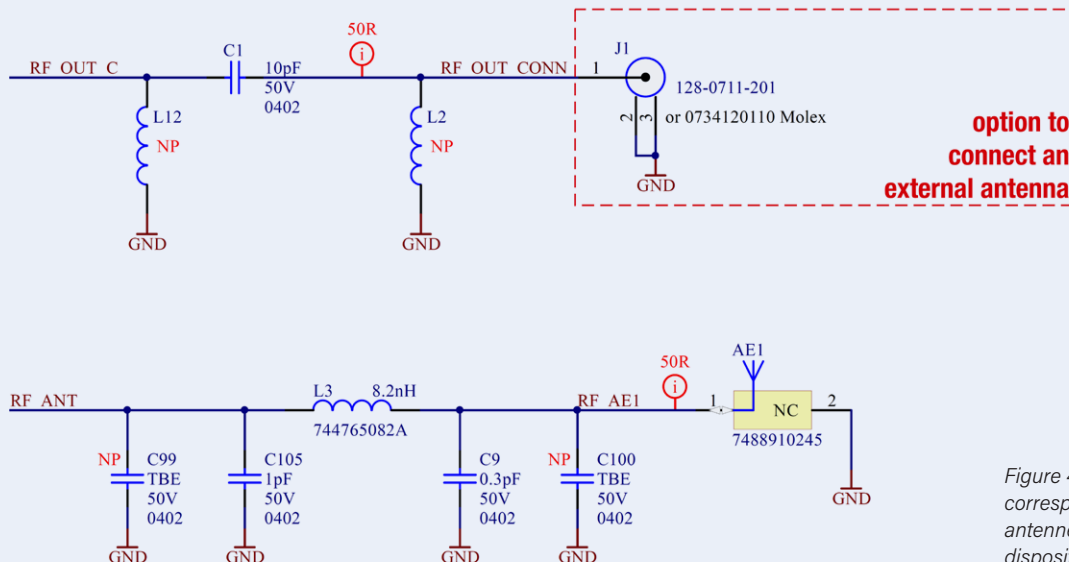


Figure 4. Réseaux de correspondance pour les antennes, circuit, et section de la disposition correspondante. C99 et C100 ne sont pas montés.

généralement de la fréquence, la réflexion dépend également de la fréquence. Plus les différences d'impédance dans la gamme de fréquences de transmission sont petites, plus les réflexions sont faibles. Avec les valeurs indiquées dans le circuit illustré à la **figure 4**, il est possible d'obtenir une atténuation de la réflexion de 29 dB, ce qui donne un VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) de 1,06. La **figure 6** montre l'atténuation de la réflexion en fonction de la fréquence. Würth Elektronik propose un service d'adaptation d'antenne en complément des composants mentionnés ci-dessus. ◀

220369-04

### À propos de l'auteur

Le Dr. Zenkner travaille en indépendant chez Würth Elektronik, spécialisé dans le marketing technique et l'ingénierie d'application. En tant que chargé de cours EMC sur le sujet à la Würth Elektronik Technical Academy\* et expert publiquement nommé et assermenté pour EMC, il est un contributeur régulier et faisant autorité à diverses revues et livres techniques. En outre, il a travaillé comme chargé de cours dans diverses universités et à la Chambre de commerce et d'industrie allemande, et a participé et dirigé de nombreux séminaires.



### LIEN

Wireless Product Guide: [we-online.com/wcs-product-guide](https://we-online.com/wcs-product-guide)

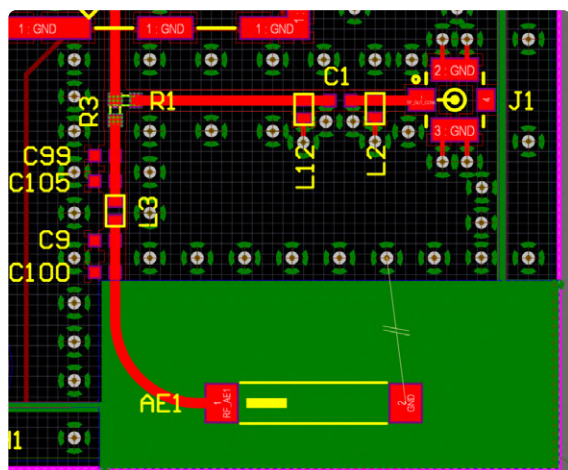


Figure 5. Section de la disposition de la carte d'interface wifi dans la zone de l'antenne.

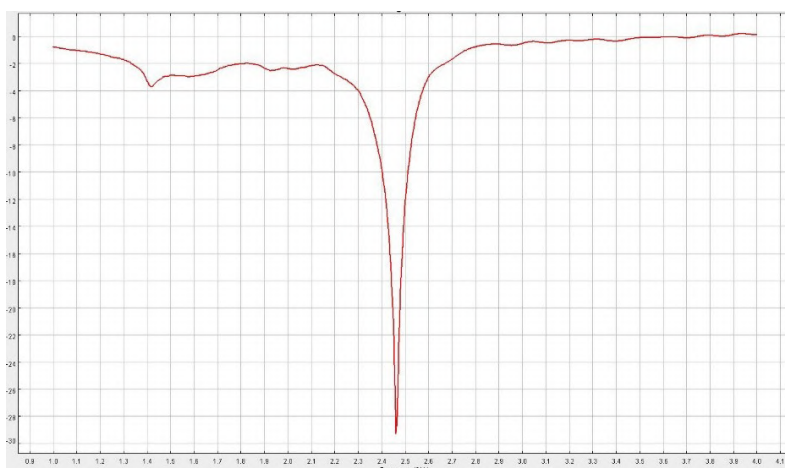


Figure 6. Atténuation de la réflexion du port de l'antenne wifi avec le réseau d'adaptation et l'antenne hybride au-dessus de la fréquence.



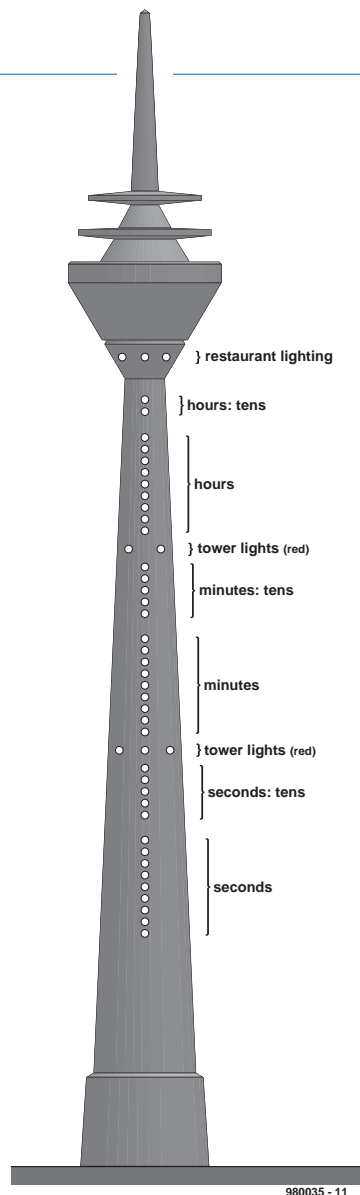


Figure 1. Disposition et signification des lumières (ou des LED dans la réplique) de la Tour du Rhin.

Comme c'est le cas pour de nombreux projets Elektor couronnés de succès, l'horloge Tour du Rhin Mod 2 de janvier 2000 est le résultat d'une évolution. En se basant sur son article original de mai 1998, intitulé « horloge Tour du Rhin » [1], le contributeur indépendant D. De Mülder a passé environ deux ans à optimiser le logiciel et à définir les détails d'un circuit imprimé géant inspiré de la Tour du Rhin de 240,5 mètres de hauteur (789 pieds) située à Düsseldorf. Le projet qui en a résulté [2] a été un grand succès dans l'histoire des publications d'Elektor et est encore aujourd'hui reconnu instantanément par beaucoup de nos lecteurs.

### Des grosses ampoules aux LED

Dans la reproduction d'Elektor, nous avons remplacé les 39 ampoules indiquant l'heure sur la vraie tour par des LED jaunes, et les lumières du restaurant et du phare, par des

Jan Buiting (Elektor)

Ce projet, une réplique de l'émblématique Tour du Rhin de Düsseldorf, démontre la créativité conjointe d'un auteur indépendant d'Elektor et d'un ingénieur d'Elektor Labs. Le résultat n'est pas seulement un accroche-regard, mais aussi l'un des plus grands et certainement le plus attrayant circuit imprimé jamais vendu par le service produit d'Elektor (Elektor Product Service EPS).



Couverture de l'édition de janvier 2000 d'Elektor.

LED rouges. Les contours de la Tour du Rhin sont représentés sur le croquis de la **figure 1**, qui montre également le système de codage utilisé pour afficher l'heure aux banquiers et aux autres habitants de la ville de Düsseldorf et de ses environs. Contrairement au projet original d'Elektor de 1998, l'horloge de la Tour du Rhin Mod 2 a également pu fonctionner en absence de la réception de l'émetteur de signaux horaires DCF77. Selon l'article, « la réception du signal DCF77 devrait être possible dans un rayon d'un peu moins de 1600 km autour de l'émetteur de Mainflingen, en Allemagne. Grâce à des projets antérieurs utilisant le signal DCF77, nous savons que la réception est pratiquement adéquate dans les régions du sud-est de l'Angleterre, dans le sud de la Scandinavie et dans la plupart des pays d'Europe centrale ». En fait, le rapport de récep-

tion DCF77 le plus distant que j'ai reçu par courrier était celui d'un fier propriétaire de laboratoire à Ryad. La DCF77 transmet en HNEC (Heure normale d'Europe centrale).

### De 240.5 m à 49 cm

Le cerveau de l'horloge était un microcontrôleur 89C2051 (**figure 2**) exécutant un code développé par l'auteur du projet, tandis que le circuit imprimé de 49 cm de haut que les lecteurs pouvaient acheter avait été conçu sous la supervision de Karel Walraven à Elektor Labs. Le circuit imprimé était composé de plusieurs sections permettant de construire la base de la tour, la carte de contrôle, un petit clavier et la tour elle-même (**figure 3**). Le micrologiciel du projet n'a pas été publié à l'époque, ce qui a provoqué une certaine frustration chez les lecteurs d'Elektor qui disposaient de leur propre outil de program-

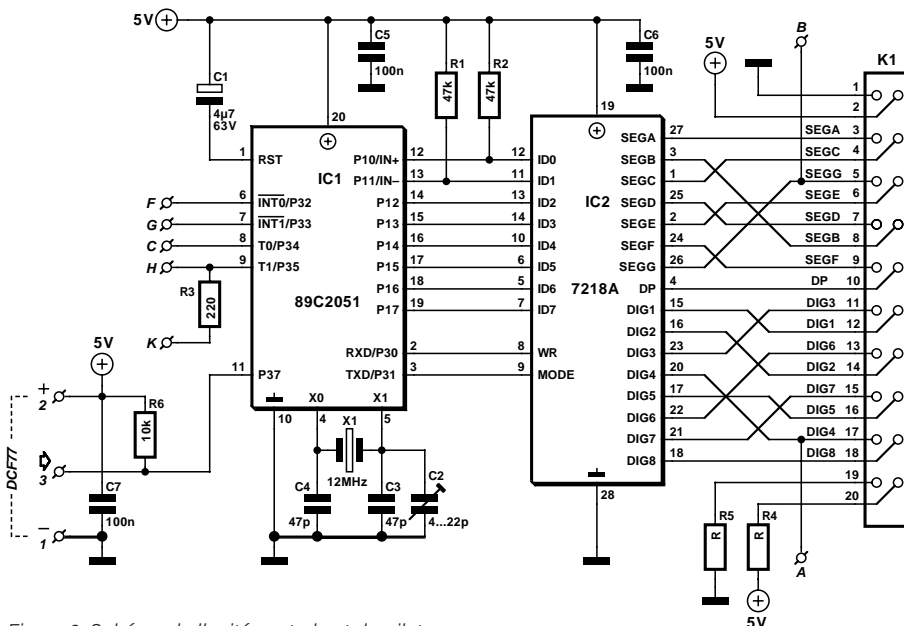



Figure 2. Schéma de l'unité centrale et du pilote.

mation et se sont montrés réticents face à « l'appât du gain et aux conceptions fermées » d'Elektor. Il n'est pas étonnant que des copies illégales de l'horloge « ESS # 996519-1 » aient rapidement fait surface, en particulier sur les marchés de radio amateur. Des huées aussi au Royaume-Uni, en Irlande et au Portugal où le HNEC moins 1 heure était requis et pour lequel aucun patch n'était fourni par Elektor. Le point positif, c'est que le typon du circuit imprimé a été publié dans l'article à 55 % de la taille réelle, ce qui a permis l'agrandissement du tracé sur une photocopieuse, suivi de certaines activités en chambre noire, puis de la gravure, du découpage et du perçage !

### Facteur de réussite

Il est clair que le succès de la publication du RTC Mod 2 était dû au logiciel exceptionnel et au défi des limites de la conception et de la production de circuits imprimés fonctionnels et esthétiques pour le marché des loisirs en l'an 2000. En bref, il s'agissait d'élektoriser une tour allemande emblématique et d'apporter l'heure exacte d'une manière visuellement attrayante et intéressante sur de nombreux lieux de travail, dans les studios et dans certains salons. Ce grand projet n'a jamais été menacé par le bogue du millénaire, mais pour être honnête, c'est surtout grâce à la fiabilité absolue et à la précision absolue du DCF77. 

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur  
(jan.buiting@elektor.com).

### À propos de l'auteur

Jan Buiting a rejoint l'équipe de rédaction anglophone d'Elektor comme rédacteur technique en 1985, avant de devenir rédacteur en chef en 1999. En 2004, il a lancé Retronics, la série d'articles la plus ancienne d'Elektor. Bien qu'il ait rejoint l'équipe Livres et Produits d'Elektor en 2020, Jan est resté un collaborateur du magazine et un spécialiste consultant. Jan travaille à domicile, dans son propre laboratoire consacré au matériel de test électronique vintage et au radioamateurisme. Pendant son temps libre, il aime lire, présenter des conférences, faire de la moto, du jardinage et aller en randonnées.



### LIENS

- [1] D. de Mülder, « horloge Tour du Rhin », Elektor 05/1998:  
[www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-199805/36739](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-199805/36739)
- [2] D. de Mülder, « Horloge Tour du Rhin Mod 2 », Elektor 01/2000:  
[www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-200001/8826](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-200001/8826)



Figure 3. La superbe conception du circuit imprimé de la Tour du Rhin d'Elektor. La hauteur réelle de la carte était de 49 cm, alors que la tour réelle, faite de béton et visible à Düsseldorf et dans ses environs, mesure 240,5 mètres.

# analyseur de spectre audio avec dekatrons

## une nouvelle façon d'utiliser les tubes rétro



Charles van den Ouweland (Pays-Bas)

Nous aimons trouver de nouvelles utilisations pour les composants rétro et surtout les vieux afficheurs. Ils sont trop beaux pour laisser dans un tiroir. Ce projet d'analyseur audio en est un exemple. Nous donnons une seconde vie aux dekatrons.

Les dekatrons sont des tubes de comptage à gaz qui datent des années 1950 [1]. Pendant une certaine période de l'histoire, ils ont été utilisés comme compteurs et cellules de mémoire dans les ordinateurs, notamment l'Harwell Witch [2]. Chaque tube pouvait contenir un chiffre de 1 à 10, donc il fallait un grand nombre de tubes pour construire un ordinateur. J'avais deux de ces tubes. Je pensais alors à un projet dans lequel ils pourraient être réutilisés. Ceux qui construisent des horloges nixie ajoutent parfois un dekatron comme compteur de secondes, ce qui est bien, mais je voulais trouver une nouvelle idée.

Dans cet article, je vous présente un analyseur de spectre audio stéréo à 7 bandes avec sortie dekatron. C'est un excellent outil pour tout audiophile possédant un amplificateur à tubes et souhaitant faire vivre le spectacle visuel ! L'idée est simple : au lieu de représenter le spectre audio à l'aide d'un graphique à

barres, d'un afficheur à LED - ou encore plus ennuyeux - d'un afficheur LCD, le volume du signal audio dans chaque bande de fréquence est indiqué par un certain nombre de points qui s'allument dans l'un des dekatrons. Chaque dekatron forme un cercle de points. La moitié gauche des points représente la partie gauche du signal stéréo tandis que la moitié droite représente le signal droit.

La conception de mon analyseur de spectre audio (**figure 1**) comporte une unité de contrôle pour le traitement du signal, et sept unités dekatron identiques pour l'affichage. Et, bien sûr, on a besoin d'une alimentation.

### Unité de contrôle

La **figure 2** montre le schéma de l'unité de commande et de la double alimentation de l'analyseur de spectre. Pour commencer, j'ai recyclé et modifié une carte pour construire mon propre prototype pour ce circuit. A

présent, le schéma (fichier Eagle msgeq7c-trler\_Elektor.sch) et la disposition du circuit imprimé sont disponibles pour téléchargement sur la page GitHub de ce projet [3].

Le microcontrôleur (IC1) est le fameux ATmega328P, comme sur l'Arduino UNO. Cependant, ici il n'est pas utilisé comme un Arduino. Le petit programme (300 lignes) est écrit en langage C avec Atmel Studio.

Pour déterminer le spectre audio, j'ai utilisé une puce MSGEQ7 dédiée de la société américaine Mixed Signals, qui analyse le signal audio et le divise en sept bandes de fréquences. Un microcontrôleur peut alors générer les sept niveaux en envoyant des commandes numériques à la puce. Cette dernière fournit une tension sur sa sortie, qui est converti par le CA/N du microcontrôleur. Ce projet comporte deux circuits intégrés analyseurs (IC2 et IC3), un pour chaque canal audio.

### Unité dekatron

Le microcontrôleur communique avec les unités dekatron par une liaison série à trois fils, également appelée SPI, à 5 Mbits/s. Chaque tube dekatron est monté sur une unité compo-



## Danger de haute tension !

Les dekatrons fonctionnent à des tensions d'alimentation pouvant atteindre 450 V. Si vous n'êtes pas familiarisé avec les hautes tensions, n'essayez même pas de réaliser ce projet ou de travailler avec ces tubes. Même après avoir coupé le courant alternatif, une haute tension peut encore être présente sur le condensateur haute tension. Avant de travailler avec le circuit, assurez-vous que le condensateur est déchargé.

**Ni le concepteur ni Elektor n'assument la responsabilité de tout dommage, quel qu'il soit, résultant de la construction, des essais et de l'utilisation de (certaines parties de) ce projet !**

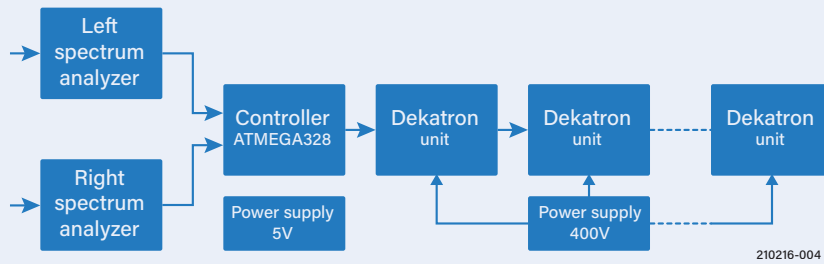


Figure 1. Schéma de l'analyseur audio.

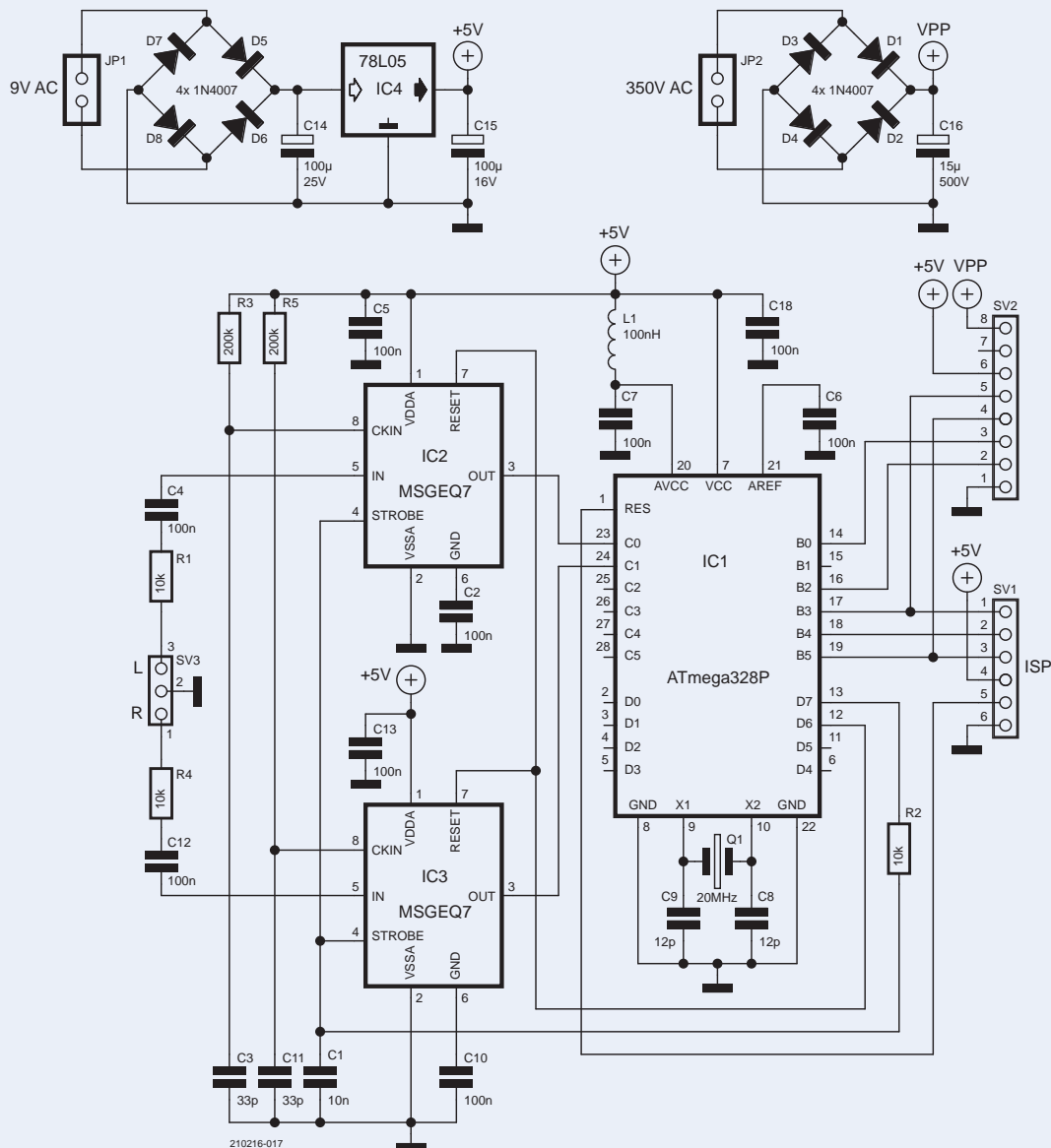
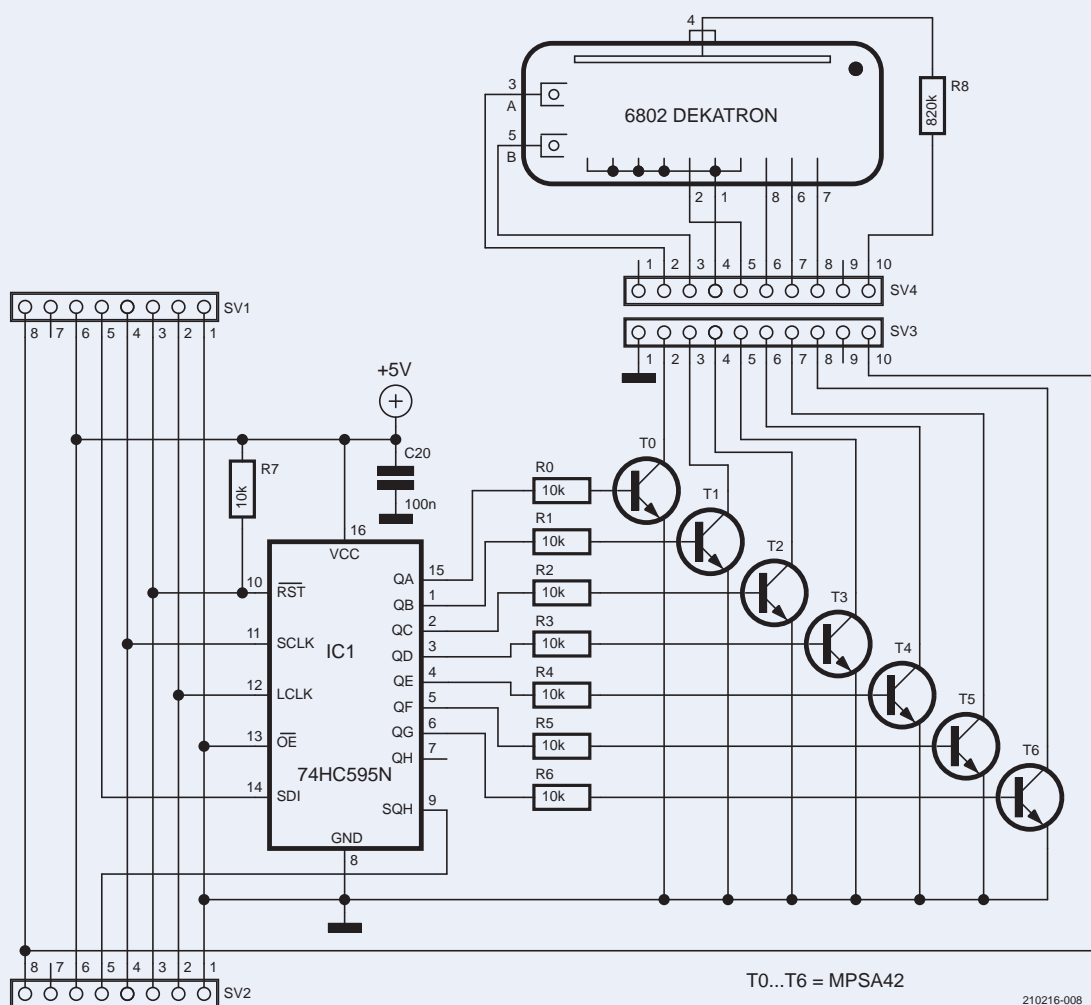


Figure 2. Schéma de l'unité principale.



Le schéma d'un afficheur dekatron. A réaliser en sept exemplaires.

sée d'un 74HC595 (registre à décalage SIPO) et d'un ensemble de transistors MPSA42, utilisés comme pilotes haute tension.

J'ai conçu un circuit imprimé (4 cm × 4,5 cm) pour cette unité, ou en fait deux circuits imprimés superposés. La **figure 3** montre le schéma de principe. Le circuit imprimé supérieur comprend le support du dekatron et la résistance d'anode, tandis que le circuit imprimé inférieur contient tous les autres composants. Les trous pour le support du dekatron sont adaptés à différents types de supports (aussi bien céramiques que métal/plastique). Le circuit imprimé inférieur comporte un connecteur mâle SV1 à gauche et un connecteur femelle SV2 à droite, de sorte qu'ils peuvent facilement être connectés en série à une chaîne de longueur arbitraire. La **figure 4** montre les circuits imprimés et les modules dekatron assemblés et connectés pour les tests.

Les fabricants de circuits imprimés proposent

souvent un service de prototypage de dix circuits imprimés pour un prix raisonnable. Vous obtiendrez donc des cartes pour la construction de dix unités à un prix avantageux. Les fichiers gerber et de perçage dont vous avez besoin pour commander ces cartes sont contenus dans Unit6802\_Elektor.ZIP [3].

### Alimentation

Le circuit exige deux tensions d'alimentation : 5 V et 400 V. Les composants électroniques nécessaires pour fournir ces tensions sont également représentés sur la **figure 2**. L'alimentation de 5 V est simple : un transformateur de 9 V avec un pont de diodes, un régulateur de tension 78L05 et quelques condensateurs.

Une décharge gazeuse a lieu dans les dekatrons. Pour que cette décharge s'allume, il est nécessaire de les mettre sous une tension VPP relativement élevée d'environ 400 V. Ma première solution était une alimentation à

découpage à base d'un MC34063 ou même d'un simple circuit 555. Mais j'ai découvert qu'une telle alimentation provoque beaucoup d'interférences avec les signaux analogiques (surtout sur la sortie du MSGEQ7), et il s'est avéré presque impossible d'obtenir de bons résultats. J'ai ensuite trouvé un fournisseur qui fabrique des transformateurs selon les spécifications des clients en Chine, Yollen Electrical Store. J'ai commandé quelques petits transformateurs 350 V, 1 VA, 50 Hz chez eux à 3 € par unité, plus 6,50 € de frais de livraison (**figure 5**). Ajoutez quatre diodes 1N4007 (D1 à D4) et un condensateur 10 µF 500 V (C16) - c'est tout ce dont vous avez besoin. Même si l'appareil fait appel à des tubes, la consommation d'énergie est très faible. Les dekatrons sont des composants à cathode froide, c'est-à-dire que la cathode n'est pas chauffée ! La seule puissance consommée par chaque tube est le courant anodique de 0,3 mA, qui ajoute une puissance d'environ

1 W au niveau de la partie haute tension. Les deux transformateurs ont une puissance nominale de 1 VA et la consommation totale est inférieure à 2 W.

## Logiciel

Le logiciel pour l'ATmega328 est écrit en langage C avec Atmel Studio, le code source et le fichier HEX(adecima) pour programmer le microcontrôleur peuvent être téléchargés sur la page GitHub [3]. Les traitements sont effectués soit dans la boucle principale, soit dans des routines de service d'interruption. L'interfaçage avec les puces de l'analyseur (y compris le contrôle du CAN) se fait depuis la boucle principale, tandis que l'interfaçage avec les unités dekatron via SPI se fait avec les routines d'interruption.

Les signaux audio gauche et droit sont acheminés vers deux puces analyseurs. Chacune d'entre elles contient sept filtres passe-bande (60 Hz, 150 Hz, etc., voir **figure 6**), et le niveau de sortie de chaque bande est échantillonné. L'AVR reçoit les niveaux audio sous forme de signaux analogiques, les numérise et utilise les dekatrons comme dispositifs d'affichage.

## Acquisition des données

Pour réduire le bruit au niveau du logiciel, chaque valeur est mesurée 15 fois et les meilleures valeurs parmi ces mesures sont retenues. Comme il y a sept bandes de fréquences et deux canaux (L et R), 210 conversions analogiques-numériques sont effectuées à chaque cycle, avant que l'affichage ne soit mis à jour !

Voici comment cela fonctionne en détail. On réinitialise les deux puces MSGEQ7 de l'analyseur. Ensuite, on envoie une impulsion d'échantillonnage aux deux puces. À ce stade, le signal de la première bande de fréquence est émis sur les broches 3 des puces. Une conversion analogique-numérique (C/AN) est effectuée sur le canal gauche, puis sur le canal droit. Les deux conversions sont répétées deux fois, ce qui donne trois valeurs pour le canal gauche et trois valeurs pour le canal droit. Les valeurs les plus basses et les plus hautes sont supprimées, et seules les valeurs intermédiaires sont gardées. Une deuxième impulsion d'échantillonnage est envoyée aux deux circuits intégrés, les faisant passer à la deuxième bande de fréquence et le processus d'échantillonnage est répété. Il en va de

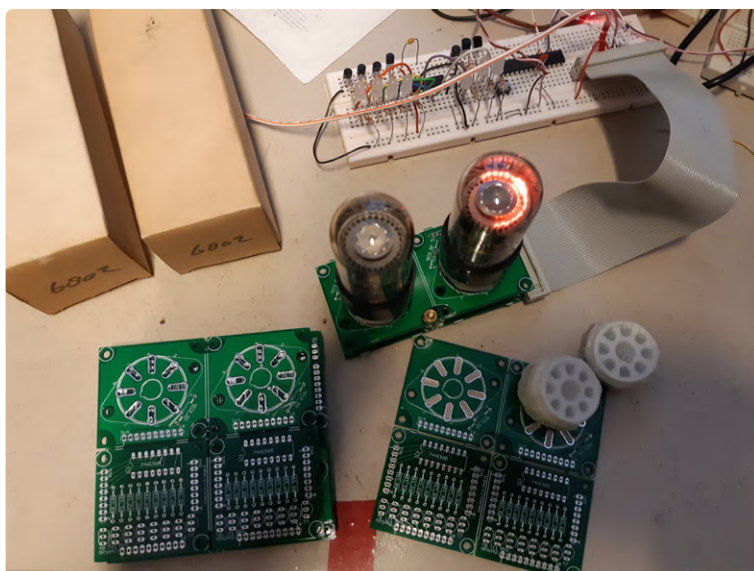


Figure 4. Circuits imprimés et unités assemblées.

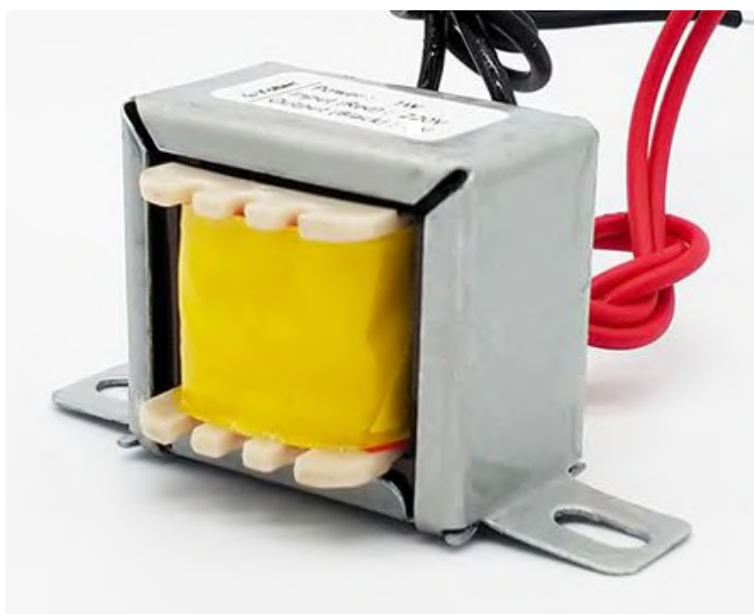


Figure 5. Transformateur de l'alimentation CA à 350 VAC.

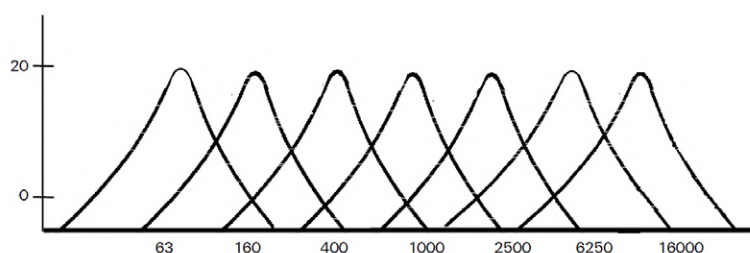


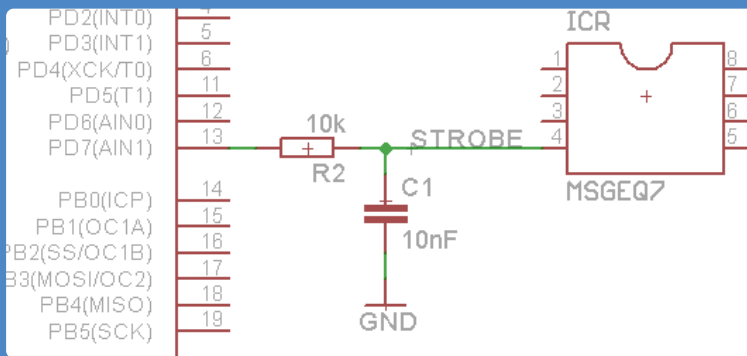
Figure 6. Bandes de fréquences du MSGEQ7. (Source : Mixed Signal Integration).

## MSGEQ7... authentique ou faux ?

Attention aux fausses puces ! J'ai acheté des MSGEQ7s auprès d'un vendeur sur Aliexpress et auprès d'un vendeur sur Ebay et les deux sont arrivés avec de fausses puces. Celles que j'ai commandées chez Sparkfun pour 4,95 \$ étaient authentiques. Il est assez facile de déterminer si vous avez une puce authentique ou une fausse. Il suffit de connecter 5 V entre la broche 1 (VDD = +5 V) et la broche 2 (VSS = 0 V) et de mesurer le courant. Un MSGEQ7 authentique consomme moins de 1 mA. Les faux que j'ai eus consommaient plus de 10 mA.



## Bruit de sortie du MSGEQ7



Cette puce a déjà été traitée dans le numéro de mai 2019 d'Elektor [5], mais ce dont on ne vous a pas parlé, c'est de la façon de gérer les problèmes de bruit avec cette puce.

Mes premières tentatives d'utilisation de la puce n'ont pas été très fructueuses à cause de problèmes de bruit. Une valeur sur dix environ provenant de la puce était erronée. Sur les forums Internet, on voit d'autres personnes se battre contre le même problème. J'ai pris une multitude de mesures pour le surmonter.

J'ai d'abord essayé de le résoudre par logiciel, en échantillonnant la même valeur plusieurs fois et en obtenant plusieurs mesures de la puce. J'ai supprimé les valeurs les plus élevées et les plus basses et j'ai calculé la moyenne du reste des échantillons. Cela a aidé un peu. J'ai également essayé diverses mesures au niveau matériel.

Tout d'abord, j'ai essayé de maintenir une distance entre le microcontrôleur et le MSGEQ7. Cela n'a pas du tout aidé. J'ai essayé des alimentations différentes pour les deux, également en vain. Puis je me suis débarrassé de l'alimentation à découpage, j'ai recouru à une alimentation très simple avec des transformateurs secteur, des diodes, des condensateurs et un 7805. Cela a aidé un peu. En désespoir de cause, j'ai placé un filtre RC sur le signal STROBE. À ma grande surprise, cela a résolu le problème ! Vous pouvez le trouver sur le schéma : C1 et R2 forment un simple filtre RC qui fait de STROBE un mauvais signal numérique, mais le MSGEQ7 fonctionne toujours et le bruit a (presque) disparu !

même pour les bandes de fréquence de la troisième à la septième. Ce cycle d'acquisition de données est répété cinq fois et seules les plus petites valeurs sont utilisées car j'ai découvert que les valeurs plus élevées ne sont généralement que du bruit.

### Affichage des spectres

Le contrôle des dekatrons fonctionne comme suit. Pour le programme, chaque dekatron a 60 états. Pourquoi 60 ? Un dekatron n'est-il pas censé avoir 10 états, d'où le mot « deka » ? Si, initialement, le dekatron était censé avoir 10 états stables. Mais entre deux états stables, il y a deux états transitoires. Au total, le dekatron possède 30 cathodes, 10 pour chaque état stable, et entre chaque état stable, il y a deux cathodes pour la transition. Au départ, le dekatron était utilisé comme un tube de comptage. En appliquant une impulsion décalée sur la première puis la deuxième cathode de transition, il pouvait compter « un en plus ». Cela signifie également qu'avec un dekatron, il est facile de déplacer le point

d'une position à une autre adjacente. Mais ce n'est pas si simple (et la plupart du temps, ce n'est même pas possible) de déplacer le point directement d'une position à une autre, quelconque. Cela n'est possible que pour quelques-unes des positions stables. Pour certains dekatrons, les dix positions stables ont un « accès aléatoire », mais d'autres dekatrons en ont moins. Sur le 6802 que j'ai utilisé, seules les positions 0, 5, 8 et 9 ont une. J'utilise initialement la position 0 comme point de départ et par la suite, le point se déplace uniquement vers les positions adjacentes, soit d'un pas vers la gauche, soit d'un pas vers la droite.

Dans cette application, nous utilisons les 30 cathodes. En outre, il est possible d'exciter deux cathodes voisines en même temps, ce qui sert de transition entre une cathode et la suivante. De cette façon, nous obtenons 60 états.

Cette application dépend de la commutation rapide entre les états, si rapide qu'elle trompe l'œil. L'état actuel du dekatron *i* (un nombre compris entre 0 et 59) est stocké

dans `values[i]`. Comme un essuie-glace, il varie rapidement entre deux états limites (**figure 7**). Les états limites sont stockés dans `minima[i]` et `maxima[i]`. La direction actuelle du mouvement (vers *minima* ou vers *maxima*) est stockée dans le paramètre booléen `orient[i]`. L'état est modifié toutes les 150 µs. Lorsque 150 µs se sont écoulés, la routine de service d'interruption `TIMER0_COMPA_vect()` est appelée. À ce stade, les nouvelles valeurs à envoyer aux dekatrons sont déjà prêtes dans `buffer[i]`. La première valeur sortant de `buffer[i]` est envoyée sur le bus SPI à un taux de 5 Mbit/s. Lorsque cette transmission SPI est terminée, la routine de service d'interruption `SPI_STC_vect()` est appelée, ce qui envoie l'octet suivant sur le bus SPI. Lorsque les sept octets sont envoyés ainsi, `SPI_STC_vect()` calcule les nouvelles `values[i]`. La valeur de `buffer[i]` est calculée, et elle doit contenir la configuration binaire réelle à envoyer sur le bus SPI. Le tableau `map[i]` contient la conversion de `values[i]` en `buffer[i]`. Si nécessaire (lorsque `values[i]` est égal `minima[i]` ou `maxima[i]`), `orient[i]` est inversé.

La boucle principale change `minima[i]` et `maxima[i]` en fonction des valeurs provenant du CAN. « L'essuie-glace » est censé balayer entre ces deux valeurs. Mais parfois sa position actuelle (`values[i]`) est inférieure à la nouvelle valeur de `minima[i]` ou supérieure à celle de `maxima[i]`. Lorsque cela se produit, la fonction `checkRange()` le détecte et change la direction (`orient[i]`) de cet essuie-glace qui reviendra automatiquement à une position entre `minima[i]` et `maxima[i]`.

### Construction mécanique

J'avais deux options : tout comme un amplificateur à tubes, placer les tubes verticalement, ou les monter horizontalement. J'ai choisi cette dernière option, car les tubes sont des modèles à vue de dessus. Je voulais un boîtier pour le projet qui puisse être placé parmi une rangée d'équipements audio. J'ai donc pris le boîtier métallique d'un vieux décodeur de câble de télévision. Je l'ai utilisé à l'envers et j'ai ajouté un nouveau panneau avant, qui consiste en une plaque métallique provenant d'un vieux PC et dont les trous ont été percés avec précision avec une mèche dite « étagée ». Ne percez jamais un trou dans une tôle avec une mèche normale, car vous

n'obtiendrez pas un trou rond, mais plus ou moins triangulaire ! Les trous ont d'abord été soigneusement percés avec une fraiseuse CNC 3018, que j'utilise normalement pour le fraisage de circuits imprimés.

La **figure 8** montre la vue de dessus de l'analyseur de spectre audio à l'intérieur du boîtier ouvert. J'ai monté les transformateurs et les circuits imprimés sur un morceau de planche à découper en plastique, que j'ai ensuite fixé au boîtier. Les unités dekatron étaient toutes vissées sur une barre métallique solide qui était également fixée au boîtier. Par sécurité, j'ai relié le boîtier métallique à la terre.

### Possibilités de modifications

Il est possible de simplifier la conception en réalisant un modèle mono, ce qui permet d'épargner un MSGEQ7 ; ou de réduire le nombre de bandes de fréquences et donc le nombre de tubes dekatron nécessaires. Il est possible, par exemple, de regrouper les sept bandes en cinq bandes en combinant les deux gammes les plus élevées et les deux gammes les plus basses. Il est également possible d'utiliser d'autres dekatrons que le 6802, il n'y a pas de caractéristiques particulières du 6802 qui le rendent plus adapté à cette application que tout autre tube.

Ce projet montre qu'un dekatron peut être utilisé comme un type d'affichage totalement différent de celui pour lequel il a été



Figure 7. Zoom sur trois afficheurs dekatron.

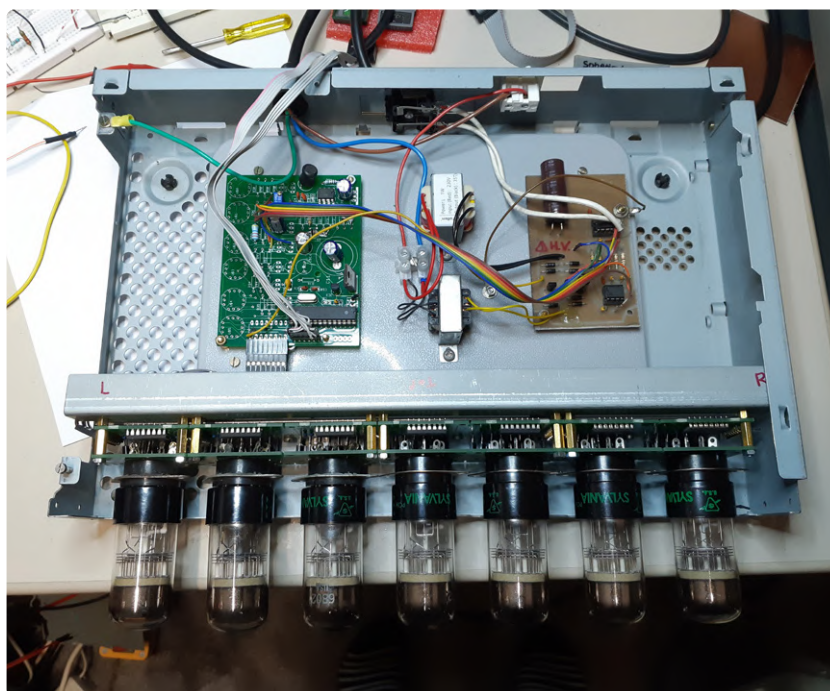


Figure 8. Vue de l'intérieur du boîtier de l'analyseur de spectre audio.



## LISTE DES COMPOSANTS

### Unité principale

#### Résistances

R1,R2,R4 = 10 kΩ  
R3,R5 = 200 kΩ

#### Inductances

L1 = 100 nH

#### Condensateurs

C1 = 10 nF  
C2,C4,C5,C6,C7,C10,C12,C13,C18 = 100 nF  
C3,C11 = 33 pF  
C8,C9 = 12 pF  
C14 = 100 μF, 25 V radial  
C15 = 100 μF, 16 V radial  
C16 = 15 μF, 500 V radial

### Semiconducteurs

D1...D8 = 1N4007  
IC1 = ATMEGA328P  
IC2,IC3 = MSGEQ7  
IC4 = 78L05

### Autres

JP1,JP2 = bornier à 2 voies  
Q1 = cristal 20MHz  
SV1 = connecteur SIL à 6 voies  
SV2 = prise SIL 8 voies  
SV3 = embase SIL à 3 voies ou connecteur jack stéréo  
Transformateur secteur 9 V 1 VA  
Transformateur secteur 350 V 1 VA (voir texte)

### Unité Dekatron

Il vous en faut 7 pièces de tout ce qui est indiqué ci-dessous !

#### Résistances

R0..R7 = 10 k  
R8 = 820 k

#### Condensateurs

C20 = 100 nF

### Semiconducteurs

T0...T6 = MPSA42  
IC1 = 74HC595N

### Autres

SV1 = Connecteur SIL 8 voies  
SV2 = Prise SIL 8 voies  
6802 Dekatron avec support 8 voies



conçu : une barre (ou plutôt un arc) de points indiquant la force du signal. Bien sûr, ce principe peut être utilisé pour d'autres applications que les analyseurs de spectre audio. Mais le style rétro de cet afficheur de spectre est génial, surtout lorsqu'il est associé à un amplificateur à tubes ! ◀

210216-04

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (labs@

vanden.eu) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr). Des informations supplémentaires sont disponibles sur la page de ce projet sur Elektor Labs [4].



### PRODUITS

- > **Six Digit Nixie Clock with IN-14 Tubes**  
[www.elektor.fr/20044](http://www.elektor.fr/20044)
- > **Menno van der Veen, Modern High-End Valve Amplifiers (E-book)**  
[www.elektor.fr/18225](http://www.elektor.fr/18225)
- > **Menno van der Veen, High-End Valve Amplifiers 2 (E-book)**  
[www.elektor.fr/18224](http://www.elektor.fr/18224)

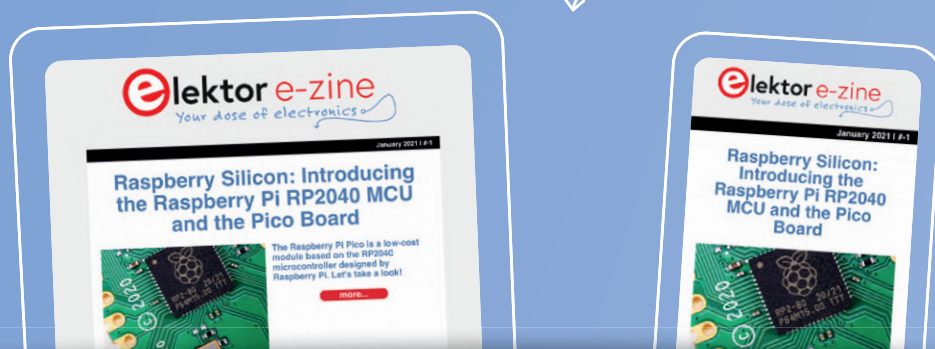
### LIENS

- [1] Dekatron: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dekatron>
- [2] Ordinateur d'Harwell: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ordinateur\\_d%27Harwell](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ordinateur_d%27Harwell)
- [3] Github page with downloads: <https://github.com/CharlesVanDen/AudioSpectrumAnalyserWithDekatrons>
- [4] Ce projet sur Elektor Labs: [www.elektormagazine.fr/labs/i-finally-found-a-useful-application-for-dekatrons](http://www.elektormagazine.fr/labs/i-finally-found-a-useful-application-for-dekatrons)
- [5] Sunil Malekar, « spectromètres audio simples à 7 bandes », Elektor 5/2019: [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-97/42590](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-97/42590)

Publicité

# e lektor e-zine

Your dose of electronics



Chaque semaine où vous n'êtes pas abonné à l'e-zine d'Elektor est une semaine de grands articles et de projets électroniques qui vous manquent !

Alors, pourquoi attendre plus longtemps ? Abonnez-vous dès aujourd'hui à [www.elektor.fr/ezine](http://www.elektor.fr/ezine) et recevez également le livre gratuit du projet Raspberry Pi !



**e lektor**  
design > share > sell



# Envoi de données à Telegram

avec un ESP32 et quelques composants



Somnath Bera (Inde)

Il est étonnamment facile d'envoyer des données à un chat sur Telegram. C'est également assez rapide, permettant d'envoyer jusqu'à 12 messages par minute. Voici comment créer rapidement votre propre chatbot Telegram.

La publication de données sur des plates-formes IdO telles que ThingSpeak a acquis une immense popularité au cours des dernières années. Des millions de canaux ont surgi partout dans le monde, publiant des données utiles et inutiles. Un avantage de ThingSpeak est que vous pouvez visualiser vos données sous la forme d'une jolie courbe de tendance chronologique. Cependant, il se peut que vous n'ayez pas besoin de voir les données sous forme de courbe. Au contraire, les données brutes en succession rapide vous diront tout ce que vous devez savoir. Pour cela, un canal pour un dialoguer (chatbot) Telegram est vraiment utile. Alors qu'un compte gratuit sur la plateforme ThingSpeak vous permet un maximum de quatre envois de données par minute, le

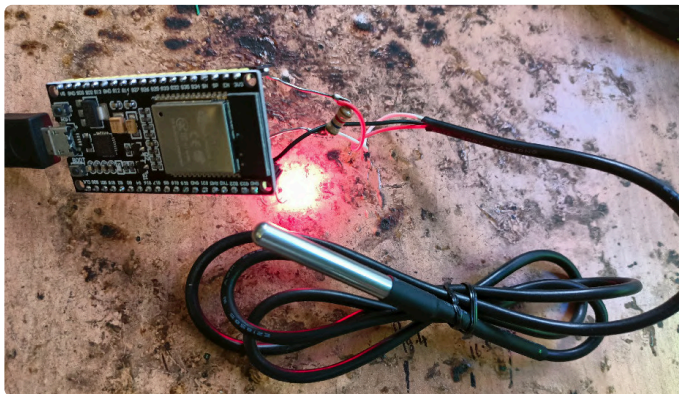


Figure 1. Prototype construit pour mes expériences de chatbot Telegram.

canal Telegram vous permet d'envoyer jusqu'à 12 paquets de données brutes par minute. Cela signifie que toutes les cinq secondes un échantillon ou une mesure peut être publié, ce qui est trois fois plus rapide que sur ThingSpeak. Bien sûr, votre connexion Internet doit être suffisamment rapide pour atteindre un débit aussi élevé.

## Idée du projet

Nous pouvons transformer cette idée en quelque chose de pratique à l'aide d'un ESP32 auquel nous ajoutons une LED et un capteur de votre choix. Le capteur doit, bien sûr, être compatible avec l'ESP32 et capable de produire des lectures à un rythme plus rapide que toutes les cinq secondes ( $> 0,2$  Hz). J'ai utilisé un capteur de température DS18B20 à un fil. La LED indique quand les données sont envoyées. La **figure 1** montre mon prototype. Le schéma du circuit est représenté sur la **figure 2**.

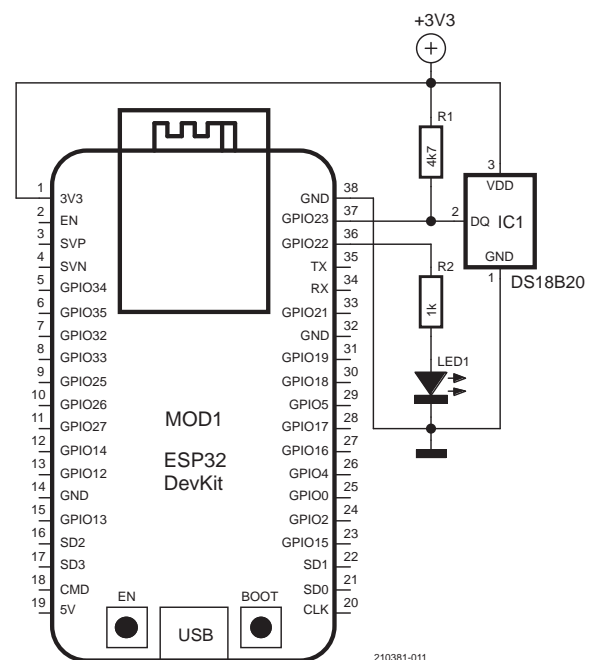


Figure 2. Le chatbot Telegram lit la température ambiante à partir d'un capteur monofilaire DS18B20.

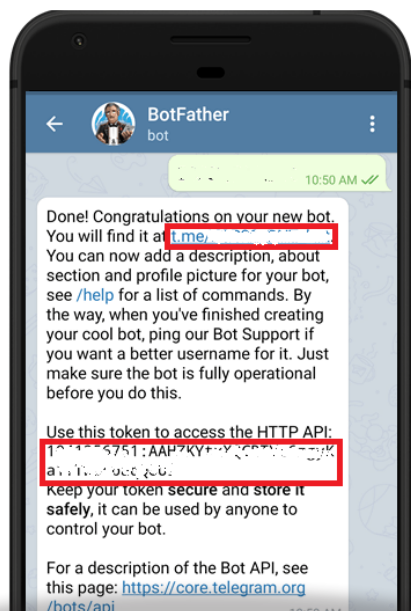


Figure 3. Utilisez BotFather de Telegram pour obtenir un jeton API pour votre chat.

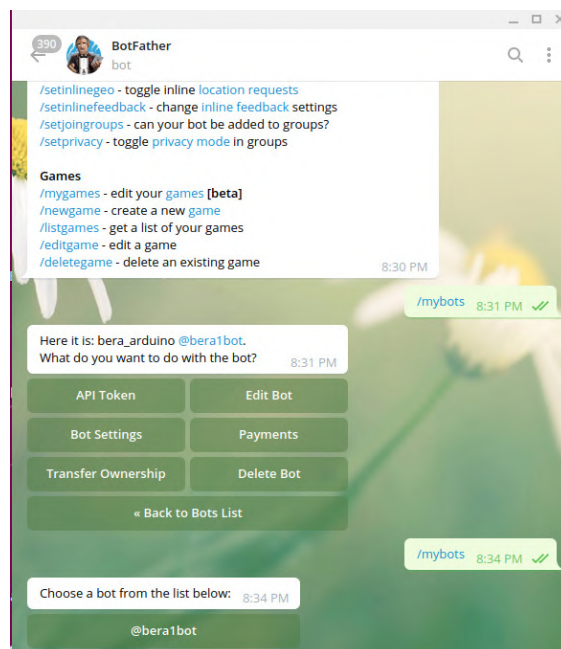


Figure 4. Utilisez la commande `/mybots` pour accéder à la liste de tous vos chatbots.

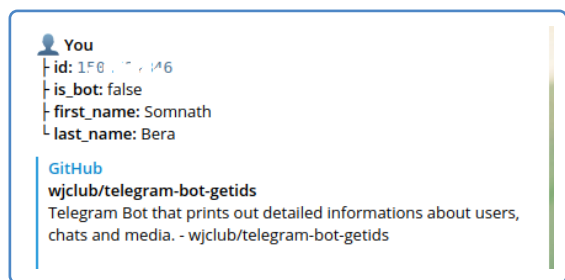


Figure 5. L'identifiant de chat est obtenu en envoyant un message à un chatbot d'identifiant de chat. Il y en a plusieurs, celui-ci est @GetIDsBot.

## Créer un chatbot Telegram

Pour commencer, si vous ne l'avez pas déjà fait, vous devez installer l'application Telegram sur votre téléphone portable, votre tablette ou tout autre appareil de votre choix. Vous pouvez facilement obtenir l'application gratuite sur Google Play Store, App Store, etc.

Après avoir installé l'application Telegram et configuré votre compte, vous devez créer un canal qui communiquera ensuite avec votre ou vos cartes ESP32. Pour ce faire, recherchez dans l'application le chatbot « BotFather ». Lorsque vous ouvrez BotFather, vous verrez un bouton « Start » ou « Restart ». Cliquez dessus pour ouvrir une liste de commandes et leurs applications. Ensuite, appuyez ou cliquez sur la commande `/newbot` et entrez un nom pour votre chatbot. J'ai utilisé `bera_arduino`. Vous devez ensuite définir le nom d'utilisateur. Lors de cette étape, vous devez garder à l'esprit qu'il doit être unique et qu'il doit se terminer par « bot », par exemple `bera1bot`. Dès que vous aurez défini le nom d'utilisateur, votre chatbot sera créé et vous verrez apparaître un jeton API (figure 3). Enregistrez-le quelque part, car il est nécessaire au programme ESP32.

Au fait, vous pouvez également obtenir le jeton API en saisissant la commande `/mybots`. Sélectionnez le chatbot pour lequel vous avez besoin du jeton (figure 4) et appuyez API Token.

La dernière chose requise pour commencer est votre ID de chat. Pour l'obtenir, recherchez un chatbot nommé `@GetIDsBot` ou

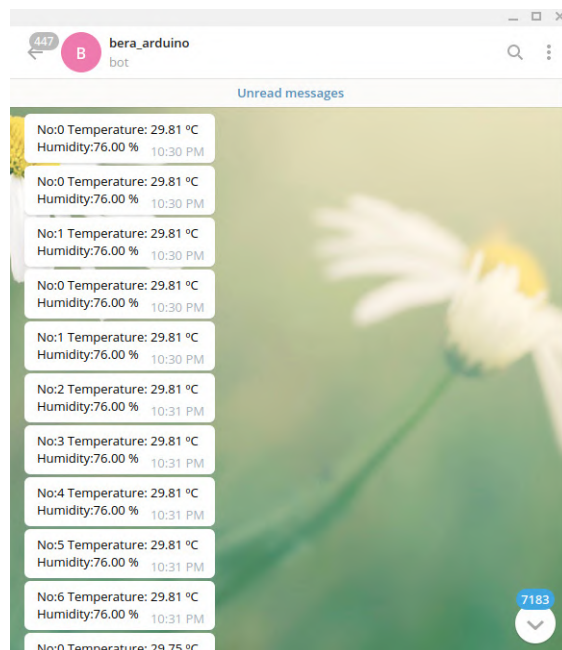


Figure 6. Et c'est parti ! Notez que l'humidité dans ces messages n'est qu'une valeur codée en dur dans le logiciel. Mon chatbot n'a pas de capteur d'humidité.

`@myidbot` (IDBot) et envoyez-lui un message. N'importe quel message fera l'affaire. En réponse, il imprimera sur votre canal des données qui incluent l'ID (figure 5). Notez-le quelque part, car il est nécessaire au programme ESP32.

Vous êtes maintenant prêt avec toutes les informations d'identification pour exécuter votre chatbot dans Telegram.

## Logiciel


Téléchargez l'exemple de programme à partir de [1] et entrez votre jeton API (BOTtoken) et votre ID de chat (CHAT\_ID). Renseignez également vos identifiants réseau. Notez que le programme prend en charge plusieurs connexions réseau wifi. Si l'une échoue,





d'autres seront essayés automatiquement par l'ESP32. De plus, si la connexion se bloque ou ne parvient pas à transférer des données vers Telegram, l'ESP32 redémarrera avec une autre connexion. La majeure partie du travail est effectuée par la bibliothèque *UniversalTelegramBot*, écrite par Brian Lough [2]. JSON est requis pour cela, donc vous devez installer la bibliothèque *ArduinoJson*. Les deux bibliothèques sont disponibles à partir du gestionnaire de bibliothèques de l'IDE Arduino. J'ai également fourni la possibilité de faire fonctionner le logiciel sur la carte ESP8266.

## Conséquences

Avec ma connexion Internet fibre à domicile, j'obtiens 12 relevés par minute (c'est-à-dire une lecture toutes les cinq secondes), ce qui est extrêmement bon. Si le réseau est lent, le nombre d'envois sera réduit. Maintenant, je souhaite que Telegram dispose également d'un enregistrement de tendance comme celui fourni par ThingSpeak. 

210381-04

## Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



## PRODUITS

- Joy-IT NodeMCU ESP32 Development Board (SKU 19973)  
[www.elektor.fr/19973](http://www.elektor.fr/19973)
- Elektor Ultimate Sensor Kit (SKU 19104)  
[www.elektor.fr/19104](http://www.elektor.fr/19104)

## LIENS

[1] Ce projet sur Elektor Labs: [www.elektormagazine.fr/labs/publish-by-telegram](http://www.elektormagazine.fr/labs/publish-by-telegram)

[2] Bibliothèque Universal Telegram Bot: <https://github.com/witnessmenow/Universal-Arduino-Telegram-Bot>

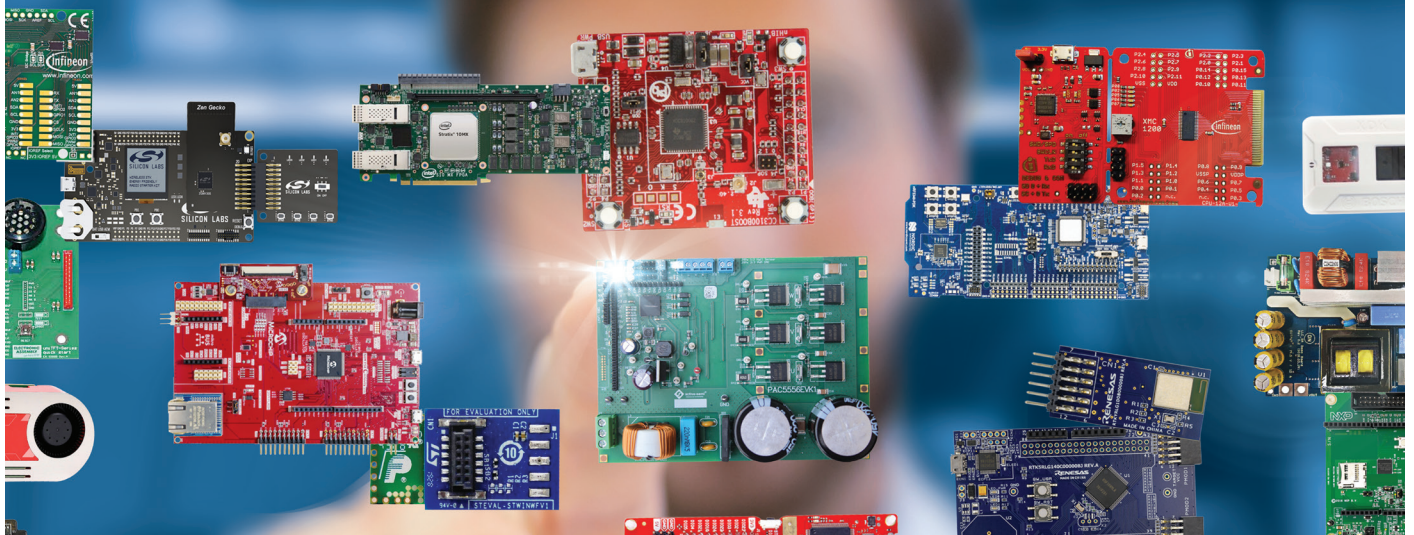
Publicité

# De nombreux outils de développement en un seul endroit

Provenant de centaines de fabricants fiables



Choisissez parmi une vaste sélection de produits sur [mouser.fr/dev-tools](http://mouser.fr/dev-tools)





# filtre coupe-bande de Fliege pour les mesures audio

faites de meilleures mesures avec un filtre coupe-bande

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

Lors de la mesure des caractéristiques clés d'un circuit audio, pour certains paramètres, il est très souhaitable de supprimer le signal de test de la sortie du circuit avant d'envoyer le signal de sortie à l'entrée de l'équipement de test. C'est exactement le sujet de cet article.

Comme mentionné précédemment dans l'article « Testeur audio bon marché » [1] d'Elektor 07-08/2022, les interfaces audio USB qui peuvent être utilisées avec un logiciel adapté pour mettre en place une station de test audio présentent un défaut majeur : elles ne disposent pas d'un filtre coupe-bande commutable sur l'entrée pour supprimer la composante de fréquence de test dans le signal de sortie de l'appareil audio testé. Mais pourquoi un filtre coupe-bande est-il si nécessaire ?

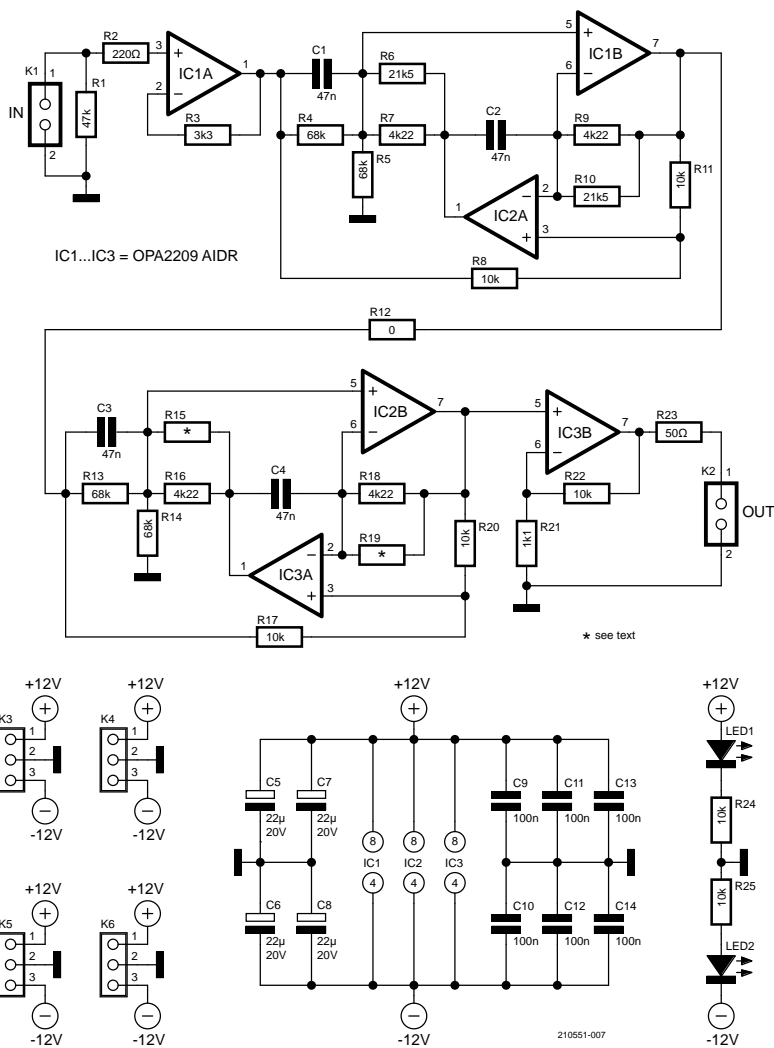
## Optimiser avec un filtre coupe-bande

La façon la plus simple d'illustrer l'importance d'un filtre coupe-bande est de considérer une configuration de test (comme décrit dans l'article mentionné ci-dessus) destinée à mesurer la qualité de l'interface audio elle-même. Si vous connectez l'entrée et la sortie de l'interface (loopback) et générez un signal de test typique - généralement un signal sinusoïdal avec une fréquence de 1 kHz - vous pouvez visualiser les harmoniques dans le spectre de fréquences résultant. Malheureusement, avec cette disposition, il n'est pas possible de faire la distinction entre les harmoniques déjà présentes

dans le signal du générateur et les harmoniques ajoutées par l'équipement de test (par exemple, dans son étage de conversion A/N). Avec des niveaux d'harmoniques relativement élevés, comme ceux d'un étage de sortie audio utilisé au maximum, ce n'est pas vraiment un problème car il est clair que la majeure partie des harmoniques provient du circuit testé, et non du générateur de signaux ou de l'équipement de test. Cependant, lorsque vous voulez mesurer les caractéristiques de distorsion d'un bon préampli audio, les choses sont plus difficiles car la distorsion du dispositif testé a à peu près la même amplitude que celle de l'équipement de test.

Pour résoudre ce problème, l'équipement de test audio professionnel dispose d'un filtre coupe-bande avant l'étage d'entrée. Ce filtre atténue fortement l'amplitude du signal de test (c'est-à-dire sa fondamentale). La suppression de la fréquence du signal de test de la sortie de l'appareil testé élimine le problème de génération d'harmoniques par le circuit de traitement du signal dans l'équipement de test puisque ce dernier ne voit que les artefacts de signal ajoutés par l'appareil testé. Le niveau de ces artefacts est bien inférieur au niveau de la fondamentale du signal de test. Un filtre coupe-bande offre également un autre avantage important : une forte atténuation de la fréquence fondamentale du signal de test permet d'augmenter considérablement la sensibilité ou le gain de l'équipement de test, de sorte que les harmoniques de très faible amplitude et les composantes de distorsion, qui autrement ne seraient pas visibles (en raison de la résolution limitée du CA/N, par exemple), peuvent être mesurées. Si vous augmentez la sensibilité de l'équipement de test d'un facteur 10 avec le signal filtré et que le rapport signal/bruit de l'équipement de test est légèrement inférieur à 90 dB (typique pour un CA/N 16 bits), vous pouvez facilement mesurer les harmoniques et le bruit jusqu'à -110 dB. Pas mal, en fait.

Les filtres coupe-bande intégrés dans les équipements de test audio professionnels sont commutables, ce qui signifie qu'il est possible



sous n'a pas de fréquence réglable. En revanche, il possède une fonction supplémentaire indispensable pour une utilisation avec des interfaces audio USB, dont la plupart ne disposent pas de réglages de gain étalonnés : le signal de sortie est amplifié en interne d'un facteur 10 (20 dB). Cela facilite la mesure des composants de distortion faible.

### Circuit de filtrage

À ma connaissance, il existe deux formes d'implémentation adaptées à cet effet : le filtre coupe-bande de Fliege et le filtre à variable d'état. J'ai opté pour la version Fliege en raison de ses caractéristiques, et j'en ai branché deux en série pour obtenir une atténuation suffisante.

La **figure 1** montre le circuit complet. L'ampli op IC1A sert de tampon au signal d'entrée, de sorte que le premier étage du filtre Fliege construit avec IC1B et IC2A est piloté par une source à faible impédance avec des conditions de signal définies. La sortie du premier étage du filtre est alimentée à travers la résistance R12 de 0 Ω (voir plus loin) vers le deuxième étage de filtre, qui a les mêmes valeurs de composants. IC3B amplifie le signal filtré de 20 dB. Si cela n'est pas souhaité, il est possible de réduire le gain à 1 en omettant R21 et en réduisant la valeur de R22 à 3,3 kΩ.

### Calcul et réglage

Pour faciliter les calculs, des instructions et un logiciel [2] sont disponibles en ligne. Le facteur

Q du filtre doit être réglé à 10 pour éviter une atténuation excessive de la deuxième harmonique. Un facteur Q plus élevé rendrait plus difficile la détermination des bonnes valeurs de composants, car la largeur de bande de gain limitée des ampli op devrait également être prise en compte. Dans tous les cas, le facteur Q est boosté par la mise en série des deux étages de filtrage.

Les résistances R4 et R5 avec R6 et R7 en parallèle (ou dans le deuxième étage de filtre R13 et R14 avec R15 et R16 en parallèle) déterminent le facteur Q du filtre. La formule pour déterminer le Q du premier étage est :

$$Q = R_4 / (2 \times R_6 || R_7)$$

sous la condition que  $R_4 = R_5$  pour que le gain soit de 1. Le Q est proche de 10, car la valeur de  $R_6 || R_7$  est d'environ 3,5 kΩ.

Les condensateurs C1 et C2, ainsi que  $R_6 || R_7$  et  $R_9 || R_{10}$ , ont les mêmes valeurs et déterminent la fréquence coupe-bande selon la formule :

$$f = 1 / (2 \pi RC)$$

de régler la fréquence coupe-bande. Ces filtres sont généralement conçus de manière à ce que leur fréquence de filtrage suive automatiquement la fréquence du générateur, ce qui permet d'effectuer facilement des mesures sensibles à différentes fréquences. Comme on pouvait s'y attendre, de tels circuits de filtrage sont complexes et coûteux.

### Exigences et limites

Un filtre coupe-bande adapté aux mesures audio devrait idéalement atténuer au maximum le signal de test (en pratique, de plus de 50 dB) tout en laissant passer les harmoniques sans les modifier. Puisque même la deuxième harmonique ne doit pas être significativement atténuée et qu'elle n'est que le double de la fréquence du signal de test, le filtre coupe-bande doit avoir un facteur Q élevé. Et, bien sûr, le circuit de filtrage doit être conçu de manière à ne pas générer ses propres harmoniques ou tout autre bruit significatif. Cela signifie que vous avez besoin de très bons amplificateurs opérationnels pour construire ce type de filtre, mais pour le moment, ils sont difficiles à trouver.

Pour maintenir le coût et la complexité d'un filtre coupe-bande fait maison dans des limites raisonnables, le filtre décrit ci-des-

Figure 1. Le circuit du filtre coupe-bande n'a besoin que de trois ampli op (de haute qualité).

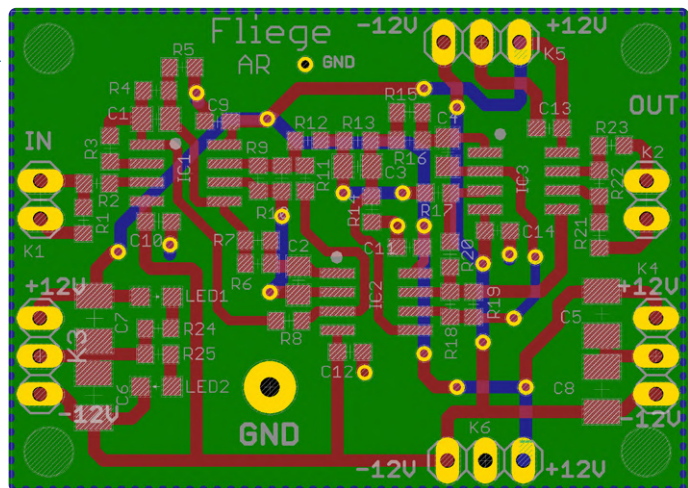


Figure 2. Le circuit imprimé est conçu pour les CMS, mais ils sont suffisamment grands pour permettre le soudage manuel.

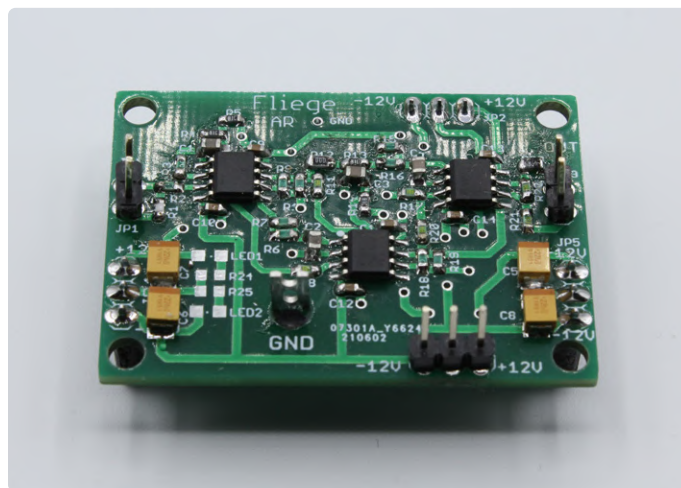


Figure 3. Prototype du filtre assemblé par l'auteur.

Les résistances R8 et R11 ont également la même valeur. Le deuxième étage de filtrage a la même disposition que le premier. Les condensateurs C1 à C4 doivent avoir autant que possible la même valeur, pour cela vous devez les mesurer à l'aide d'un appareil de mesure LCR approprié. Si la valeur réelle diffère de la valeur calculée, la fréquence coupe-bande peut être affinée à l'aide des résistances parallèles R6 et R10 ou R15 et R19.

De plus, les deux étages de filtrage doivent non seulement être réglés sur la fréquence du signal de test, mais avoir aussi autant que possible la même fréquence de coupure. C'est là que R12 est utile : vous pouvez la retirer temporairement (ou ne pas la monter dans un premier temps) pour permettre aux deux étages de filtrage d'être réglés indépendamment.

Ensuite, prélevez et mesurez le signal à la sortie de IC1B du premier étage. Le premier étage de filtrage peut être réglé sur la fréquence souhaitée avec R6 et R10. Une fois que les bonnes valeurs de résistance ont été déterminées par expérimentation, elles peuvent être ajustées.

Ensuite, le deuxième étage de filtrage doit être réglé. Pour cela, connectez son entrée (la jonction de C3, R12 et R13) temporairement à la sortie de IC1A et réglez la fréquence du filtrage avec des valeurs appropriées pour R15 et R19. Une fois que les fréquences coupe-bande sont suffisamment adaptées, vous pouvez retirer cette

connexion et ajouter R12. Les fréquences coupe-bande ne doivent pas nécessairement correspondre parfaitement.

Vous pouvez effectuer le réglage fin final avec les résistances R15 et R19 à l'aide d'un voltmètre audio en variant légèrement la fréquence du générateur. Une atténuation élevée de la fréquence cible est le signe d'un facteur Q global élevé et indique une bonne correspondance globale des fréquences coupe-bande des deux étages de filtre. Lorsque tout est satisfaisant, montez les résistances R15 et R19.

### Qualité des circuits imprimés et des filtres

La **figure 2** montre la disposition du circuit imprimé. Les fichiers Eagle peuvent être téléchargés gratuitement à partir de la page Web d'Elektor de cet article [4]. La **figure 3** montre ma carte entièrement assemblée. Des plots de connexion pour les tensions d'alimentation 12 V sont prévus sur les quatre côtés. Cela permet de connecter facilement des cartes de filtrage en série ou de brancher un filtre sur une carte appropriée avec des régulateurs de tension pour former un sandwich de cartes comme indiqué sur la **figure 4**. D'ailleurs, la carte de filtrage et la carte d'alimentation combinées s'intègrent exactement dans un boîtier en aluminium Hammond de type 1550Q, comme illustré à la **figure 5**. La superposition des composants sur le circuit imprimé a été omise par souci de simpli-



## LISTE DES COMPOSANTS

### Résistances (CMS 0603, 1 %)

R1 = 47 k $\Omega$   
 R2 = 220  $\Omega$   
 R3 = 3,3 k $\Omega$   
 R4,R5,R13,R14 = 68 k $\Omega$   
 R6,R10 = 21,5 k $\Omega$   
 R7,R9,R16,R18 = 4,22 k $\Omega$   
 R8,R11,R17,R20,R22,R24,R25 = 10 k $\Omega$   
 R12 = 0  $\Omega$   
 R15,R19 = voir texte  
 R21 = 1,1 k $\Omega$   
 R23 = 50  $\Omega$

### Condensateurs

C1,C2,C3,C4 = 47 nF, CMS 0805  
 C5,C6,C7,C8 = 22  $\mu$ F, 20 V, électrolytiques, SMC-B  
 C9,C10,C11,C12,C13,C14 = 100 nF, CMS 0603

### Semi-conducteurs

LED1 = LED, rouge, CMS 0805  
 LED2 = LED, verte, CMS 0805  
 IC1...IC3 = OPA2209 AIDR, SO08

### Autres

K1,K2 = connecteur à 2 broches, pas de 0,1 pouce  
 K3...K6 = connecteur à 2 broches, pas de 0,1 pouce  
 Circuit imprimé\*  
 Circuit imprimé d'alimentation\*  
 Boîtier en aluminium Hammond 1550Q

\* Voir texte



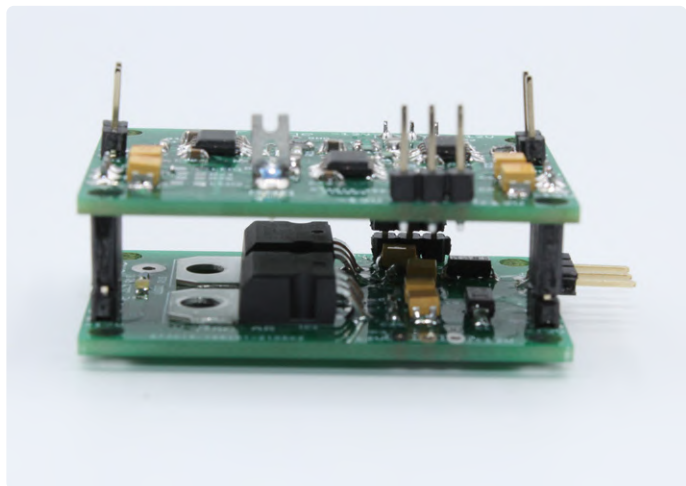


Figure 4. La carte du filtre branchée sur une carte de même taille équipée de régulateurs de tension.



Figure 5. Le « sandwich » de circuits imprimés installé dans un boîtier en aluminium.

cité, mais les fichiers de configuration des circuits et des cartes au format Eagle peuvent également être téléchargés à partir de [4]. Il me reste encore quelques cartes nues, donc si ça vous intéresse vous pouvez me contacter par email (voir encadré). L'archive liée contient les fichiers de tous les circuits, y compris une version B de la carte d'alimentation que je n'ai pas encore testée. La **figure 6** montre la réponse en fréquence du filtre coupe-bande

avec la fréquence centrale habituelle de 1 kHz. L'atténuation de près de 70 dB à 1 kHz est assez bonne pour l'usage prévu. J'ai généré un tracé du spectre (**figure 7**) avec un Audio Precision APx555 afin de vérifier la distorsion et la génération d'harmoniques du filtre coupe-bande. Compte tenu du coût et de l'effort, le résultat - avec un SNR de plus de 90 dB - est très respectable.

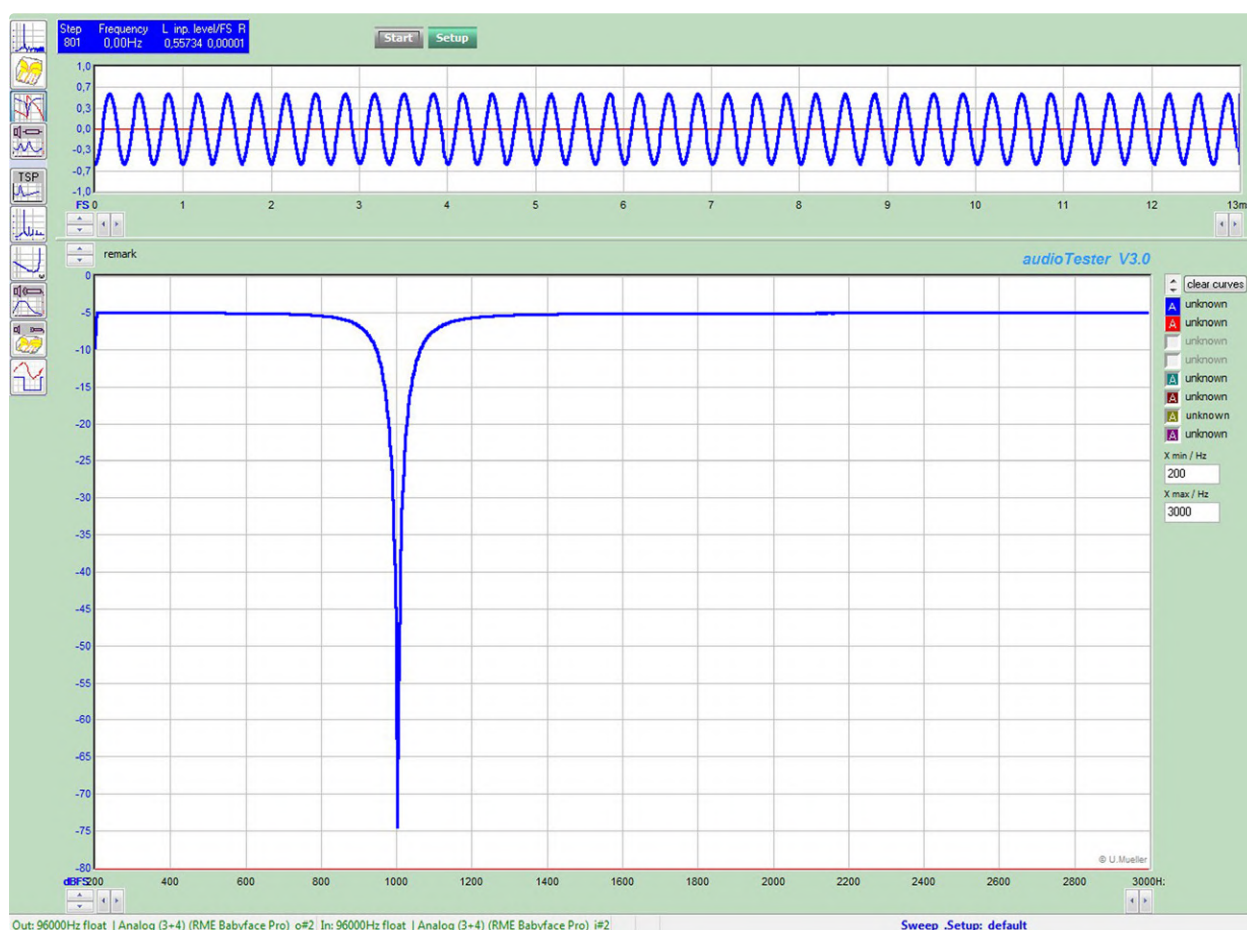


Figure 6. Réponse en fréquence du double filtre coupe-bande de Fliege. L'atténuation à la fréquence du signal de test est de près de 70 dB, ce qui est vraiment bon.

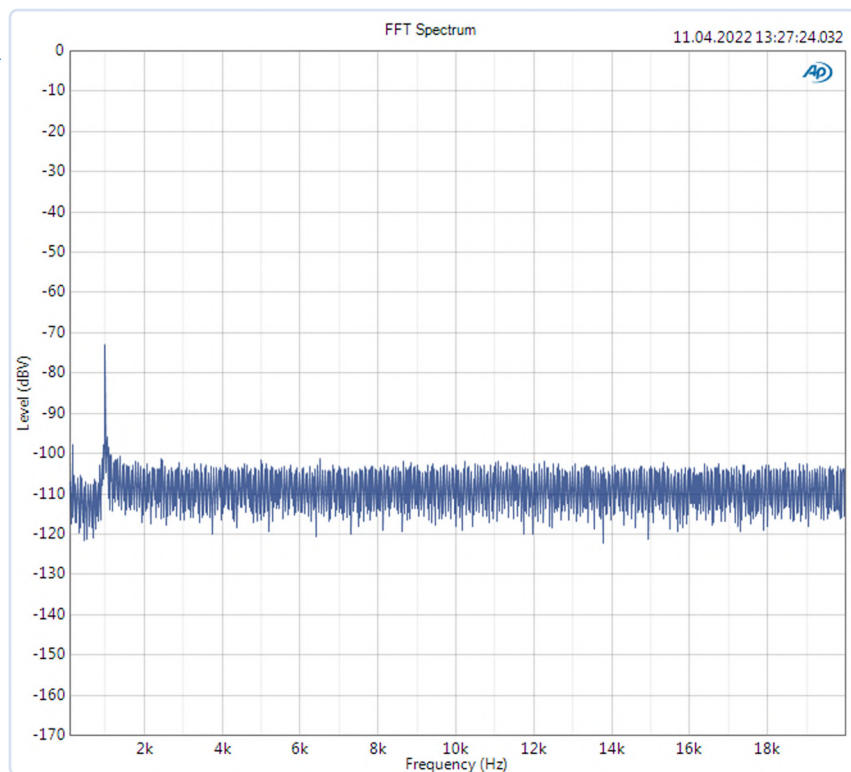


Figure 7. Tracé du spectre du filtre coupe-bande. Ses harmoniques sont enfouies dans le bruit de fond à -100 dB.

## Utilisation

Pour établir un point de départ, vous devez d'abord utiliser un atténuateur commutable pour régler le niveau du signal à mesurer (sans le filtre coupe-bande) sur une plage de travail utilisable d'environ -5 à -10 dBFS (décibel par rapport à la pleine échelle) de l'équipement de test audio ou de l'interface audio USB concernée et notez ce niveau. Connectez ensuite le filtre coupe-bande en avant de l'entrée instrument. Ajustez légèrement la fréquence du générateur pour minimiser le niveau de la fondamentale de ce signal tel qu'enregistré par l'instrument ou l'interface audio. Ensuite, mesurez les niveaux des harmoniques. Le gain de IC3B doit être soustrait des niveaux d'harmoniques mesurés dans ce spectre. Par exemple, avec un gain de dix, une valeur mesurée de -80 dB devient -100 dB. Si l'instrument ou l'interface audio dispose d'un réglage de gain étalonné ou étalonnable, vous pouvez encore augmenter le gain global à des fins spécifiques afin de mesurer des niveaux de signal extrêmement bas.

Pour être sûr d'effectuer des mesures significatives avec le filtre coupe-bande, vous devez garder à l'esprit que de bonnes mesures ne sont possibles que si le signal du générateur présente la distortion et le bruit les plus faibles possibles. Dans certains cas, il est nécessaire de connecter un filtre passe-bas à bande étroite après le générateur afin d'obtenir un très bon signal de test. ◀

210551-04

## À propos de l'auteur

Alfred Rosenkränzer a travaillé pendant de nombreuses années en tant qu'ingénieur de développement. Depuis la fin des années 1990, il développe des circuits numériques et analogiques à grande vitesse pour les testeurs de circuits intégrés. L'audio est son passe-temps personnel.

## Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ([alfred\\_rosenkraenzer@gmx.de](mailto:alfred_rosenkraenzer@gmx.de)), ou contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



## PRODUITS

- > **Joy-IT JDS2915 Signal-Generator (15 MHz)**  
[www.elektor.fr/19169](http://www.elektor.fr/19169)
- > **Elektor Audio Collection (USB Stick)**  
[www.elektor.fr/19892](http://www.elektor.fr/19892)
- > **D. Self, Small Signal Audio Design (2nd Edition)**  
[www.elektor.fr/18046](http://www.elektor.fr/18046)

## LIENS

- [1] A. Rosenkränzer, « testeur audio bon marché », Elektor 7-8/2022: [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-267/60598](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-267/60598)
- [2] Calculateur de filtre coupe-bande 1: <https://earmark.net/gesr/opamp/notch.htm>
- [3] Calculateur de filtre coupe-bande 2: <https://tinyurl.com/yc2wj73v>
- [4] Fichiers de disposition du circuit imprimé: [www.elektormagazine.fr/210551-04](http://www.elektormagazine.fr/210551-04)

# démontage d'un compteur de CO<sub>2</sub>

Peut-on le détourner pour ses projets ?

Luc Lemmens (Elektor)

La mesure de la qualité de l'air est aujourd'hui un sujet à la mode en électronique et, à en juger par le nombre de projets sur le CO<sub>2</sub> proposés pour publication à Elektor, les compteurs de CO<sub>2</sub> sont l'un des thèmes favoris des amateurs et autres *makers*. Mais il y a aussi dans le commerce des compteurs de CO<sub>2</sub> abordables, dans de jolis boîtiers avec un écran LCD graphique en couleur. Que contiennent-ils et peut-on utiliser ces appareils ou leurs composants pour nos propres projets ? Pour le savoir, il faut en acheter un, l'ouvrir et faire de la rétro-ingénierie !



Un appareil vendu sur Amazon sous le nom de « ETE ETEMATE CO<sub>2</sub> meter » a attiré notre attention. En plus de la concentration de CO<sub>2</sub>, il mesure et affiche aussi la température et l'humidité relative. On trouve le même sur AliExpress (sans nom de marque), ainsi que d'autres modèles dans un boîtier légèrement différent, ou avec plus ou moins d'indications sur l'écran. Cela sous-entend qu'il existe une plateforme standard pour toute une série d'appareils de mesure qui dépendent du logiciel sur la carte du processeur et – bien sûr – des capteurs qui y sont connectés. Le compteur est arrivé dans une boîte en carton blanche contenant l'appareil lui-même, un court câble de charge micro-USB et une notice d'utilisation multilingue. Ni l'étiquette de la boîte, ni les instructions ne

rèvelent la moindre information sur la marque ou le fabricant d'origine. L'appareil contient une batterie rechargeable au lithium de 1200 mAh, qui était apparemment complètement déchargée : le compteur ne s'est pas allumé lorsqu'on a appuyé sur le bouton d'alimentation. Après connexion d'un chargeur micro-USB, un symbole de charge est apparu sur l'écran LCD, puis la concentration de CO<sub>2</sub>, la température et l'humidité relative se sont affichées. J'ai été un peu surpris de voir qu'il affichait 25 °C pour la température ambiante (et j'étais sûr qu'il faisait plus froid !), mais à ce moment, je n'y ai pas prêté plus d'attention. Après tout, la batterie était complètement vide et la plupart de ces instruments ont besoin d'un certain temps de rodage pour afficher



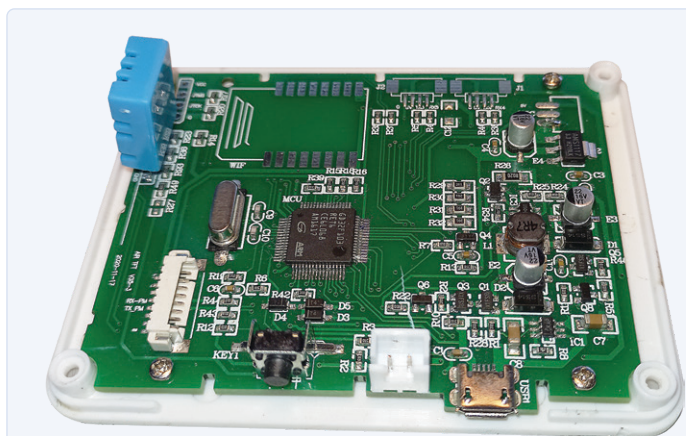


Figure 1. Vue d'ensemble du circuit imprimé principal.

des mesures précises. J'ai décidé de le laisser en charge toute la nuit. Le lendemain, je voyais toujours le joli graphique LCD indiquant une concentration de CO<sub>2</sub> légèrement fluctuante, mais une humidité relative de 60% et (toujours !) 25 °C. Cela s'annonçait mal... J'ai débranché le câble de charge, pensant que la batterie était complètement chargée, mais l'écran est devenu complètement noir. Cette fois-ci, rebrancher le chargeur n'a pas aidé, pas moyen de rallumer cette chose.

Normalement, c'est le moment de renvoyer l'article au fournisseur et de demander un remplacement ou un remboursement. Mais là, le délai pour rédiger le récit de ce démontage est court et pour cet objectif, un compteur de CO<sub>2</sub> en état de marche n'est pas vraiment nécessaire. Après tout, nous voulons juste connaître le contenu du boîtier. Et pour être honnête : ne serait-il pas réjouissant de (peut-être) réparer un appareil qui, sinon, serait condamné à atterrir sur l'un des gigantesques tas de déchets électroniques que nous produisons et que nous brûlons au sens propre du terme ? Même si je n'arrive pas à le réparer, il aura au moins servi de support pédagogique pour cet article.

## Ouverture

L'arrière du boîtier en plastique est fait d'une seule pièce, l'écran est attaché au couvercle, lui-même fixé au boîtier d'une certaine manière. (Fixé par des vis ou des languettes ? Collé ?) Retirer le couvercle peut s'avérer difficile : les écrans peuvent être très fragiles et se briser facilement si on force trop. J'ai d'abord utilisé mon fidèle couteau suisse pour faire levier entre le côté du couvercle de l'écran et le boîtier ; une fine feuille de plastique recouvrant l'écran et le couvercle était apparemment facile à retirer et surprise : quatre petites vis Phillips sont apparues. La bonne nouvelle est donc que l'appareil peut être ouvert et fermé sans aucun dommage !

L'écran LCD et un circuit imprimé avec la plupart des composants électroniques sont fixés sur le couvercle, seuls la batterie et le capteur de CO<sub>2</sub> sont montés à l'arrière du boîtier.

## Capteur de température/humidité

La plupart des composants du circuit imprimé principal (**fig. 1**) sont facilement identifiables, le plus remarquable étant le capteur de température et d'humidité relative DHT-11 en plastique bleu [1]. Ce n'est assurément pas le capteur le plus précis, mais il fait l'affaire pour un appareil grand public relativement simple comme ce compteur de CO<sub>2</sub> ; il est abordable et largement disponible.

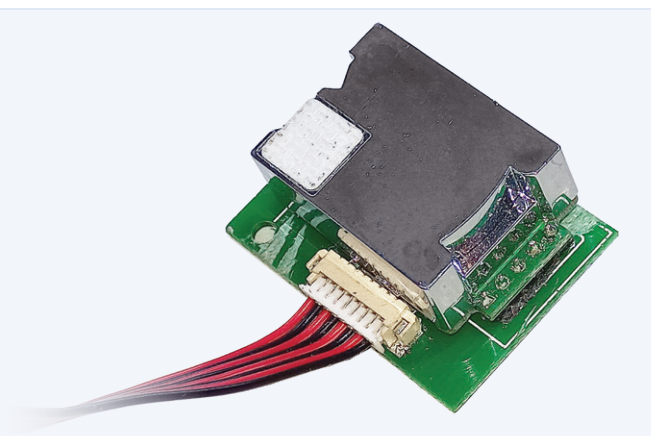


Figure 2. Le capteur de CO<sub>2</sub> - un clone du MH-Z19 ?

## Le microcontrôleur

C'est probablement le composant le plus important à étudier. S'il s'avère difficile, voire impossible de développer et programmer un nouveau micrologiciel, on peut tout simplement oublier d'utiliser cet appareil pour de nouveaux projets. Heureusement, ce ne sera pas un problème : dans ce compteur, un microcontrôleur GD32F103-RET6 [2] (une UC ARM Cortex M3 à 32 bits de GigaDevice Semiconductor Inc.) traite les mesures des capteurs et les affiche sur l'écran TFT. Le circuit imprimé comporte une empreinte TH à 4 broches pour l'interface de débogage/ programmation SWD marquée SWD1, à côté du capteur de température/humidité. Le GD32F103 est compatible avec les microcontrôleurs STM32 PLCC à 64 broches, donc si vous préférez ces derniers et même si vous n'avez pas de station de soudage pour CMS, vous pouvez remplacer cette UC en utilisant un petit fer à souder ordinaire.

## Alimentation et chargeur

Le circuit d'alimentation et de charge des batteries au lithium occupe environ un tiers du circuit imprimé. Certes c'est bien de l'avoir, mais pas d'une réelle importance pour de nouveaux projets personnels. La mauvaise nouvelle concernant cette section est qu'il y a quelques circuits intégrés CMS que je n'ai pas pu identifier. À la suite des premières mesures sur le circuit, il semble qu'il soit mis sous tension lorsqu'on appuie sur le bouton d'alimentation et qu'une sortie de l'UC le maintienne en vie une fois que l'appareil a réussi à démarrer. Cela expliquerait également que le manuel indique qu'il faut appuyer sur le bouton pendant environ trois secondes pour allumer le compteur de CO<sub>2</sub>, ce qui suggère qu'il existe une interaction ou une rétroaction entre le microcontrôleur et le circuit d'alimentation. Il se pourrait, par exemple, que la tension de la pile au lithium soit mesurée (protection contre les décharges profondes) ou que la présence et le fonctionnement des capteurs et/ou de l'affichage soient vérifiés avant que le compteur ne reste allumé. Difficile à dire sans savoir ce que fait exactement le micrologiciel, ou sans connaissance exacte du circuit d'alimentation.

## Le capteur de CO<sub>2</sub>

Un compteur de CO<sub>2</sub> a bien sûr besoin d'un capteur de CO<sub>2</sub>. Tout comme pour le compteur lui-même, on ne trouve pas de numéro de type ou de marque sur ce module (**fig. 2**). En regardant les photos d'autres capteurs sur l'internet, c'est au MH-Z19 [3] de Winsen Electronics Technology qu'il ressemble le plus, mais ce n'est certainement

pas la même chose. La face inférieure du capteur inconnu est recouverte d'une carte d'extension qui achemine ses deux connecteurs à broches SIL vers un connecteur pour le câblage du circuit imprimé principal. En retirant ce petit circuit imprimé, on constate que seuls l'alimentation et les signaux Rx/Tx sont acheminés, le brochage est identique à celui du MH-Z19. Il y a également une sortie MLI, il est donc très probable qu'il s'agisse d'un clone du capteur de CO<sub>2</sub> bien connu de Winsen.

## LCD

Reste une partie très importante : l'écran. Le circuit imprimé principal est monté sur le couvercle du boîtier à l'aide de quatre vis et l'écran est fixé à ce circuit imprimé avec du ruban adhésif double face. Faites attention lorsque vous le démontez ; l'écran et la carte du processeur sont reliés par un câble flexible qui peut facilement être endommagé et qui est difficile (voire impossible) à remplacer. Heureusement, il n'y aura pratiquement aucune raison de le démonter. Nous l'avons fait pour vous afin de savoir de quel type d'écran il s'agit : le marquage « CL028-04 » sur le câble flexible indique un écran TFT de 2,4 pouces, 240 × 320 pixels, qui est un écran LCD à port parallèle, à 37 broches, compatible ILI9341 [4].

## Non montés...

Et puis il y a quelques empreintes vides pour des composants sur le circuit imprimé principal, sans doute pour d'autres applications ou de futurs développements. Tout d'abord, il y a une empreinte marquée WIFI, sûrement réservée à un module ESP12 (à base d'ESP8266) (voir **fig. 3**). Sur cette empreinte, seuls VCC, GND, RxD et TxD sont acheminés, ce qui est suffisant pour ajouter une interface Wi-Fi rudimentaire à la carte.

Enfin, il y a deux empreintes vides marquées J1 et J2, vraisemblablement pour des connecteurs mini-USB, et un connecteur d'alimentation à 3 broches. Ceux-ci peuvent toujours servir pour ajouter du matériel supplémentaire.

## Sans garantie

Ainsi que mentionné précédemment, cet appareil est vendu partout sur le web, sous différentes marques, dans différents boîtiers et pour des prix allant d'environ 20 à 80 €. Dans le bas de cette fourchette de prix, vous en aurez certainement pour votre argent, avec une MCU ARM Cortex M3 à 32 bits, un LCD graphique couleur, deux capteurs et une batterie au lithium avec circuit de charge alimenté par micro-USB. Le boîtier peut être réutilisé, et il reste suffisamment d'espace à l'intérieur pour du matériel supplémentaire. Il y a quelques pattes (E/S) sur des empreintes vides, donc même si les capteurs restent connectés, il y a quelques E/S de rechange accessibles. Mais bien sûr cela demande plus de rétro-ingénierie. Il faudrait un schéma complet pour faire vos propres applications avec ce matériel.

Et recevrez-vous exactement le même matériel si vous achetez un compteur de CO<sub>2</sub> qui ressemble à celui dont j'ai parlé ici ? Très probablement, mais malheureusement, je ne peux pas le garantir ! ❗

210180-04

## Contributeurs

Texte et illustrations : Luc Lemmens

Rédaction : Jens Nickel, C.J. Abate

Mise en page : Giel Dols

Traduction : Denis Lafourcade

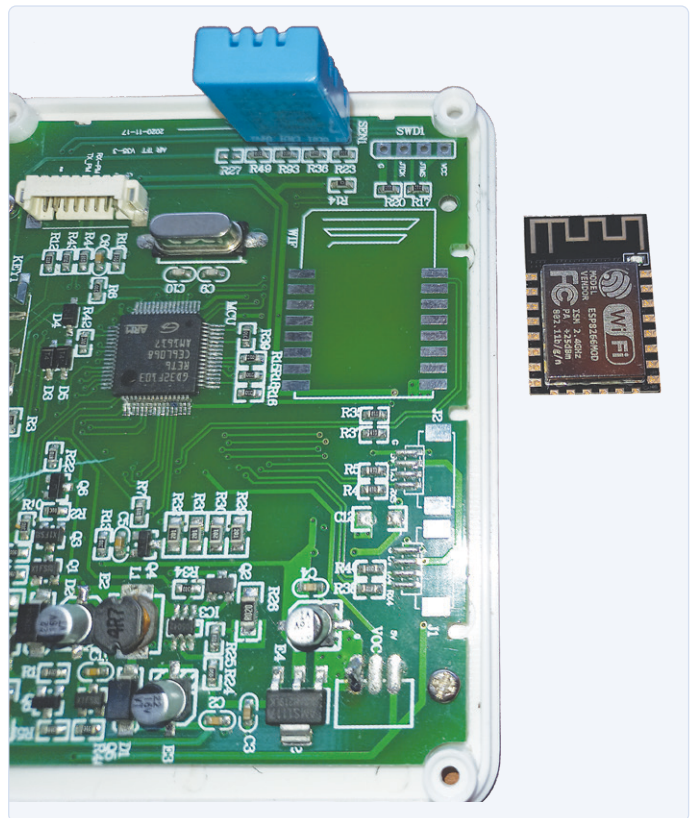


Figure 3. Un module ESP12F est un candidat très probable pour WIFI.

## Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ([luc.lemmens@elektor.com](mailto:luc.lemmens@elektor.com)) ou contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



## PRODUITS

- Livre en anglais « The Ultimate Compendium of Sensor Projects », D. Ibrahim, Elektor 2019  
[www.elektor.fr/19103](http://www.elektor.fr/19103)
- Livre en anglais « Advanced Programming with STM32 Microcontrollers », M. Pakdel, Elektor 2020  
[www.elektor.fr/19520](http://www.elektor.fr/19520)

## LIENS

- [1] Capteur de température et d'humidité relative DHT-11 : <https://bit.ly/3jLfUPp>
- [2] Fiche technique du GD32F103-RET6 : <https://bit.ly/3hiMF4M>
- [3] Capteur de CO<sub>2</sub> MH-Z19 : <https://bit.ly/3wf1B8g>
- [4] Pilote de LCD ILI9341 : <https://bit.ly/3dNbOm0>

## Tout mis ensemble

### Le transistor unijonction programmable expliqué

Roel Arits (Pays-Bas)

Connaissez-vous (ou peut-être vous en souvenez-vous) le transistor unijonction programmable (PUT) ? C'était un composant particulier des années 70. Dans cet article, nous allons expliquer son mode de fonctionnement et le faire revivre dans une petite collection de circuits.

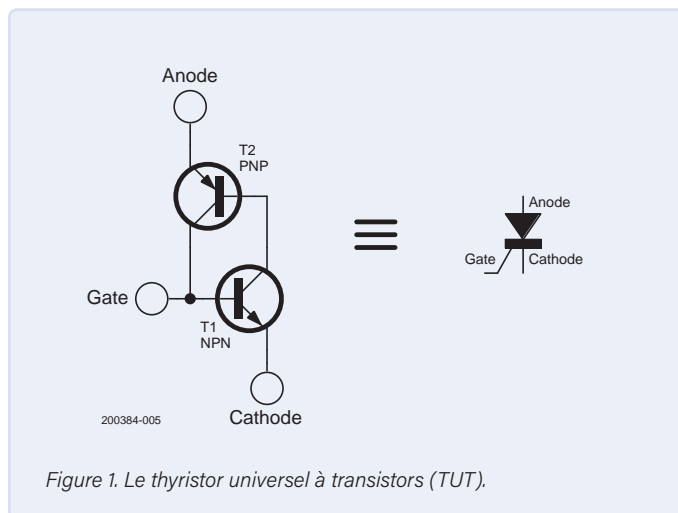


Figure 1. Le thyristor universel à transistors (TUT).

#### Bienvenue au PUT !

Retournons dans le monde de l'électronique analogique à l'ancienne et voyons ce qu'on peut réaliser d'intéressant avec une simple combinaison de transistors (**fig. 1**). Ces deux transistors complémentaires ont un comportement de verrouillage mutuel bistable similaire à celui du thyristor (SCR) et du transistor unijonction (UJT). Si, dans le circuit de la **figure 1**, nous ajoutons une deuxième gâchette, nous obtenons le transistor unijonction programmable, ou PUT, de la **figure 2**. Notez que dans le symbole du thyristor, la gâchette s'est déplacée du côté de l'anode. L'UJT et le PUT étaient des composants populaires dans les années 70 car ils permettaient de réaliser des générateurs de dents de scie ou d'impulsions. On en produit toujours, mais ils sont rares dans les circuits modernes. Dans cet article, nous allons présenter quelques circuits à base de PUT.

#### Mais commençons par notre vieil ami le thyristor

Le circuit de la **figure 1** se comporte comme un thyristor, mais il ne le remplace pas directement. On l'appelle un Thyristor Universel Transistorisé (TUT). Rappelons d'abord comment fonctionne un thyristor. Lorsqu'un faible courant (quelques milliampères) circule dans la gâchette, le thyristor bascule dans l'état conducteur permanent dès que le courant anode-cathode dépasse un certain seuil, le courant d'amorçage. La gâchette n'a alors plus d'effet et la seule façon de faire cesser la conduction est d'abaisser le courant anode-cathode en dessous du courant de maintien. Un moyen d'y parvenir est d'interrompre brièvement l'alimentation électrique.

#### Un PUT se comporte comme un thyristor

Pour comprendre le fonctionnement d'un PUT, reportez-vous à la **figure 3**. Il y a deux gâchettes, G- et G+, mais si nous nous limitons à G+, la description est également valable pour l'UJT.

A la mise sous tension, S1 et S2 sont ouverts. T2 bloque car sa base est tirée vers le haut par R1 et T1 bloque car sa base est flottante. Comme T2 ne conduit pas, la sortie est tirée vers le haut par R2.

Quand on appuie sur S1, la base de T1 est tirée vers le haut et T1 commence à conduire. Cela va tirer la base de T2 vers le bas, T2 devient conducteur et la sortie passe au niveau bas. La base de T1 reçoit du courant à travers R2 et T2, ce qui maintient la sortie au niveau bas, même quand on relâche S1. La seule façon de réinitialiser le circuit est de couper brièvement l'alimentation. Il s'agit du même comportement d'auto-verrouillage que celui d'un thyristor.

#### Et avec l'autre gâchette ?

En appuyant sur S2 au lieu de S1, on obtient le même résultat, mais d'une manière légèrement différente. Dans ce cas, la base de T2 est mise à la masse, ce qui le rend conducteur. La sortie passe au niveau bas et la base de T1 commence à recevoir du courant à travers R2 et T2, rendant T1 conducteur, offrant ainsi un chemin alternatif au courant de base de T2 quand on relâche S2. Comme précédemment, le circuit s'est verrouillé avec la sortie au niveau bas.

Un UJT a une gâchette, un PUT en a deux (**fig. 2**). La différence entre les deux gâchettes d'un PUT est que lorsque la gâchette 1 (G-) est utilisée, le PUT est conducteur lorsque la tension de l'anode dépasse



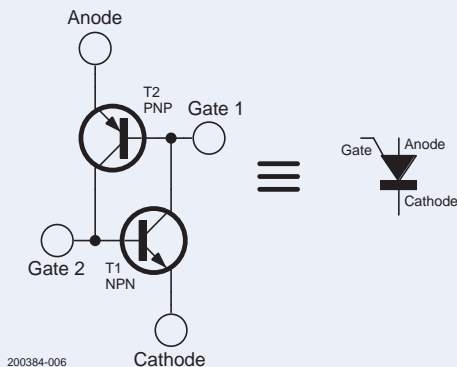


Figure 2. Deux gâchettes rendent le TUT programmable et on obtient le PUT.

la tension de la gâchette 1 de 0,7 V (chute de tension base-émetteur). Lorsqu'on utilise la gâchette 2 (G+), le PUT devient conducteur lorsque la cathode est inférieure de 0,7 V à la tension de cette gâchette. C'est de là que vient le « P » de PUT. La tension de déclenchement à laquelle le transistor commence à conduire peut être « programmée » en appliquant une tension de référence à la gâchette du PUT.

### Un circuit PUT simple

Le circuit de la **figure 4** illustre le comportement du PUT discret. Comme R1 et R2 ont des valeurs identiques, la tension au nœud 1 est la moitié de la tension d'alimentation (ici 2,5 V). La tension au nœud 2 peut être réglée à l'aide d'un potentiomètre.

Si la tension au nœud 2 est réglée à une tension inférieure d'au moins 0,7 V à la tension au nœud 1, T1 commencera à conduire. Le courant peut maintenant circuler à travers la base de T2 via T1, et T2 devient également conducteur. T2 tire la base de T1 vers le rail positif, ce qui garantit que T1 reste conducteur. La combinaison de transistors est verrouillée et restera ainsi même si la tension au nœud 2 augmente et devient supérieure à la tension au nœud 1. Le circuit se déverrouille lorsque la tension du nœud 2 se rapproche du rail d'alimentation, car il empêche le courant de circuler dans T1.

Le circuit de la **figure 5** est la version « à l'envers » du circuit de la **figure 4**. Il fonctionne de manière similaire, sauf que la tension au nœud 2 doit maintenant être supérieure de 0,7 V à la tension au nœud 1 pour que la paire de transistors se verrouille.

Bien entendu, dans les deux cas, le PUT se déverrouillera si l'alimentation électrique est brièvement interrompue.

### Un interrupteur à verrouillage

Le circuit de la **figure 6** est une application pratique de la **figure 3**. Lorsque l'alimentation est connectée, la LED s'allume, recevant son courant via R1 depuis l'alimentation. Le PUT formé par T1 et T2 n'est

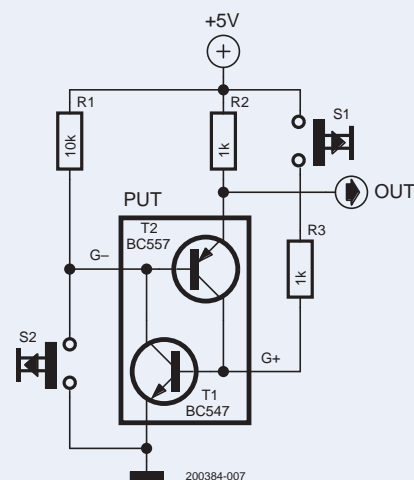


Figure 3. Appuyez sur S1 ou S2 et la sortie passe au niveau bas.

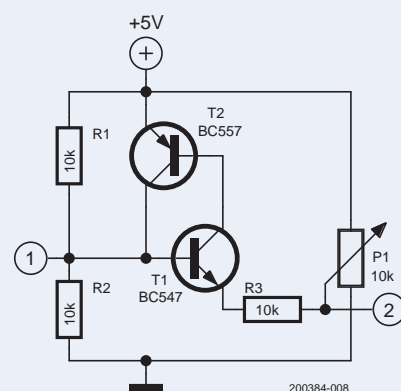


Figure 4. En tournant le potentiomètre P1 vers le bas, le PUT devient conducteur.

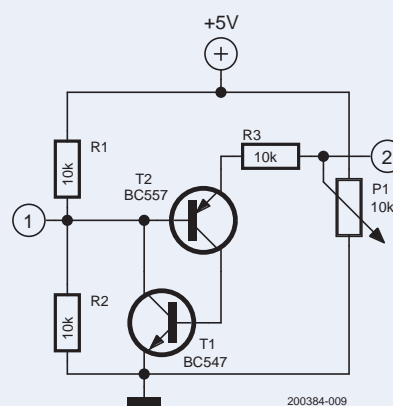


Figure 5. Figure 4 à l'envers : P1 doit être tourné vers le haut pour verrouiller le circuit.

# zone D

Astuces, bonnes pratiques et autres informations pertinentes

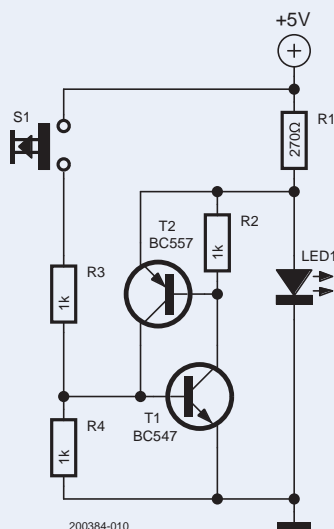


Figure 6. Un interrupteur d'arrêt simple.

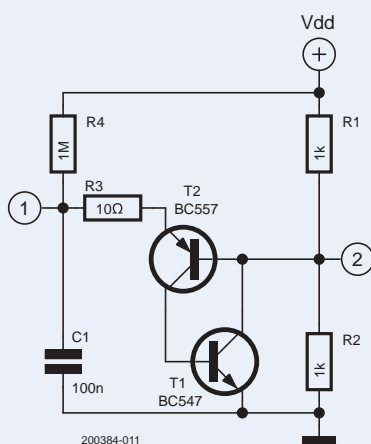
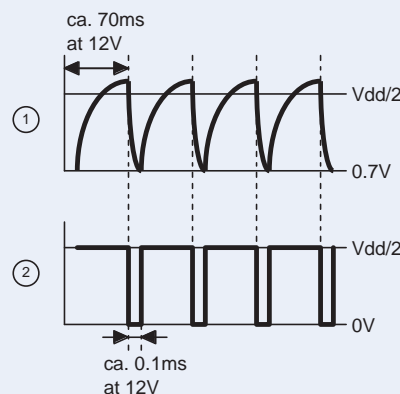


Figure 7. La simplicité de cet oscillateur à relaxation fut l'une des raisons du succès du PUT.



pas actif parce que la base de T1 est tirée vers le bas à la masse par R4 et la base de T2 est tirée vers le haut à la tension sur la LED. Ainsi, aucun des deux transistors n'est conducteur.

Lorsque l'on appuie sur S1, le circuit se verrouille en conduction (voir ci-dessus) et shunte la LED, qui s'éteint. Après avoir relâché l'interrupteur, le PUT reste verrouillé et la LED reste éteinte. Il suffit de couper brièvement l'alimentation pour rallumer la LED.

## Oscillateur de relaxation

Un oscillateur de relaxation (par opposition à un oscillateur harmonique) utilisant le circuit PUT est illustré à la **figure 7**. Ce circuit fonctionne avec une large gamme de tensions d'alimentation et génère au nœud 1 un signal en dents de scie à rampe montante et au nœud 2, des impulsions. La pente de la rampe, et donc la fréquence du signal de sortie, est déterminée par R4, C1 et la tension d'alimentation. Une augmentation de l'une ou l'autre de ces valeurs diminue cette fréquence. R3 détermine la largeur des impulsions qui sont produites au redémarrage de la rampe.

## Comment cela fonctionne-t-il ?

Initialement, C1 est déchargé, de sorte que le nœud 1 est à 0 V. La jonction émetteur-base de T2 est polarisée en inverse (la base de T2 est à Vdd/2, tandis que son émetteur est à 0 V), de sorte que T2 n'est pas conducteur. T2 bloqué, T1 ne reçoit pas de courant de base et ne conduit pas non plus. La tension au nœud 1 augmente à mesure que C1 est chargé à travers R4. Lorsque cette tension atteint la valeur qui polarise la jonction émetteur-base de T2 dans le sens direct (Vdd/2 + 0,7 V environ), T2 commence à conduire et le circuit se verrouille comme décrit précédemment. La tension au nœud 2 chute à 0 V.

Cependant, puisque T2 est maintenant conducteur, C1 se décharge rapidement à travers R3. Lorsque la tension sur C1 devient inférieure à 0,7 V, T2 commence à se bloquer et le circuit se déverrouille. La tension au nœud 2 remonte à Vdd/2 et C1 peut à nouveau se charger à

travers R4. Ce processus se répète indéfiniment. La largeur de l'impulsion négative au nœud 2 peut être ajustée dans certaines limites en modifiant la valeur de R3.

Si vous réorganisez le circuit comme sur la **figure 4** et que vous échangez C1 et R4, les signaux de sortie seront inversés.

## Quelques cas de figure

La valeur de R4 doit être suffisamment élevée pour permettre au PUT de se déverrouiller. Il est donc préférable de jouer sur la valeur de C1 pour ajuster la fréquence d'oscillation.

Lorsque les valeurs de R1 et R2 sont trop élevées, le PUT ne reçoit pas assez de courant de gâchette pour se verrouiller fermement et C1 ne sera pas suffisamment déchargé pour déverrouiller à nouveau le PUT. Ces valeurs doivent donc rester relativement basses. En diminuant la valeur de R4, les valeurs de R1 et R2 doivent également être diminuées pour permettre au PUT de décharger C1 suffisamment pour se déverrouiller.

La valeur de R3 ne peut pas être augmentée indéfiniment. Lorsqu'elle est trop élevée, le PUT ne reçoit pas assez de courant pour se verrouiller fermement et ne peut pas décharger suffisamment C1 pour se déverrouiller, ce qui empêche l'oscillateur de démarrer.

## Générateur d'ondes carrées symétriques

En ajoutant une résistance et une diode au circuit de la **figure 7**, il est possible de générer une onde carrée symétrique (**figure 8**). Grâce à D1, le côté inférieur de C1 n'est plus fixé à la masse, mais peut être poussé en dessous de zéro, devenant négatif.

Lorsque C1 se charge, D1 est polarisée dans le sens direct et le nœud 3 est à +0,7 V. Comme précédemment, lorsque T2 commence à conduire, la tension au nœud 1 chute jusqu'à 0 V. La tension au nœud 3 devient alors négative, car C1 est toujours chargé. D1 est maintenant polarisée en inverse, donc bloquée, et C1 se décharge à travers R5. En raison de la tension négative au nœud 3, la tension sur R5 est environ deux fois plus élevée que la tension sur R4. Par conséquent, sa valeur est

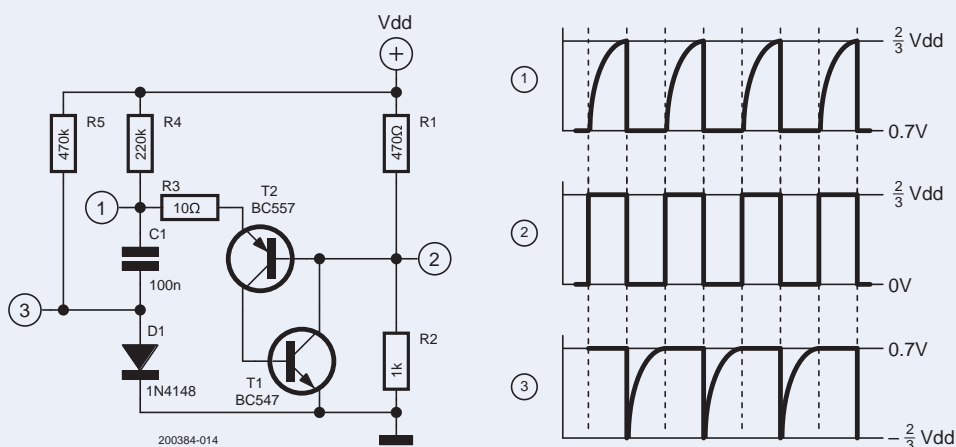


Figure 8. Un générateur de signaux carrés simple.

environ le double de celle de R4 pour obtenir des temps de charge et de décharge égaux. Le résultat est une forme d'onde symétrique au nœud 2. R3 n'a plus de fonction et peut être omis.

### Clignotants à LED

Si, dans le circuit de la **figure 8**, on remplace R2 par une LED, on obtient un clignotant à LED (**fig. 9**). Avec les valeurs indiquées des compo-

Publicité



## TAKING THE NOISE OUT OF E-MOBILITY



**WÜRTH  
ELEKTRONIK**  
MORE THAN  
YOU EXPECT

**WE meet @ electronica**

Hall A4, Booth 406

### Noise free e-mobility

e-Mobility is no longer a question of tomorrow and the number of e-vehicles is increasing day by day. Handling EMI noise is becoming more and more crucial, when it comes to design new electronic devices and systems. Würth Elektronik offers a wide range of EMC components, which support the best possible EMI suppression for all kinds of e-mobility applications. With an outstanding design-in support, catalogue products ex stock and samples free of charge, the time to market can significantly be accelerated. Besides ferrites for assembly into cables or harnesses, Würth Elektronik offers many PCB mounted ferrites and common mode chokes as well as EMI shielding products.

[www.we-online.com/emobility](http://www.we-online.com/emobility)

- Large portfolio of EMC components
- Design-in-support
- Samples free of charge
- Orders below MOQ
- Design kits with lifelong free refill



# zone D

Astuces, bonnes pratiques et autres informations pertinentes

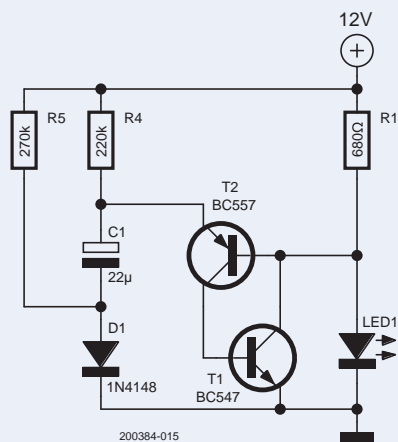


Figure 9. Un clignotant à LED à 1 Hz.

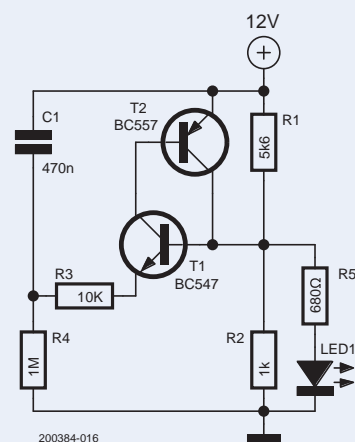


Figure 10. Un clignotant à LED à 1 Hz inversé.

sants, la LED clignote à environ 1 Hz. R3, devenu inutile, a été supprimé. La **figure 10** montre un circuit « à l'envers » pour faire clignoter une LED à une fréquence d'environ 1 Hz. R3 détermine la largeur d'impulsion et donc la durée du flash, qui, avec les valeurs utilisées, est d'environ 11 ms.

Comme dans la **figure 10**, mais avec la LED connectée à un autre endroit, la résistance de limitation de courant R5 devient superflue et peut être supprimée (**figure 11**). Son rôle a été repris par R2 qui est en série avec la LED lorsque le PUT est conducteur.

## Voilà, c'est tout.

Nous allons nous en tenir là, même s'il y a encore beaucoup à dire sur les PUT et leurs applications. Les circuits présentés dans cet article ont illustré quelques applications de base et expliqué comment les choses fonctionnent. L'intention n'était pas d'être exhaustif, mais de vous inspirer et en même temps de présenter quelques notions d'analyse de circuits analogiques. Vous trouverez d'autres circuits basés sur le PUT sous [1] et [2].

200384-04



## PRODUITS

> P. Horowitz and W. Hill, The Art of Electronics (SKU 17167)  
[www.elektor.fr/17167](http://www.elektor.fr/17167)

> P. Scherz and S. Monk, Practical Electronics for Inventors (SKU 17685)  
[www.elektor.fr/17685](http://www.elektor.fr/17685)

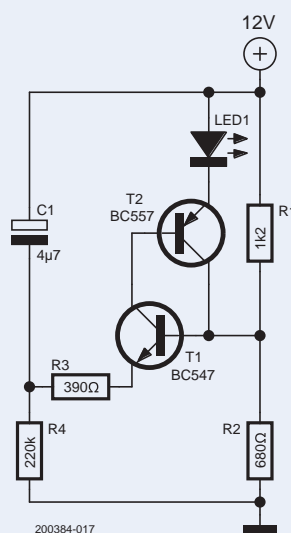


Figure 11. Ce clignotant à LED utilise un condensateur plus gros, mais économise une résistance.

## LIENS

[1] D'autres circuits PUT chez Elektor Labs: [www.elektormagazine.fr/labs/put-ting-it-all-together](http://www.elektormagazine.fr/labs/put-ting-it-all-together)

[2] Roel Arits, « variateurs pour LED (1) » Elektor 9/2018: [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-61/41852](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-61/41852)

November 15–18, 2022

# Driving sustainable progress.

Discover the future today.  
At electronica 2022.

**Get your ticket now!**

[electronica.de/tickets](https://electronica.de/tickets)

# Écran tactile rond pour Raspberry Pi

L'HyperPixel 2.1 Round de Pimoroni



Clemens Valens  
(Elektor)

Optimisé pour les Raspberry Pi Zero et Zero 2 W, cet écran tactile capacitif rond de 2,1 pouces (53 mm) de diamètre est idéal pour créer des appareils élégants destinés, par exemple, aux applications de mesures et de domotique.

L'HyperPixel 2.1 Round de Pimoroni [1] est un écran tactile capacitif IPS (In-Plane Switching) rond de 2,1 pouces avec DPI (Display Pixel Interface) à haute vitesse. Comme ses frères HyperPixel 4 carrés et rectangulaires, le 2.1 Round est destiné au Raspberry Pi. En fait, sa taille est optimisée pour les Raspberry Pi Zero et Zero 2 W mais, comme il possède le connecteur HAT (Hardware Attached on Top) standard à 40 broches, il peut être branché sur n'importe lequel équipé d'un tel connecteur, à condition de faire attention à l'aspect mécanique des choses.

## Spécifications

La résolution de l'écran est de 480 par 480 pixels, mais comme il est rond, il faut bien sûr soustraire les coins. Il a une profondeur de couleur de 18 bits, soit 262 144 couleurs, et supporte jusqu'à 60 fps (images par seconde). La zone de visualisation a un diamètre de 2,1 pouces (53,3 mm) et un angle de vision de 175°. Son diamètre total est de 72 mm pour une hauteur de 11 mm. Avec un Pi Zero attaché, la hauteur totale (ou la profondeur, selon votre préférence) est de 17 mm.

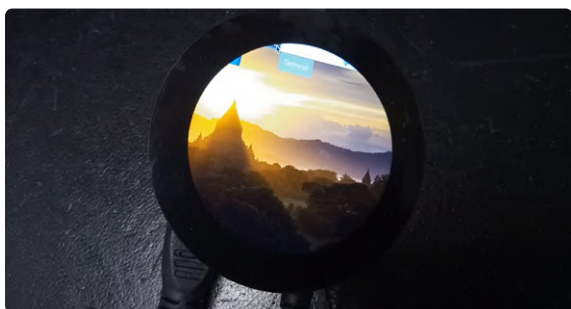


Figure 1. L'HyperPixel 2.1 Round montrant le bureau du Raspberry Pi Buster.

Q : combien de pixels sont perdus à cause des coins arrondis ? \*

Comme l'écran utilise presque toutes les broches du connecteur HAT, vous ne pouvez pas ajouter d'autres cartes d'extension. Cependant, l'écran fournit un port I<sup>2</sup>C alternatif pour y connecter d'autres circuits. La consommation d'un système HyperPixel + Raspberry Pi Zero 2 W est d'environ 300 mA en mode de fonctionnement normal. Lors du démarrage, j'ai observé des pics de plus de 500 mA, donc pour être sûr, vous auriez besoin d'une alimentation de 5 W, 5 V.

## Pilote et Bibliothèques

Pour utiliser l'HyperPixel 2.1 Round sur un Raspberry Pi, vous devez d'abord installer un pilote. Des instructions détaillées sur la façon de le faire sont données sur le site Web de Pimoroni et dans leur coin GitHub [2]. Les pilotes sont uniquement pour Raspberry Pi OS Buster, mais le support pour Bullseye est en cours de développement. Même si Bullseye n'est pas encore supporté, j'ai fait un essai. Mon programme de démonstration (voir ci-dessous) a fonctionné de la même manière, sauf que le menu du bureau s'est superposé en haut de l'écran (**figure 1**). J'ai branché l'HyperPixel 2.1 Round sur un Raspberry Pi Zero 2 W exécutant Buster et j'ai activé SSH pour me faciliter la vie par la suite. Après avoir installé le pilote et redémarré, l'écran a montré une version minuscule du bureau, et j'ai pu ouvrir une fenêtre de terminal. Maintenant, le port HDMI ne fonctionne plus et l'HyperPixel est devenu le seul écran. Comme il est plutôt minuscule, j'ai fait la plupart du travail par SSH sur mon ordinateur portable Windows. Pour utiliser l'écran dans vos propres applications, vous avez besoin de la bibliothèque Python3 [3] de Pimoroni. Elle comprend quelques exemples, mais ils n'ont pas bien fonctionné pour moi. Après quelques recherches, j'ai découvert que la mise à niveau de la bibliothèque pygame vers la dernière version (2.1.0 au moment où je l'ai fait) a résolu les problèmes que j'avais. Après cela, toutes les démos ont bien fonctionné. Elles sont tactiles, donc touchez l'écran pour changer les couleurs.

Notez que le tactile nécessite un pilote pour fonctionner comme une souris sur le bureau. Malheureusement, un tel pilote ne semble pas encore exister, mais vous pouvez utiliser l'exemple *daemon* inclut dans la bibliothèque *uinput-touch.py* à la place. Cela fonctionne très bien.

## Ma première application

Une fois que j'ai eu l'écran en marche, il était temps de voir si je pouvais en faire quelque chose. Mon idée était de l'utiliser pour mon compteur

\* R :  $480 \times 480 \times (1 - 0.25 \pi) = 49,444$  (c'est-à-dire presque 21.5%)





Figure 2. L'horloge compteur d'abonnés YouTube permet de faire glisser sa valeur.



Figure 3. L'HyperPixel 2.1 Round a le même diamètre que l'intérieur d'une boîte de Pringles.

d'abonnés YouTube [4] afin de remplacer l'affichage à 7 segments par quelque chose de plus sympa. La démo de l'horloge semblait être un bon point de départ. Tout ce que j'avais à faire était d'ajouter la partie requête de l'API YouTube pour obtenir le nombre d'abonnés et ensuite imprimer le nombre à l'écran.

Tout d'abord, j'ai installé `httplib2` qui est nécessaire pour le fragment du compteur d'abonnés YouTube. L'exécution du programme a révélé que j'avais également besoin de `libsd12-ttf` pour imprimer du texte à l'écran. Gardez à l'esprit que votre application doit appeler `pygame.init` si vous voulez travailler avec du texte et des polices et que vous devez en charger une. C'est plutôt long sur un Raspberry Pi Zero, donc je l'ai placé au début du programme. En utilisant la police, vous rendez le texte dans une image que vous copiez ou `blit` dans le tampon de l'écran pour le rendre visible (figure 2). Comme l'écran est tactile, j'ai ajouté une fonction permettant de positionner le compteur d'abonnés n'importe où sur l'écran en le faisant simplement glisser. Comme l'horloge, sa couleur dépend de l'endroit où vous touchez l'écran. Pour le faire ressortir, il n'utilisera pas la même couleur que l'horloge, sauf si vous touchez le centre pour que tout soit blanc.

Mon code peut être trouvé à ClemensAtElektor sur GitHub [5].

## Remarques additionnelles

Un mot sur la rotation de l'écran. Je voulais le faire pivoter de manière à ce que les connecteurs USB et HDMI du Raspberry Pi Zero pointent vers le haut. Cela correspond à 180° ou *inverted*. Le pilote Pimoroni fournit des utilitaires pour faire cela, mais ils n'ont pas fonctionné pour moi. Ce qui a fonctionné, cependant, était simplement d'ajouter la ligne `display_lcd_rotate=2` au fichier `/boot/config.txt` et de redémarrer le système.

Notez que pour certaines raisons, le centre du tampon d'écran peut ne pas être exactement le centre de l'écran, il peut être décalé de plusieurs pixels dans la direction verticale. Vous pouvez corriger cela en ajoutant un décalage dont le signe dépend de la rotation de l'écran. Vous pouvez voir dans mon code comment j'ai géré cela.

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

J'ai fait un essai rapide avec le port I<sup>2</sup>C alternatif de l'écran. Selon le site web de Pimoroni, ce serait le port I<sup>2</sup>C 3, mais je l'ai trouvé comme port 11. Vous pouvez savoir ce que vous avez en lançant la commande `i2cdetect -l` ou en cherchant dans le dossier `/dev` les fichiers qui commencent par `i2c`.

J'y ai connecté un module accéléromètre Mabee MPU6050 [6] pour voir s'il serait trouvé. L'outil `i2cdetect` a montré un périphérique à l'adresse 68 hexadécimale, qui est effectivement l'adresse imprimée sur le module, donc cela semblait fonctionner. J'ai également pu lire le capteur après avoir installé la bibliothèque `mpu6050-raspberrypi`.

## Il rentre exactement dans une boîte de Pringles !

J'ai remarqué que le diamètre de l'écran HyperPixel 2.1 Round est presque le même que celui d'une boîte de Pringles, il rentre exactement dedans. J'ai donc décidé de construire mon compteur d'abonnés YouTube dans une boîte de Pringles vide.

J'ai découpé le haut et le bas d'une canette et j'ai fixé l'ensemble écran-Raspberry-Pi à la partie inférieure avec des supports de sorte que l'écran vienne au même niveau que l'intérieur de l'anneau sur la partie supérieure. Maintenant, l'écran est protégé lorsque le couvercle est en place et le tactile continue de fonctionner (figure 3).

## Résumé

Pour résumer, je pense que l'HyperPixel 2.1 Round est un complément très intéressant pour un Raspberry Pi Zero 2 W. Il fonctionne également sur un Zero. La qualité de l'image est très bonne, et le toucher fonctionne bien dans vos propres applications. Ce serait un ajout assez cool à un système de domotique.

Officiellement, il n'y a de support que pour Buster, mais je l'ai essayé sur Bullseye. Mon programme a fonctionné de la même manière, sauf que le menu du bureau s'est superposé en haut de l'écran. ◀

220358-04



## PRODUITS

➤ HyperPixel 2.1 Round (SKU 19870)  
[www.elektor.fr/19870](http://www.elektor.fr/19870)

## LIENS

- [1] Site web de Pimoroni:  
<https://shop.pimoroni.com/products/hyperpixel-round>
- [2] Coin GitHub de Pimoroni:  
<https://github.com/pimoroni/hyperpixel2r>
- [3] Bibliothèque Python3:  
<https://github.com/pimoroni/hyperpixel2r-python>
- [4] YouTube subscriber counter:  
<https://youtu.be/PuCCMZFNqQE>
- [5] ClemensAtElektor sur GitHub:  
<https://github.com/ClemensAtElektor/HyperPixel2r>
- [6] Module accéléromètre Mabee MPU6050:  
[www.makerfabs.com/mabee-6aixs-imu-mpu6050.html](http://www.makerfabs.com/mabee-6aixs-imu-mpu6050.html)



# télémesure avec détection des pertes de connexion

Grâce aux modules nRF24L01+

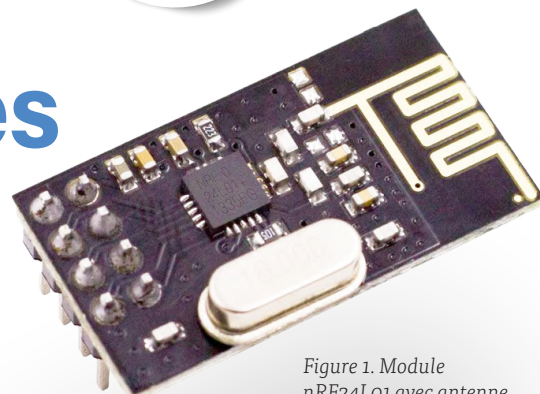


Figure 1. Module nRF24L01 avec antenne imprimée.

Roel Arits (Pays-Bas)

La transmission de données sans fil autorise de nombreuses applications (par ex. dans le domaine de la domotique). En revanche, il faut que la communication soit robuste et fiable. Ce projet de détecteur de mouvement à infrarouge passif (PIR) montre comment détecter la perte de connexion avec des modules de communication bidirectionnelle.

Les modules RF nRF24L01+ (fig. 1) sont intéressants et peu coûteux pour la communication bidirectionnelle sans fil [1]. Ils disposent d'un bus d'interface périphérique série (SPI) qui permet de les configurer et de les commander avec un microcontrôleur. On peut trouver sur l'internet de nombreux exemples de projets utilisant des cartes Arduino combinées avec ces modules RF.

Avec le projet décrit ici, je veux ajouter une fonction supplémentaire qui utilise la communication bidirectionnelle pour détecter la perte

de communication entre l'émetteur et le récepteur. C'est un peu étrange de parler d'un émetteur et d'un récepteur lorsqu'on utilise la communication bidirectionnelle, puisque les modules agissent à la fois comme émetteur et récepteur. Mais pour plus de clarté, nous qualifions un des modules d'émetteur car sa tâche principale est de transmettre l'état d'un capteur (PIR) à un autre module, qui reçoit les données pour un traitement ultérieur.

La capacité de détecter la perte de communication est très utile pour les capteurs à distance, car lorsqu'il n'y a pas de communication, on peut perdre des données sans en être averti. Il est également utile, lors de l'installation du capteur, de vérifier si les deux modules RF nRF24L01 se « voient » effectivement et ne sont pas hors de portée. La figure 2 donne une vue d'ensemble du projet et montre la communication entre les deux modules nRF24L01 – ainsi que l'implémentation de la détection de perte de communication.

## Schémas des circuits

Commençons par le schéma de l'émetteur (fig. 3). Le nRF24L01 doit être alimenté en 3,3 V, mais les broches d'E/S du nRF24L01 tolèrent le 5 V. Ainsi, connecter le bus SPI du nRF24L01 directement à un Arduino Pro Mini en 5 V ne pose aucun problème.

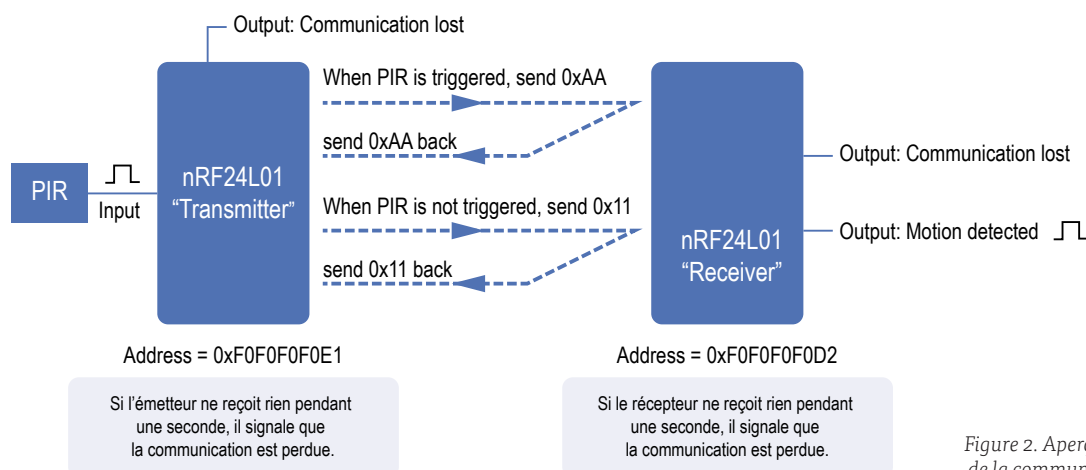


Figure 2. Aperçu des étapes de la communication.

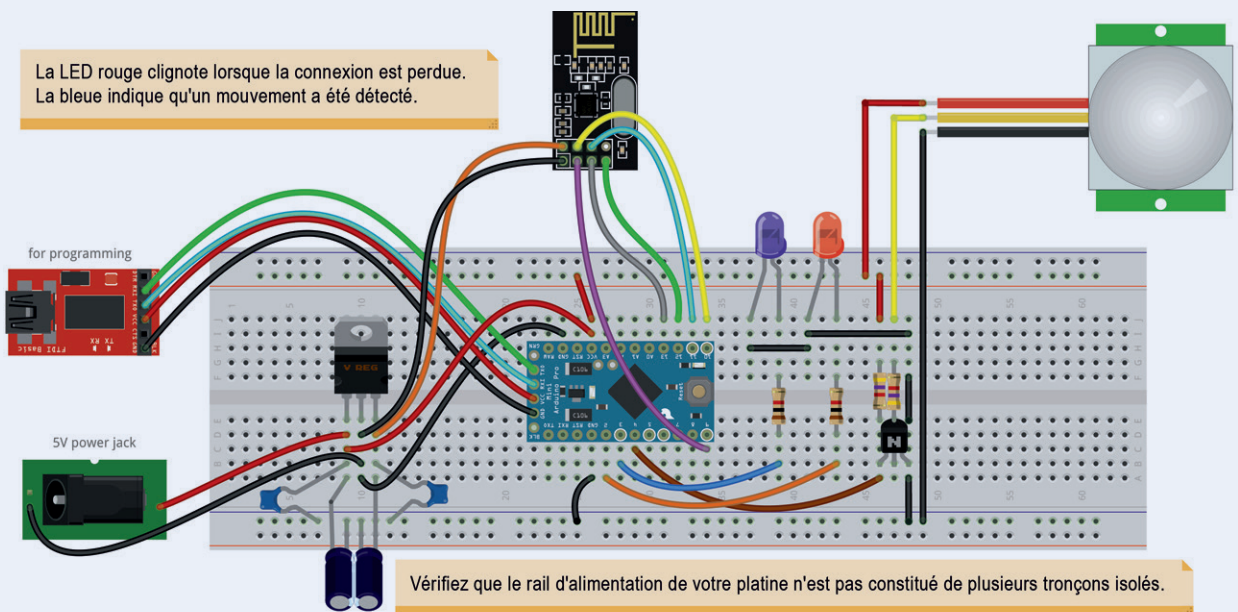
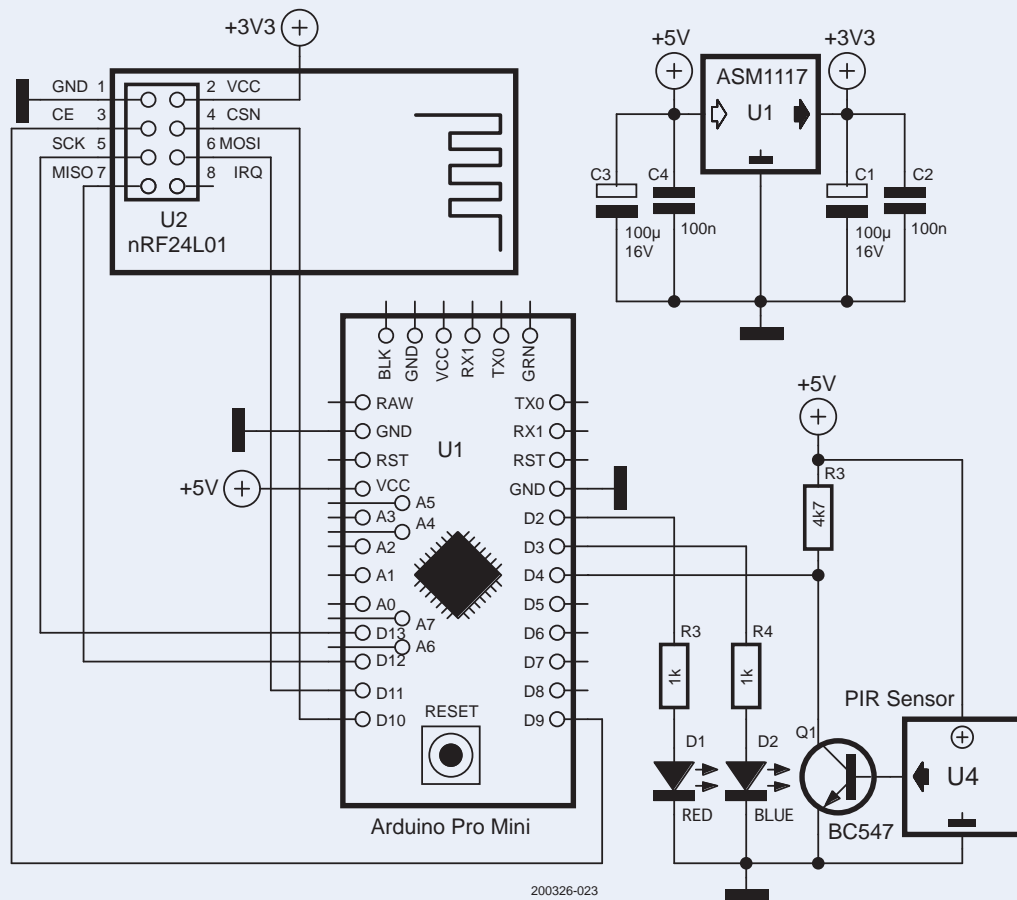


Figure 3. Schéma de la partie émetteur.





Figure 4. Module capteur PIR.

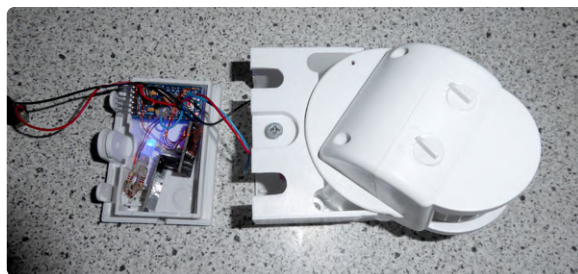


Figure 5. Émetteur avec capteur PIR.



Figure 6. Unité de réception.

Les condensateurs de découplage de l'alimentation doivent être placés aussi près que possible de l'Arduino et du module nRF24L01, respectivement, pour supprimer tout bruit de commutation en provenance de ces cartes. Ceci est souvent négligé dans les projets Arduino et peut causer toutes sortes de problèmes inattendus. Il est également recommandé d'utiliser plusieurs condensateurs de découplage en parallèle avec des valeurs différentes (par exemple,  $C_1 = 100 \mu\text{F}$  et  $C_2 = 100 \text{ nF}$ ). Les condensateurs électrolytiques ne sont pas aussi efficaces à des fréquences élevées que les condensateurs en céramique ou les condensateurs à film de polypropylène. En mettant différents types de condensateurs en parallèle, on crée un filtre plus efficace sur une plus large gamme de fréquences.

Le capteur PIR (**fig. 4**) est connecté en D4 à l'Arduino. Lorsque le capteur PIR nécessite une tension différente de 5 V, il est possible de s'en accommoder. Le transistor Q1 décale (et inverse) le niveau de tension dans le cas où on utilise des capteurs avec, par exemple, une tension de sortie de 3,3 V ou moins. De cette façon, vous pouvez connecter d'autres types de capteurs sans modifier le matériel. Lorsque le capteur PIR a une sortie de niveau 5 V, Q1, R4 et R3 peuvent être omis et la sortie du capteur PIR directement connectée à la broche 4 de l'Arduino Pro Mini. Dans ce cas, il faut adapter le croquis Arduino, afin que l'entrée de déclenchement soit active au niveau haut au lieu de l'être au niveau bas : `#define TRIGGER_ACTIVE_LEVEL 0 /* 0 = actif bas, 1 = actif haut */`. La LED rouge (D1) clignote lorsque la connexion entre l'émetteur et le récepteur est perdue. Lorsque la connexion est rétablie, la LED rouge cesse de clignoter et tout fonctionne à nouveau normalement. La LED bleue (D2) indique que le capteur PIR détecte un mouvement. Cet événement sera transmis au récepteur sous forme d'un code de déclenchement sur un octet. Lorsqu'aucun mouvement n'est détecté par le capteur, un code de présence est transmis au récepteur. De cette façon, le récepteur sait s'il y a détection de mouvement ou non. Le code suivant montre les définitions du code de présence et du code de déclenchement :

```
#define LIVE_BEAT_CODE 0x11 /* code transmis comme
    signal de présence de l'émetteur au récepteur */
#define TRIGGER_CODE 0xAA /* code transmis lorsque
    l'émetteur détecte une activité à l'entrée de
    déclenchement */
```

La **figure 5** montre l'émetteur avec le capteur PIR.

## Récepteur

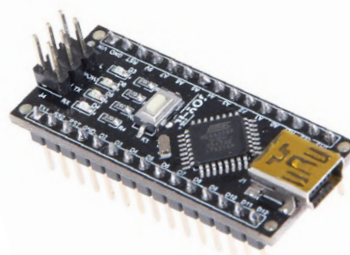
En guise d'accusé de réception, le récepteur (**fig. 6**) renvoie à

l'émetteur le même code que celui qu'il a reçu. Grâce à cette communication continue entre l'émetteur et le récepteur, tous deux peuvent facilement détecter la perte de connexion. Le circuit du récepteur (**fig. 7**) est presque identique au circuit de l'émetteur. Dans le récepteur, la LED rouge (D1) se met à clignoter lorsque la connexion est perdue et l'Arduino envoie un signal au haut-parleur en utilisant la commande `tone(x, y)`, avec `x` = fréquence et `y` = durée. Le haut-parleur est de type 8  $\Omega$  et est connecté à l'Arduino via un condensateur électrolytique. Plus la valeur du condensateur est élevée, plus le volume du haut-parleur sera fort. Pour un signal à 50 Hz pendant 150 ms, on utilise le code suivant :

```
tone(SPEAKER_PIN, 50, 150) ; /* émet un signal
    à 50 Hz pendant 150 ms sur la sortie haut-parleur
    */
```

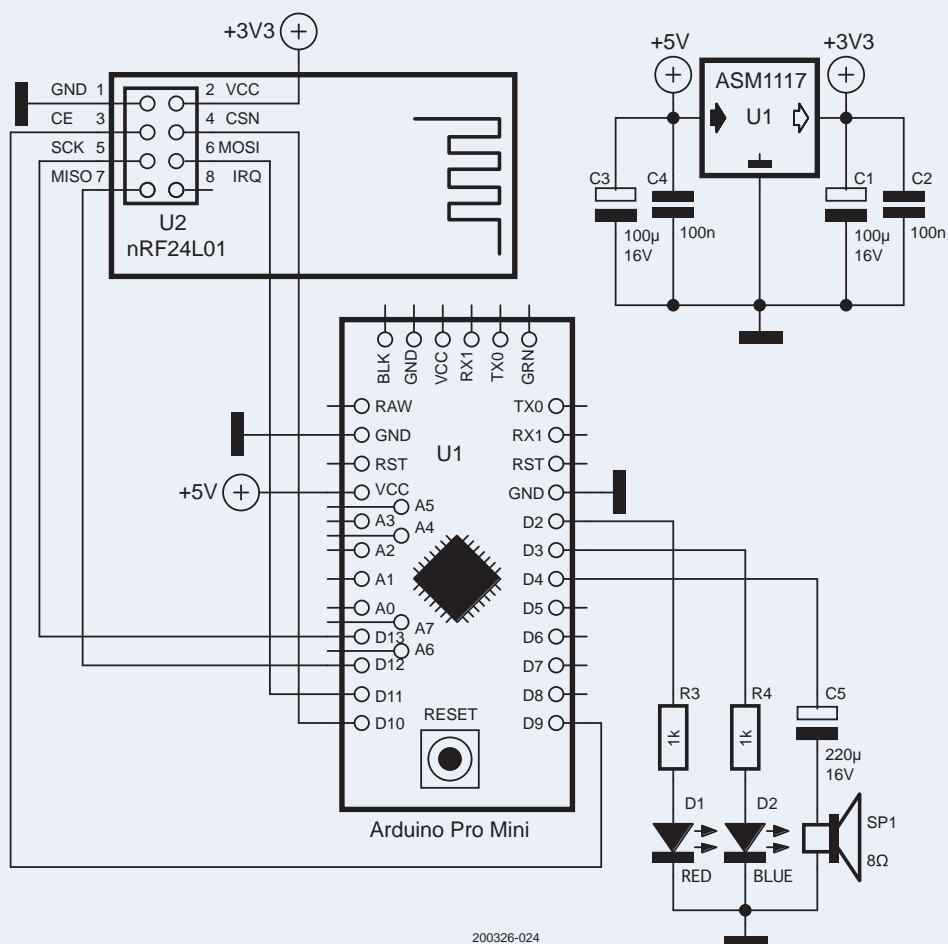
J'ai opté pour un son à basse fréquence (grave) car il est moins gênant/dérangeant que les sons plus aigus. La LED bleue (D2) indique qu'un mouvement est détecté. Vous pouvez connecter un relais à cette sortie via un transistor pour allumer/commander tout autre appareil lorsqu'un mouvement est détecté. ◀

200326-04 – VF : Denis Lafourcade

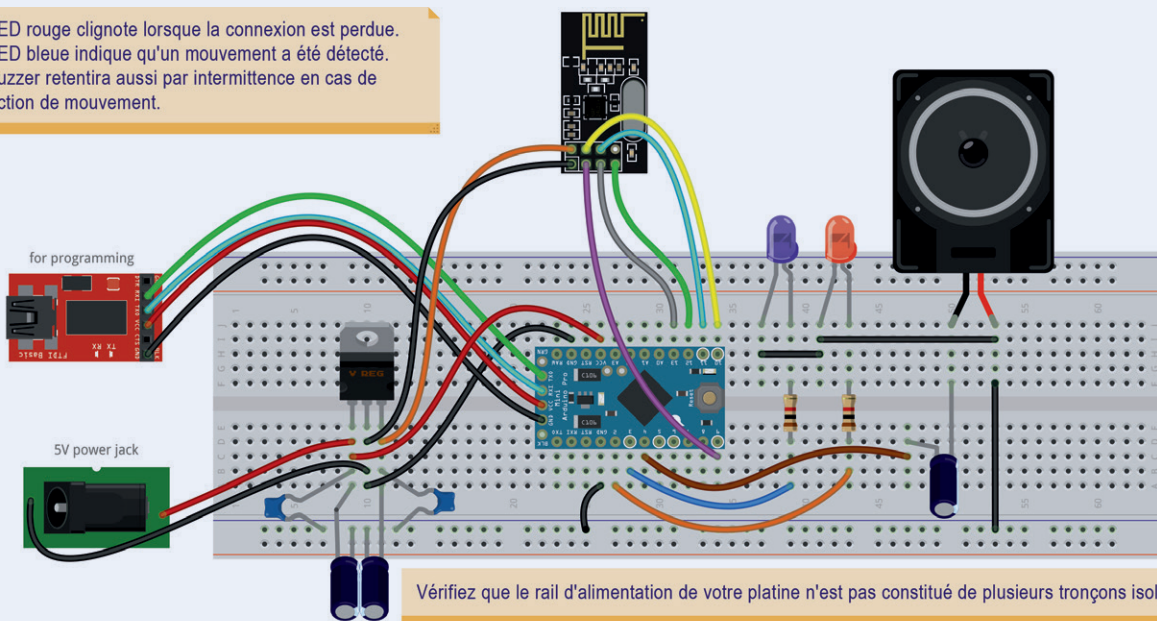


## PRODUITS

- > Nano V3 de Joy-IT  
[www.elektor.fr/18615](http://www.elektor.fr/18615)
- > HC-SR501 - Module détecteur de mouvement PIR  
[www.elektor.fr/18420](http://www.elektor.fr/18420)
- > Module émetteur-récepteur sans fil nRF24L01+ (2,4 GHz)  
[www.elektor.fr/19283](http://www.elektor.fr/19283)



La LED rouge clignote lorsque la connexion est perdue.  
La LED bleue indique qu'un mouvement a été détecté.  
Le buzzer retentira aussi par intermittence en cas de  
détection de mouvement.



fritzing

Figure 7. Schéma du récepteur.

## LIENS

[1] Fiche technique des modules RF : [www.nordicsemi.com/Products/nRF24-series](http://www.nordicsemi.com/Products/nRF24-series)

[2] Ce projet sur Elektor Labs : [www.elektormagazine.fr/labs/remote-sensing-with-connection-loss-detection-using-nrf24l01-modules](http://www.elektormagazine.fr/labs/remote-sensing-with-connection-loss-detection-using-nrf24l01-modules)



# récepteur FM numérique avec TEA5767 et Arduino Nano

Restez à l'écoute avec Arduino Nano

Hesam Moshiri (Iran)

Pour construire un récepteur FM, un circuit intégré à haute intégration, par ex. un *TEA5767* de *NXP* est idéal. Notre récepteur FM couvre une bande de 76 à 108 MHz et sa sortie stéréo fait 2 × 3 W. L'*Arduino Nano* lit les trois boutons-poussoirs d'entrée de la fréquence et affiche les données de la station FM sur un écran LCD.

Les récepteurs FM sont toujours très en vogue chez les électroniciens amateurs. Cet article présente la réalisation d'un récepteur FM numérique complet, avec écran LCD et trois boutons-poussoirs. Il couvre une bande FM de 76 à 108 MHz et l'accord sur les signaux reçus est manuel ou automatique en mode balayage (*scan*). L'intensité du signal s'affiche sous forme de barres sur l'écran LCD. L'audio est confiée à un puissant amplificateur stéréo (2 × 3 W) de classe D de haute qualité. Pour piloter le récepteur, j'ai retenu la carte Arduino Nano, peu onéreuse et bien connue.

## Matériel

La figure 1 montre le schéma de principe de l'appareil. Le circuit comporte trois parties principales : le récepteur FM, l'ampli audio et la commande numérique (Arduino Nano)

qui pilote le tout. Pour compléter ce petit récepteur FM numérique, il nous faut ajouter l'antenne télescopique, l'alimentation et deux haut-parleurs (HP) de 8 Ω.

## Réception du signal radio

Le module TEA5767 [1] se charge de la réception FM ; c'est un circuit intégré bien connu à commande I<sup>2</sup>C. La bande de fréquences FM couverte va de 76 à 108 MHz et la sortie audio stéréo doit être amplifiée. Le signal audio que fournit le TEA5767 est trop faible, même avec un écouteur. Le programme de l'Arduino se charge du réglage de la fréquence, de la mesure de l'intensité du signal, et pilote l'afficheur.

Un filtre RC passe-bas (R4, C7, C8 et C9) atténue le bruit de l'alimentation. Obligatoires, R5 et R6 fournissent le niveau haut du bus I<sup>2</sup>C,



et CON1 est un connecteur UFL de raccordement à l'antenne. La **figure 2** illustre le module TEA5767.

## L'amplificateur audio

Le PAM8403 [2] est un ampli hifi de classe D de  $2 \times 3$  W qui se contente d'une seule alimentation 5 V. La puissance de sortie max. peut être atteinte avec des HP de  $4 \Omega$  ; cependant, nous conseillons ici des HP de  $8 \Omega$  pour limiter la dissipation thermique du régulateur de tension (IC2). Selon la fiche technique, « Le PAM8403 est un ampli audio de classe D de 3 W. Le taux de distorsion harmonique (THD+N) et le bruit sont faibles et donc la reproduction sonore de haute qualité. Son architecture nouvelle lui permet d'attaquer

directement le haut-parleur, sans filtre de sortie passe-bas, ce qui permet de réduire le coût du système et la surface du circuit imprimé. »

Les condensateurs C1, C2 et C3 servent au découplage du bruit sur les broches d'alim ; R2, R3, C4 et C5 envoient le signal audio à l'amplificateur. Le tout forme également des filtres RC passe-haut qui éliminent le bruit à basse fréquence. La **figure 3** illustre le schéma-type de mise en œuvre du CI PAM8403. P1 et P2 sont les connecteurs XH coudés à deux broches utilisés pour connecter les HP à la carte. POT1 contrôle le niveau sonore de sortie.

## L'Arduino à la manœuvre

AR1, une carte Arduino Nano (voir **fig. 4**),

sert à commander ce récepteur FM numérique. Le Nano pilote LCD1, un écran LCD standard de 2 lignes de 8 caractères. Il lit les boutons-poussoirs (SW1, SW2 et SW3), y réagit et envoie/reçoit les données du TEA5767 via le bus I<sup>2</sup>C. R1 règle le contraste du LCD ; C10, C11 et C13 éliminent les rebonds des interrupteurs.

## Alimentation

Le régulateur 5 V 7805 en boîtier D2PAK [3] est le principal composant de l'alimentation qui fournit une tension stable de +5 V au montage. C12, C14 et C15 découplent le bruit, et le commutateur intégré à POT1 (potentiomètre de volume stéréo) permet d'allumer et éteindre l'appareil.

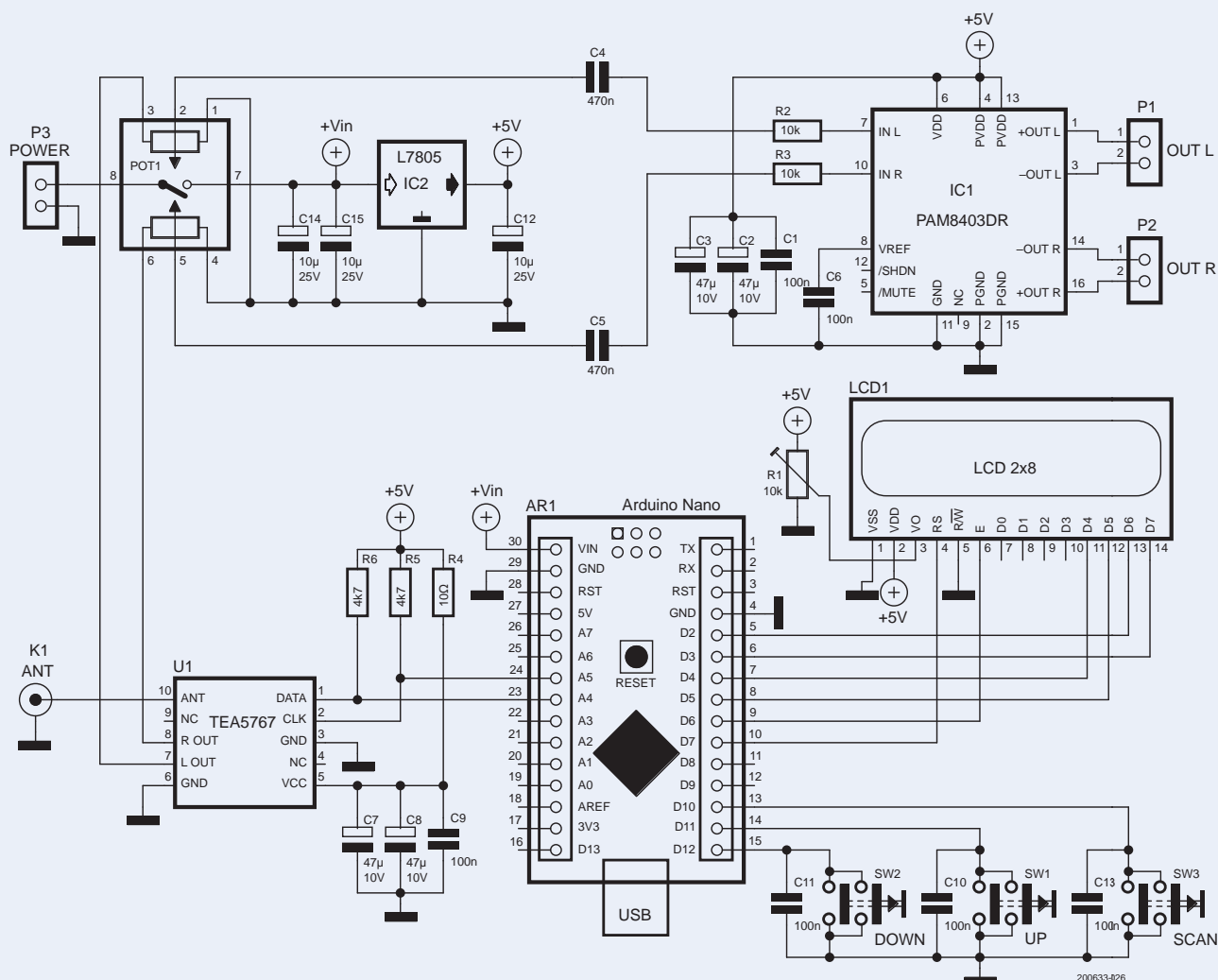


Figure 1. Schéma de principe du récepteur FM.

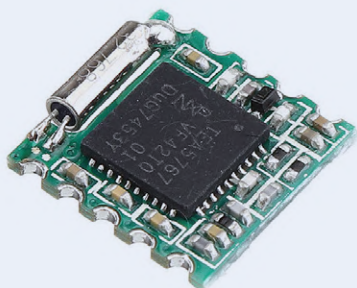


Figure 2. Module récepteur FM TEA5767.

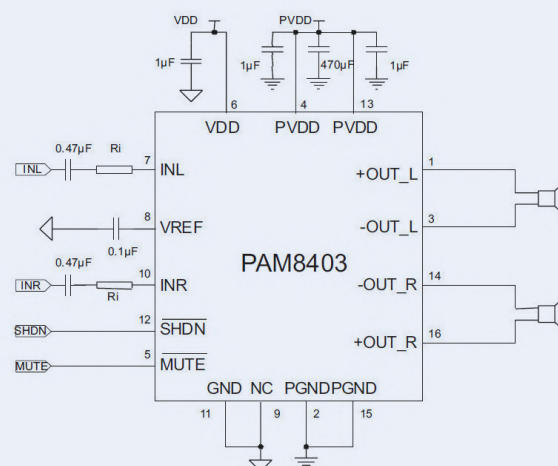


Figure 3. Schéma de référence pour l'ampli stéréo PAM8403. (Source : Diodes Incorporated)

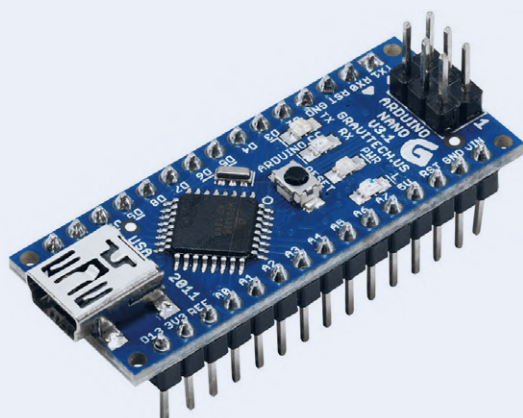


Figure 4. Module Arduino Nano.

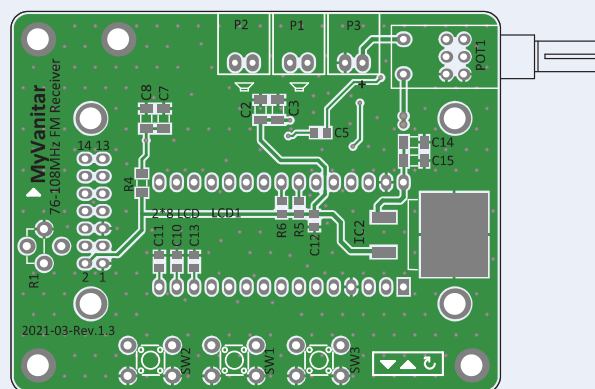


Figure 5. Aspect du circuit imprimé du récepteur.

## Agencement et montage des composants du circuit imprimé

La **figure 5** montre la carte du récepteur FM numérique. Le Gerber du circuit imprimé et les fichiers de perçage de l'auteur sont téléchargeables depuis la page Elektor Labs du projet [4]. Votre fournisseur préféré pourra ainsi reproduire la carte.

Bien que les composants soient des CMS en majorité, la soudure n'est pas trop difficile avec un petit fer à souder et un fil à souder fin. Commencez par les composants CMS, prenez votre temps et vérifiez les soudures de chaque composant avant de passer au suivant. Terminez par les composants traversants en respectant bien le côté de montage sur la carte. Montez la carte Arduino Nano sur le dessous de la carte et l'écran LCD sur le dessus, de préférence sur barrettes-supports. Un petit rectangle sérigraphié symbolise le quartz du TEA5767 et donne l'orientation correcte du module sur la carte.

Les vues 3D de la carte (**fig. 6**) montrent

comment ce projet est construit. Les circuits imprimés du récepteur FM numérique sont de haute qualité (**fig. 7**).

Pour référence, la **figure 8** montre la vue de dessus de la carte assemblée, et la **figure 9** la vue de dessous. Il vous faudra aussi quatre entretoises de 5 mm pour fixer le LCD sur la carte. La **figure 10** illustre ce type de connecteur. La **figure 11** montre une antenne télescopique convenable.

*Notez que les figures 6 à 9 montrent une 1<sup>ère</sup> version du circuit imprimé, mais les différences avec la carte définitive sont minimales !*

## Programme Arduino

Le croquis Arduino pour ce récepteur FM (*FM\_receiver.ino*) est disponible en téléchargement sur la page Elektor Labs du projet [4]. La bibliothèque pour le LCD (*LiquidCrystal*) et la bibliothèque du bus I<sup>2</sup>C (*Wire*) font partie de l'EDI Arduino. Cependant, il faut téléchar-

ger la bibliothèque TEA5767 (GitHub [5]) et l'installer manuellement. Il suffit de copier *TEA5767.CPP* et *TEA5767.H* dans le dossier où le croquis est enregistré. Il n'y a alors plus qu'à connecter votre Arduino Nano à l'ordinateur, et à compiler et télécharger le code.

## Utilisation du récepteur

La bande de fréquence couvre de 76,0 MHz à 108,0 MHz. Les boutons Up (SW1) et Down (SW2) servent à incrémenter, respectivement décrémenter, la fréquence par pas de 0,1 MHz. Une pression longue sur lesdits boutons incrémente ou décrément la fréquence de façon continue. Le réglage du récepteur sur la fréquence souhaitée (station FM) est donc assez aisé. De plus, le bouton Scan (SW3) lance un balayage automatique des stations FM. Dès qu'un signal est assez puissant, le récepteur se verrouille dessus. Pour rechercher la station suivante, appuyez à nouveau sur le bouton Scan.

Un graphique à barres indique l'intensité

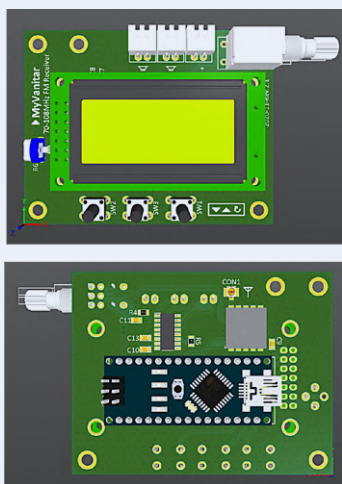


Figure 6. Vues 3D de la carte.

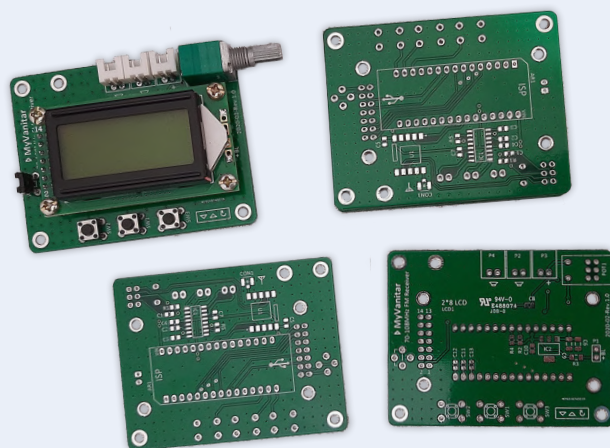


Figure 7. Carte assemblée (vue de dessus) et nue (3 vues).

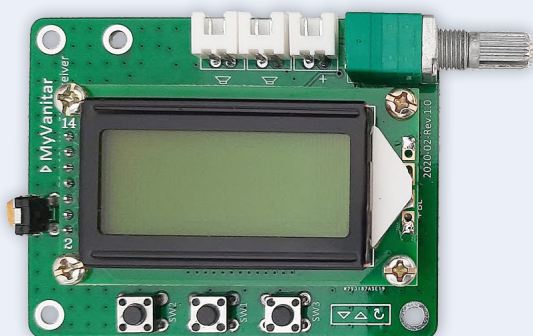


Figure 8. Récepteur assemblé vu de dessus.

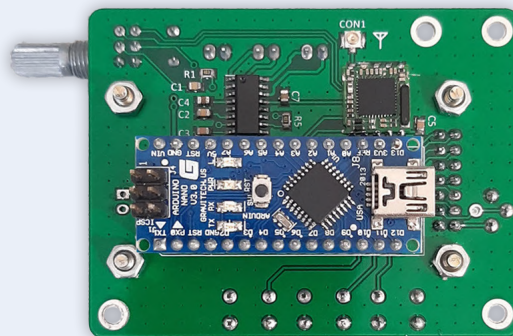


Figure 9. Récepteur assemblé vu de dessous.



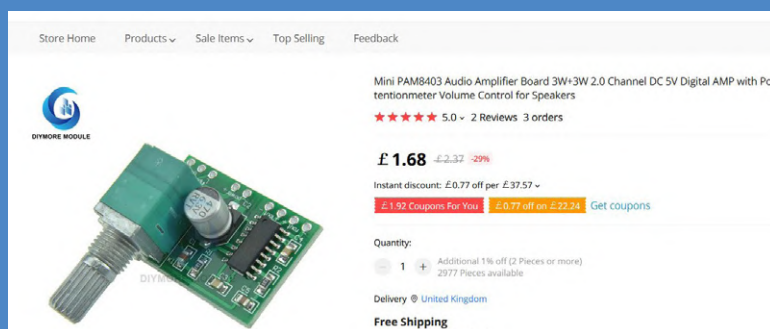
Figure 10. Câbles de liaison d'antenne avec connecteurs UFL (petits) et SMA (grands).



Figure 11. Antenne télescopique.

## Trouver POT1

En général, un potentiomètre stéréo avec interrupteur est difficile à trouver, surtout avec la bonne empreinte pour le circuit imprimé (celle de POT1). Celui-ci semble vendu sous le nom de RV0971GS, nous ne sommes pas sûrs de la marque. Cependant, l'auteur du projet a trouvé en Asie un module ampli très bon marché, comme illustré ci-dessous, qui fournit le PAM8403 dont nous avons besoin pour IC1 et le potentiomètre. La recherche de « PAM8403 volume control » vous mènera chez différents vendeurs proposant un module comme celui illustré ci-dessous. Il comporte, entre autres, le CI amplificateur et, si ce n'est lui, un contrôle de volume qui ressemble au RV0971GS. Il devrait s'adapter à la carte conçue par l'auteur. Nous insistons sur « devrait », car avec de tels modules, on ne peut jamais être sûr à 100 % de ce que l'on obtiendra en passant la commande. Il va sans dire qu'il faudra d'abord dessolder les deux composants du module, une station de soudage à air chaud et/ou des outils de dessoudage vous seront utiles en cela.





du signal FM sur l'écran LCD. Plus à droite, l'écran indique si le signal est reçu en mono (« MN ») ou en stéréo (« ST »). Sur la **figure 12**, le récepteur est réglé sur une station FM mono puissante émettant sur 100,0 MHz.

Le site *Elektor Labs* [4] propose aussi ce projet, avec le logiciel, la conception du circuit imprimé et les fichiers Gerber associés à ce récepteur FM en téléchargement. Une vidéo sur YouTube montre le fonctionnement de ce récepteur FM [6].

200633-04

## Contributeurs

Idée, conception, texte : Hesam Moshiri

Illustrations : Hesam Moshiri,

Patrick Wielders

Rédaction : Luc Lemmens

Mise en page : Harmen Heida

Traduction : Yves Georges

## Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur

([hesam.moshiri@gmail.com](mailto:hesam.moshiri@gmail.com)) ou

contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).

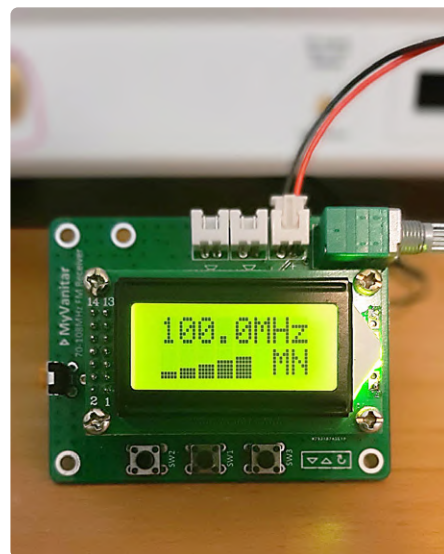


Figure 12. Le récepteur réglé sur 100 MHz avec fort signal mono.



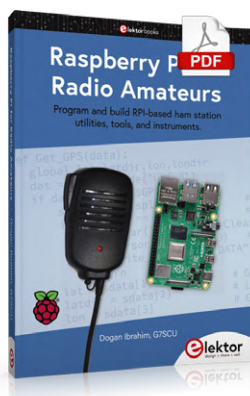
## PRODUITS

### > Joy-IT Nano V3

[www.elektor.fr/18615](http://www.elektor.fr/18615)

### > Livre en anglais (version numérique), « Raspberry Pi for Radio Amateurs », D. Ibrahim

[www.elektor.fr/19487](http://www.elektor.fr/19487)



## LISTE DES COMPOSANTS

### Résistances

R1 = pot. ajustable 10 kΩ, vertical

R2, R3 = 10 kΩ, taille 0805

R4 = 10 Ω, taille 1206

R5, R6 = 4,7 kΩ, taille 0805

POT1 = potentiomètre stéréo 50 kΩ + inter. (RV0971GS, voir texte)

### Condensateurs

C1, C6, C9, C10, C11, C13 = 100 nF, taille 0805

C2, C3, C7, C8 = 47 μF, taille 1206

C4, C5 = 470 nF, taille 0805

C12 = 10 μF, taille 0805

C14, C15 = 10 μF, taille 1206

### Semi-conducteurs

IC1 = amplificateur audio 2 × 3 W PAM8403DR (SOIC-16)

IC2 = régulateur de tension 5 V MC7805CD2TG (D2PAK-style)

U1 = module récepteur FM TEA5767

### Divers

AR1 = carte Arduino Nano

LCD1 = afficheur LCD de 2 lignes de 8 caractères

P1, P2, P3 = connecteur XH à 2 voies, pas de 2,54 mm

SW1, SW2, SW3 = bouton-poussoir tactile 6 mm × 6 mm

CON1 = connecteur UFL SMD + antenne télescopique (voir texte)

## LIENS (pages en anglais)

[1] Fiche technique du TEA5767 : [www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/TEA5767.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/TEA5767.pdf)

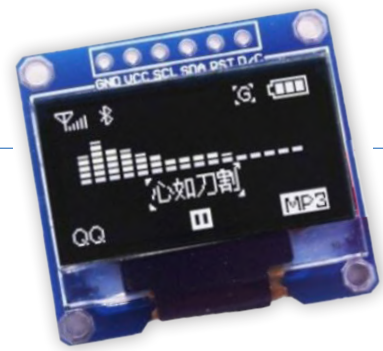
[2] Fiche technique du PAM8403 : [www.mouser.com/datasheet/2/115/PAM8403-247318.pdf](http://www.mouser.com/datasheet/2/115/PAM8403-247318.pdf)

[3] Fiche technique du 7805 D2-PAK : [www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf](http://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf)

[4] Ce projet sur Elektor Labs : [www.elektormagazine.fr/labs/digital-fm-receiver-with-arduino-and-tea5767](http://www.elektormagazine.fr/labs/digital-fm-receiver-with-arduino-and-tea5767)

[5] Pour télécharger la bibliothèque Arduino TEA5767 : <https://github.com/andykarpov/TEA5767>

[6] Vidéo YouTube : [https://youtu.be/qgci6huZ\\_-l](https://youtu.be/qgci6huZ_-l)



# Convertir une interface OLED de SPI vers I<sup>2</sup>C

Luc Lemmens (Elektor)

*Vous avez un afficheur à interface SPI ? Vous pouvez acheter un afficheur I<sup>2</sup>C, mais pourquoi ne pas le réaliser vous-même ? Lisez ce qui suit pour apprendre comment changer l'affichage SPI en I<sup>2</sup>C.*

Dans le cadre d'un projet sur lequel je travaillais dans le laboratoire Elektor, j'ai eu besoin d'un petit écran graphique avec interface I<sup>2</sup>C. Le premier afficheur adapté que j'ai trouvé sur l'établi (trop plein) du laboratoire était un module OLED 0,96 pouce et de 128 × 64 pixels, équipé d'une interface SPI ou I<sup>2</sup>C. Le mien était, bien sûr, configuré pour SPI. Je pensais que je pourrais facilement convertir l'affichage de SPI en I<sup>2</sup>C en suivant simplement la légende sur la sérigraphie blanche du circuit imprimé : il suffit de déplacer quelques résistances. La première tentative a échoué, et je n'étais pas sûr que l'afficheur était encore fonctionnel ; cela est parfois incertain avec un module déjà utilisé pour un autre prototype. J'ai décidé de ne plus gaspiller mon temps et j'en ai commandé un tout nouveau avec une interface I<sup>2</sup>C — problème résolu. Récemment, j'ai voulu acheter le même type d'écran, mais j'ai commandé par erreur une version SPI au lieu d'une version I<sup>2</sup>C. J'ai essayé à nouveau de modifier la configuration de l'interface et cette fois, j'ai réussi, mais seulement après avoir cherché de l'aide sur Internet.

## Abordable et disponible

Ce type d'afficheur OLED est l'un des modules génériques les plus populaires sur la scène des électroniciens : abordable, disponible et pris en charge par de nombreux exemples de bibliothèques et de logiciels. Ils sont basés sur le contrôleur SSD1306 et sont conçus par différents fournisseurs, mais il est peu probable que vous trouviez un label ou quoi que ce soit permettant d'identifier la marque. Heureusement, j'ai trouvé sur Internet une fiche technique/note d'application pour un module OLED 0,96 pouce à six broches qui contenait les informations nécessaires pour reconfigurer l'interface SPI en I<sup>2</sup>C. Curieusement, le fabricant écrit simplement dans la note que ces informations proviennent d'un utilisateur ! Peut-être une coïncidence, mais même les références des composants dans le document correspondaient au module que j'avais sur mon établi.

La **figure 1** montre la face arrière du module d'affichage. Les premières étapes pour changer l'affichage de SPI à I<sup>2</sup>C sont indiquées sur le

circuit imprimé : déplacer R3 à la place de R1. R8 – une empreinte vide sur la version SPI – est également mentionnée, et le document précise qu'elle doit être une résistance de 0 Ω pour l'interface I<sup>2</sup>C. (Un peu de soudure ou un fil feront aussi l'affaire.) La broche marquée DC sur le connecteur du module détermine l'adresse I<sup>2</sup>C : connectez-la à

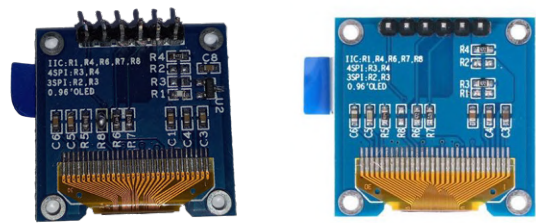


Figure 1. La version originale SPI, et la version modifiée I<sup>2</sup>C à côté.

GND pour obtenir l'adresse par défaut 0x3C et à VCC pour 0x3D. La broche RST (reset) nécessite un circuit passif de réinitialisation à la mise sous tension (c'est-à-dire une résistance de 10 kΩ connectée à VCC et un condensateur de 100 nF connecté à GND). Le document mentionne également une broche CS absente de l'afficheur que j'avais ; elle ne figure que sur les modules à sept broches. Si vous en avez un, cette broche doit être connectée à GND, selon les informations que j'ai trouvées, cependant je n'ai pas pu le vérifier.

Bien entendu, il est préférable d'acheter un afficheur I<sup>2</sup>C à la place. Vous n'avez pas besoin de composants ni de connexions supplémentaires pour le connecter. ◀

220005-04

## Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



## PRODUITS

- > Écran OLED 0,96 pouce (bleu, I<sup>2</sup>C, 4 broches) (SKU 18747)  
[www.elektor.fr/18747](http://www.elektor.fr/18747)
- > Écran OLED 0,96 pouce pour Arduino (128 x 64, SPI) (SKU 18004)  
[www.elektor.fr/18004](http://www.elektor.fr/18004)

# visite à domicile



Les violons d'Ingres ne prennent pas la poussière

Wim Stok (Pays-Bas)  
et Eric Bogers (Elektor)

Les coffrets *Electronic Engineer* de Philips ont donné le goût de l'électronique à de nombreux enfants. Si tous n'en ont pas fait leur métier, certains en ont fait le loisir de toute une vie. Wim Stok, de Groningue (Pays-Bas), est l'un d'eux.

*La plupart des passionnés d'électronique d'un certain âge connaissent les coffrets d'initiation Electronic Engineer de Philips. On en pensera ce qu'on veut, leur contenu était bon et bien conçu – en témoignent ces astucieux contacts à ressort rendant inutile toute soudure. Lesdits contacts se dégradaient à l'usage bien sûr, mais avant que cela n'arrive vous étiez déjà passé à autre chose ou aviez acheté votre premier fer à souder.*

J'ai reçu le kit Electronic Engineer EE20 comme cadeau d'anniversaire de mes 11 ans. Je m'en suis servi pour construire ma première radio, et depuis n'ai cessé de consacrer mon temps libre à cette activité fascinante qu'est l'électronique. Je suis en retraite aujourd'hui, et je puis m'y adonner encore plus souvent.

Plus tard, je me suis lancé dans le montage d'amplificateurs. Avec plus ou moins de succès, certes, mais au moins étais-je passé au fer à souder. En général mes projets étaient inspirés des kits Philips et de descriptions de circuits trouvées dans des magazines d'électronique. J'ai découvert Elektuur (comme s'appelait Elektor à l'époque) lorsque j'étais étudiant. En reproduire les circuits relevait pour moi de l'aventure et je n'étais jamais sûr qu'ils fonctionneraient correctement. Ceci dit, une de mes réussites trône toujours dans mon salon : l'amplificateur Equin de 1975/1976, dont l'étage de sortie comprenait des triplets de transistors Quad. Je l'avais construit sur un circuit imprimé de mon cru et l'avais combiné à un préamplificateur et une alimentation stabilisée.

Ses sorties sont aujourd'hui reliées à deux haut-parleurs dont j'avais trouvé le schéma dans un numéro de 1984 du magazine néerlandais Audio & Techniek. Leur concepteur les avait appelés *Geluid uit de pijp* (son du tuyau) car ils étaient logés dans un tube en PVC.

*Pour ceux que cela intéresserait : les deux articles anglais décrivant l'amplificateur Equin sont disponibles au format PDF sur les pages [1] et [2]. Le schéma de la **figure 1** est extrait de l'un d'eux.*

J'ai également construit un magnétophone à cassettes capable de lire trois types de bandes. Je l'ai assemblé à partir d'un vieux magnétophone à bobines, d'une tête « combinée » récupérée sur un appareil Nakamichi et d'un volant d'inertie que j'ai usiné sur un tour (**fig. 2**). Je lui ai aussi adjoint un tuner FM, mais n'ai hélas pas encore pris le temps d'en finir le boîtier (**fig. 3**).

L'électronique est quelque peu passée au second plan durant ma carrière de physiologiste, mais chaque fois que l'occasion se présentait je ne manquais pas de récupérer des appareils et des composants dont le département d'électronique de l'hôpital où je travaillais ne voulait plus. Je me disais que ce serait pour plus tard, pour ma retraite.

Parmi ce bric-à-brac figurait un boîtier doté d'un transformateur torique (2 × 55 V) et de deux gros condensateurs électrolytiques de 10 mF et 100 V, le tout en bon état. J'ai alors songé à construire une version



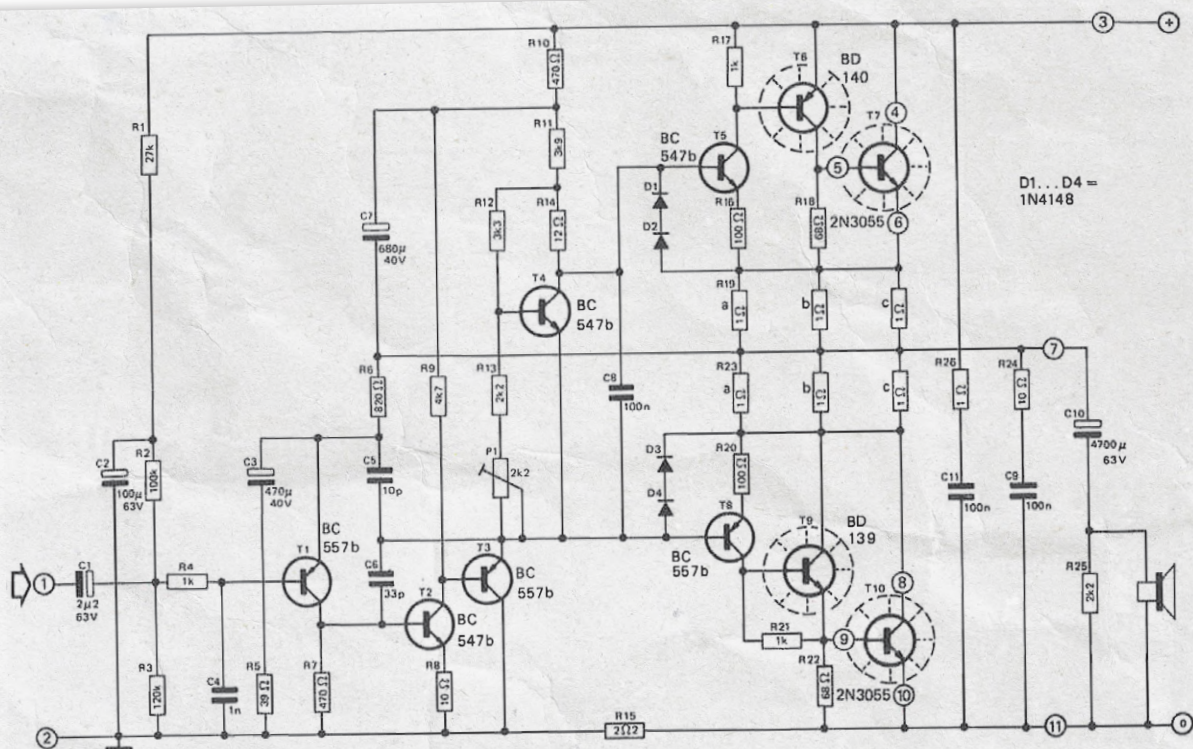


Figure 1. Le schéma original de l'amplificateur Equin (désolé pour la qualité imparfaite du scan).

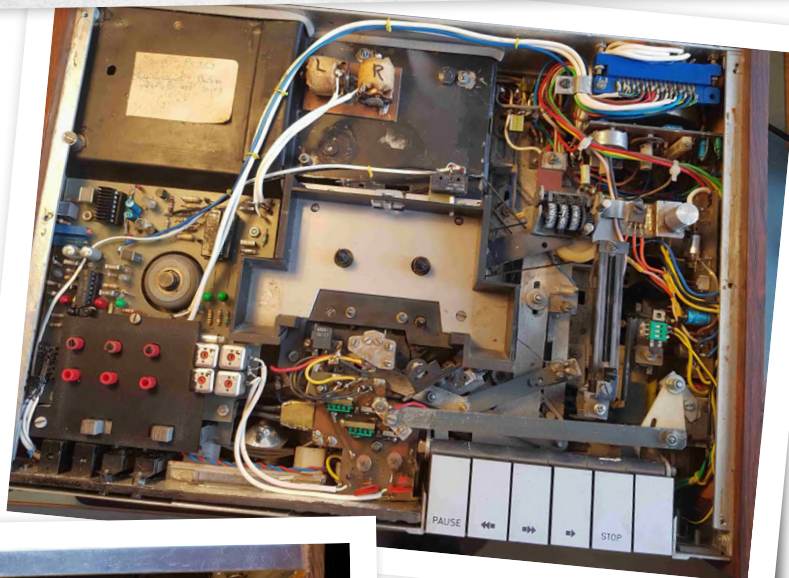


Figure 2. Le magnétophone à cassettes monté par Wim.

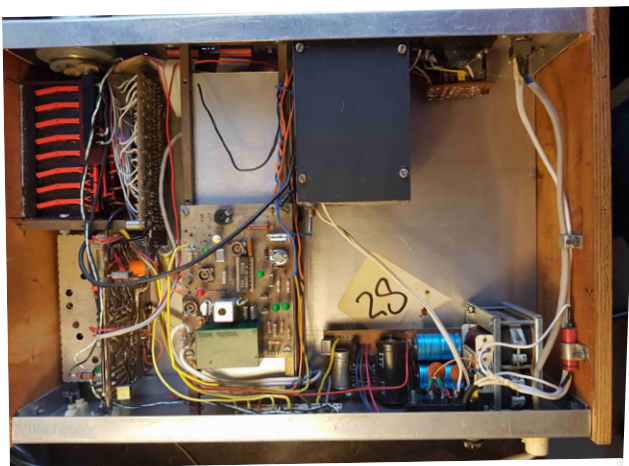


Figure 3a. Le circuit du tuner de Wim...



Figure 3b. ... et son boîtier - en cours de finition.



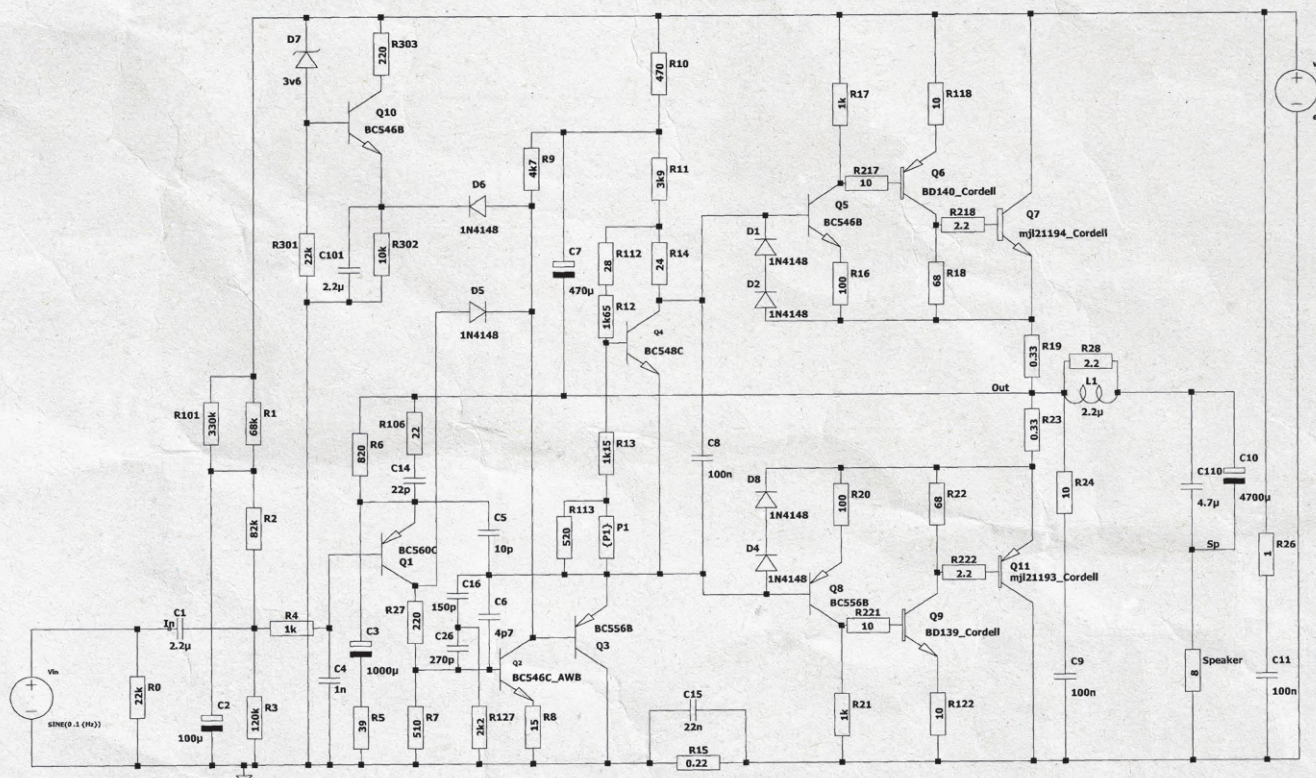



Figure 4. Schéma du nouvel amplificateur Equin.

60 V de l'amplificateur Equin dont l'alimentation des deux canaux serait aussi séparée que possible. Et contrairement à la version d'origine, je voulais que la mienne ait une alimentation stabilisée.

Le schéma de l'amplificateur Equin revu par Wim est reproduit sur la **figure 4**. Parce qu'il repose sur une contre-réaction de courant, l'Equin offre par nature une grande largeur de bande. Elle est ici encore élargie par un réseau correcteur à deux pôles, plutôt que par la traditionnelle capacité due à l'effet Miller. L'étage final comprend des transistors plus rapides (NJW21193/94). Une simulation LTSpice donne une distorsion de moins de 0,001 % à 1 kHz et avec une polarisation optimisée. La **figure 5** montre l'Equin de Wim.

Comme vous le voyez sur la photo (**fig. 6**), mon labo est de taille relativement modeste. Je ne possède pas d'appareils de mesure perfectionnés, d'où l'impossibilité pour moi de mesurer la distorsion mentionnée ci-dessus. Mais peu importe après tout, ce qui compte est le plaisir d'écoute que me procure l'Equin.

Pour finir, une astuce : je fabrique mes circuits imprimés avec la méthode « LaserJet & fer à repasser ». J'imprime le dessin du circuit sur du papier photo Hema, puis en fais fondre la poudre sur le cuivre du CI

à l'aide d'un fer à repasser. Je retire ensuite le papier par trempage dans l'eau. Un réactif d'attaque là-dessus, et le résultat est un CI parfait ! 

220056-04

## Contributeurs

Texte et photos : Wim Stok

Rédaction : Eric Bogers

Mise en page : Harmen Heida

Traduction : Hervé Moreau

## Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



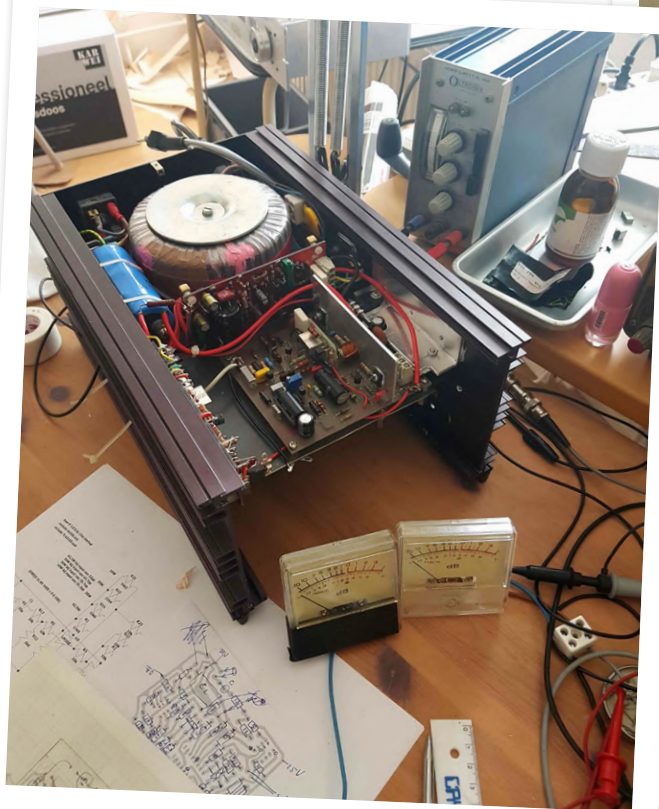


Figure 5a. L'Equin mk2 en cours de montage...



Figure 5b. ... et son boîtier.



Figure 6. Le labo de Wim, peu après son déménagement à Groningen.

## LIENS

- [1] Equin (1) (en anglais), Elektor 4/1976 : [www.elektormagazine.com/magazine/elektor-197604/57609](http://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-197604/57609)
- [2] Equin (2) (en anglais), Elektor 5/1976 : [www.elektormagazine.com/magazine/elektor-197605/57619](http://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-197605/57619)



# e-choppe Elektor

## des produits et des prix surprenants

L'e-choppe Elektor a évolué. D'abord simple commerce de proximité pour nos productions (livres, magazines, kits et modules), c'est désormais une boutique en ligne bien rodée qui propose des produits surprenants à des

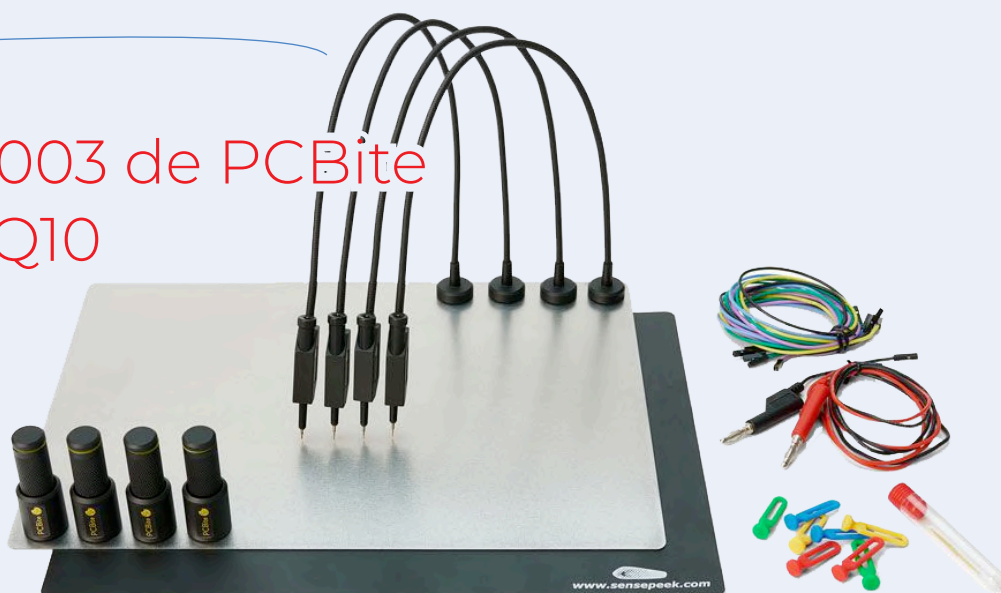
prix très étudiés. Ce sont les produits que nous aimons et testons nous-mêmes. Si vous avez une suggestion, n'hésitez pas : [sale@elektor.fr](mailto:sale@elektor.fr). Seule exigence : **jamais cher, toujours surprenant !**

### Kit Sensepeek 6003 de PCBite avec 4 sondes SQ10 et fils de test

Prix : 164,95 €

**Prix (membres) : 148,46 €**

 [www.elektor.fr/20255](http://www.elektor.fr/20255)



### Weather HAT de Pimoroni pour Raspberry Pi

Prix : 49,95 €

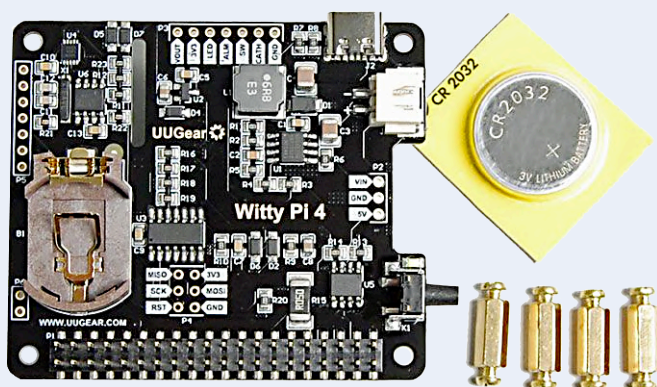
**Prix (membres) : 44,96 €**

 [www.elektor.fr/20235](http://www.elektor.fr/20235)





## Pi 4 de Witty - RTC et gestion de l'alimentation pour Raspberry Pi



Prix : 39,95 €

**Prix (membres) : 35,96 €**

[www.elektor.fr/20232](http://www.elektor.fr/20232)

## Kit D300 LiDAR de LDROBOT- télémètre laser 360° (12 m)



Prix : 79,95 €

**Prix (membres) : 71,96 €**

[www.elektor.fr/20222](http://www.elektor.fr/20222)

## Kit de sirène de style américain d'Elektor



Prix : 34,95 €

**Prix spécial : 29,95 €**

[www.elektor.fr/20218](http://www.elektor.fr/20218)

## Support de platine WLACCHHM-02 de Weller avec 4 bras magnétiques



Prix : 79,95 €

**Prix (membres) : 71,96 €**

[www.elektor.fr/20217](http://www.elektor.fr/20217)

# Une décennie d'éthique en électronique

Le regard de Tessel Renzenbrink sur la société numérique

Priscilla Haring-Kuipers  
(Pays-Bas)

Tessel Renzenbrink a rédigé pour *Elektor* des articles sur les implications sociétales des nouvelles technologies et de l'internet. Elle œuvre aujourd'hui au sein de la fondation *Netwerk Democratie*. Retour sur dix années de réflexions.



et de ce point de vue *Elektor* m'a toujours laissé une grande liberté. L'internet a une grande influence sur tout, y compris l'électronique. *Tech the Future* était au départ une entité séparée. Son contenu a ensuite été incorporé à l'infolettre hebdomadaire d'*Elektor*, puis Don Akkermans, le PDG d'*Elektor*, a décidé d'en faire une rubrique à part entière dans les pages du magazine. Je pense que Don a été l'un des premiers à réfléchir pleinement sur les effets de la technologie, un sujet qui accapare plus d'attention aujourd'hui et dont *Elektor* traite la facette électronique. *Elektor* a d'ailleurs lancé en 2021 le forum WEEF (*World Ethical Electronics Forum*) en collaboration avec *Elektronik Praxis* [1].

**Haring-Kuipers : Quels ont été les moments les plus marquants de la décennie passée ?**

**Renzenbrink :** Je me souviens particulièrement bien de l'année 2012 et des protestations que soulevèrent deux projets de loi déposés à la Chambre des représentants des États-Unis : le *Stop Online Privacy Act* et le *Protect IP Act*. Tous deux menaçaient la libre circulation de l'information sur l'internet, mais malgré une forte opposition en ligne aucun média traditionnel n'en parla. Du moins jusqu'au 18 janvier, lorsque des

milliers de sites web, dont *Tech the Future*, baissèrent leur rideau virtuel en signe de protestation. Ce « black-out » attira enfin l'attention des médias, et par ricochet celle des législateurs, qui finalement votèrent « No » contre ces deux projets de loi.

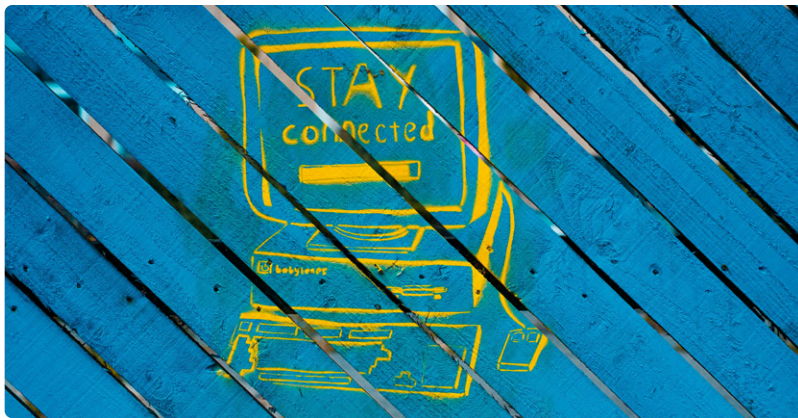
Je reste nostalgique de cette époque où aucun combat plus grand ne semblait nous attendre. Et puis, en 2013, le lanceur d'alerte Edward Snowden révéla au monde entier que l'internet était devenu un outil de surveillance massive. À peu près à la même époque est apparu l'Internet des Objets [2], laissant entrer dans nos maisons des dispositifs farcis de failles de sécurité et de fuites de données personnelles, autrement dit apportant avec eux tous les risques du monde numérique. Les possibilités offertes par l'internet, notamment la redistribution des pouvoirs, m'avaient rendu optimiste. Après Snowden, je me suis surtout intéressée aux risques.

L'affaire Snowden a entraîné une prise de conscience collective sur les conséquences négatives du numérique, mais je crois que le vrai réveil a eu lieu en 2018 avec le scandale Cambridge Analytica. Cette société utilisait les données de Facebook pour cibler certaines personnes et influencer leur vote sur le référendum du Brexit et sur les élections américaines de 2016. On s'efforce aujourd'hui de réduire les aspects négatifs des technologies numériques. L'Union européenne a ainsi adopté récemment les projets de loi DSA (*Digital Services Act*) et DMA (*Digital Markets Act*) afin de mieux contrôler les géants du numérique. Au niveau local, j'ai également constaté que l'optimisme béat des débuts avait laissé place à un regard plus critique. Il y a quelques années, Amsterdam voulait devenir une « smart city » et était soute-



*Tech the Future* m'a permis de débiter en tant que rédactrice indépendante, mais je n'étais pas très douée pour écrire vite. Ma préférence allait à l'approfondissement de sujets qui me tenaient à cœur,





(Source: Ehimetalor Akhere Unuabona, Upsplash)

nue en cela par des grandes entreprises promettant plus d'égalité sociale, plus de « durable » et plus d'efficacité grâce à leurs solutions technologiques. Plusieurs initiatives y ont opposé les « citoyens intelligents », des habitants auxquels on demande ce qu'ils attendent de leur ville au lieu de mettre en place des solutions techniques avant même de savoir s'il y a des problèmes à résoudre. Amsterdam se veut aujourd'hui une « digital city », un concept tout à fait différent. Elle a à cet effet rejoint la *Cities Coalition for Digital Rights*, une alliance dont font partie des villes comme New York et Barcelone, et dont l'objectif est de s'opposer à l'influence des géants du numérique sur la sphère locale [3].

#### Haring-Kuipers : Que faites-vous actuellement ?

**Renzenbrink :** Je suis, depuis un an et demi, codirectrice de *Netwerk Democratie* [4], une fondation qui promeut une démocratie robuste au sein d'une société numérique. Passer de la réflexion écrite à la mise en œuvre de solutions pratiques a été très intéressant. Depuis sa création en 2011, la fondation explore les outils numériques favorisant la démocratie, par exemple ceux pouvant apporter aux citoyens plus de pouvoir de décision, ou ceux susceptibles de rendre les gouvernements plus transparents. La démocratisation de la technologie fait aussi partie de



nos objectifs depuis 2021. Le numérique a eu un impact considérable sur la société, mais son développement vient souvent de grandes entreprises et de gouvernements, sans consultation démocratique. Nous

soutenons qu'il est nécessaire et possible d'appliquer des processus démocratiques pour décider ensemble de l'avenir de notre société numérique.

Récemment nous avons mis en place un labo d'intelligence artificielle afin de développer un algorithme qui pourrait être utilisé dans les rues d'Amsterdam. Nous avons demandé à des habitants quels côtés positifs et négatifs ils trouvaient à cet algorithme, s'ils souhaitaient qu'il soit appliqué dans leur ville et, si oui, avec quelles mesures de protection. Leurs réponses intéressent les développeurs, et les habitants apprécient d'avoir un mot à dire quant à l'application d'une technologie pouvant un jour influencer leur quotidien. Je n'ai pas rédigé d'article de fond depuis un moment, et cela me manque. Écrire est un bon moyen de rester informé et de prendre le temps d'approfondir un sujet. Un projet d'écriture est d'ailleurs en gestation au sein de la fondation. ◀

220303-04

### Forum mondial de l'électronique éthique 2022

En novembre 2021, Elektor a lancé à Munich le World Ethical Electronics Forum (WEEF) avec pour objectif d'ouvrir un débat public sur l'éthique et les objectifs de développement durable. Parmi les intervenants figuraient, outre les ingénieurs et rédacteurs d'Elektor : Stefan Heinemann (Professeur d'éthique commerciale à l'école de commerce



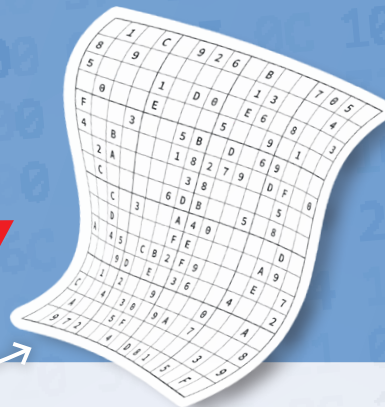
FOM), Paula Palade (PhD, Jaguar Land Rover), Margot Cooljmans (Directrice, Philips Foundation), ainsi que plusieurs autres spécialistes des questions d'éthique, dont Priscilla Haring-Kuipers. Pour en savoir plus sur le WEEF et l'édition de novembre 2022, visitez la page [www.elektormagazine.com/weef](http://www.elektormagazine.com/weef).

#### LIENS

- [1] WEEF : priorité au développement durable, pas seulement aux profits, Elektor, juillet 2021 : [www.elektormagazine.fr/news/world-ethical-electronics-forum-priorite-au-developpement-durable-et-pas-seulement-aux-profits](http://www.elektormagazine.fr/news/world-ethical-electronics-forum-priorite-au-developpement-durable-et-pas-seulement-aux-profits)
- [2] L'internet des objets, T. Renzenbrink, Elektor, décembre 2012 : [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201212/12267](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201212/12267)
- [3] Cities Coalition for Digital Rights : <https://citiesfordigitalrights.org/>
- [4] Netwerk Democratie : <https://netdem.nl/en/>

# hexadoku

casse-tête pour elektorniciens



La dernière page de votre magazine propose toujours une grille de sudoku particulière. Éteignez le fer à souder, oubliez les écrans, rangez les pinces et les fils. Faites travailler votre matière grise d'une autre façon : attrapez un crayon pour remplir la grille d'hexadoku. N'oubliez pas d'envoyer votre réponse pour tenter de gagner 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 tirons au sort cinq des réponses internationales correctes reçues dans les délais ; leurs auteurs recevront chacun un bon d'achat Elektor d'une valeur de 50 €.

## Où envoyer votre réponse ?

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé) avec vos coordonnées par courriel, avant le **15 octobre 2022** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

## LES GAGNANTS

La solution de la grille du numéro de juillet/août 2022 est **01D5C**.

La liste des gagnants est publiée ici : [www.elektormagazine.fr/hexadoku](http://www.elektormagazine.fr/hexadoku)

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

	3		0		A	1	E	9		6		5	
	D	1		C		0	6		F		7	8	
E	8			9						0		D	2
2		9		7		5		C		8		E	1
C	E		6	8		2	9	A	0		5	D	3
	1				B		5	D		7			F
F		5			7					2		0	E
			B	E	D					C	6	7	
			1	A	E					6	D	C	
3		6			1					8			4
	A				0		C	3		1			2
8	C		F	6		3	B	4	5		E	0	1
9		A		B		F			8	3		D	6
D	7			C						1			4
	F	B			A		3	C		9		2	7
	5		3			4	2	7	6			B	C

7	6	A	2	C	1	B	E	9	D	3	0	5	8	F	4
8	B	C	D	3	7	F	2	4	A	1	5	6	9	0	E
E	5	0	9	4	6	D	8	B	C	2	F	7	1	3	A
F	1	3	4	5	9	A	0	6	7	8	E	B	C	2	D
9	C	E	7	D	A	1	3	5	4	F	2	8	B	6	0
A	2	F	B	6	4	9	7	E	8	0	1	D	5	C	3
1	D	5	0	B	C	8	F	A	6	7	3	9	E	4	2
6	3	4	8	0	E	2	5	C	B	D	9	F	7	A	1
0	4	2	3	7	B	5	9	D	F	C	6	E	A	1	8
5	7	6	C	E	8	4	1	0	9	A	B	3	2	D	F
B	8	9	F	2	D	0	A	1	3	E	4	C	6	5	7
D	A	1	E	F	3	C	6	7	2	5	8	0	4	9	B
C	9	7	5	1	2	3	4	F	E	B	D	A	0	8	6
2	E	B	A	8	0	6	D	3	5	4	C	1	F	7	9
3	F	8	1	9	5	7	B	2	0	6	A	4	D	E	C
4	0	D	6	A	F	E	C	8	1	9	7	2	3	B	5

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.



# Rejoignez la communauté Elektor



Devenez membre maintenant !



- ✓ accès à l'archive numérique depuis 1978 !
- ✓ 8x magazine imprimé Elektor
- ✓ 8x magazine numérique (PDF)
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe et des offres exclusives pour les membres
- ✓ accès à plus de 5000 fichiers Gerber



Également disponible

abonnement



sans papier !

- ✓ accès à l'archive numérique d'Elektor
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe
- ✓ 8x magazine Elektor (PDF)
- ✓ accès à plus de 5000 fichiers Gerber



[www.elektormagazine.fr/membres](http://www.elektormagazine.fr/membres)



# electronica fast forward is back!

---



---

New Logo, New Concept

Do you want to see the best of  
the best start-ups and scale-ups  
within the electronics scene?

Visit us at booth  
B4.440 to get to  
know them.