

# centrale solaire sur balcon 2.0

considérations,  
faits intéressants  
et calculs

FOCUS SUR

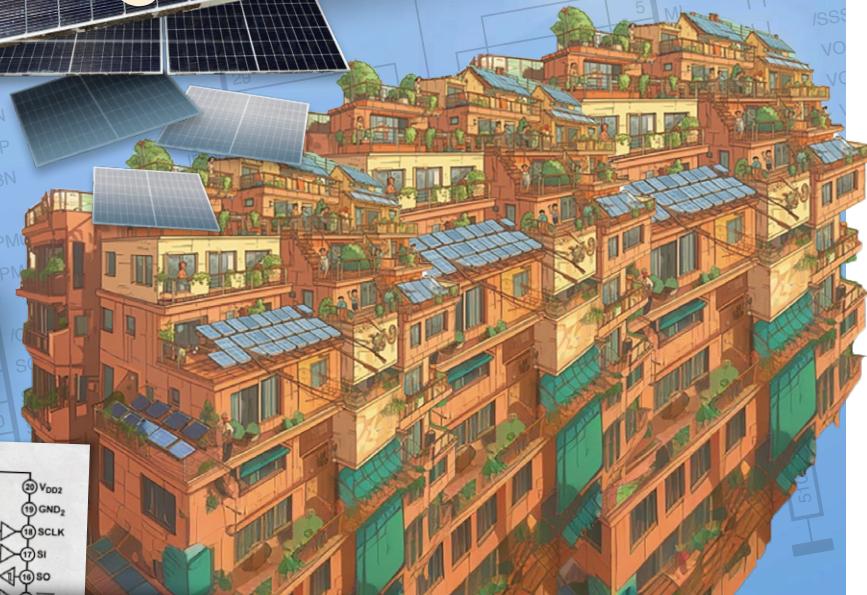
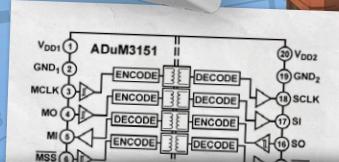
## Puissance et énergie

ESP32 avec OpenDTU

lire les données des petits onduleurs

compteur  
d'énergie basé  
sur l'ESP32

schéma du circuit



alimentation linéaire variable  
alimentation 0-50 V / 0-2 A  
+ alim symétrique double

p. 26



programmation avec ChatGPT  
projet de lévitation amélioré

p. 60



Bluetooth LE sur le STM32  
lire les mesures à distance

p. 38



# NOTRE GAMME PAR DES TECHNICIENS POUR LES TECHNICIENS



Tirer le meilleur parti de votre projet: [www.reichelt.com](http://www.reichelt.com)

## Uniquement le meilleur pour vous - provenant de plus de 1500 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.

### Nouveau - Raspberry Pi 5 B

avec 4 ou 8 Go

Avec une vitesse 2 à 3 fois supérieure à celle de la génération précédente, l'expérience Raspberry Pi est redéfinie.

- 2,4 GHz ARM Cortex-A76 Quad-Core-CPU
- VideoCore VII GPU

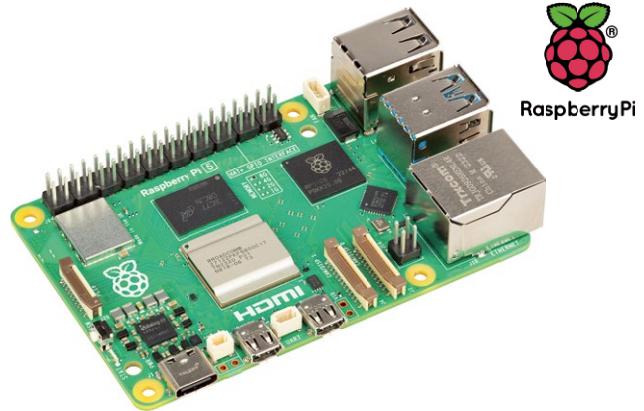
à partir de  
**69,08**

NOUVEAU

N° de commande :

(Modèle)

RASP PI 5 B 4GB	69,08	4 GB
RASP PI 5 B 8GB	93,28	8 GB



### Boîtier pour Raspberry Pi 5

framboise/blanc

Ce boîtier élégant et très robuste de la maison Raspberry Pi, n'est pas seulement chic, mais aussi de haute qualité et en plus très facile et rapide à monter.

- Dimensions (LxBxH):  
89 x 71 x 26 mm

N° de commande :  
**RASP 5 CASE RW** 10,79



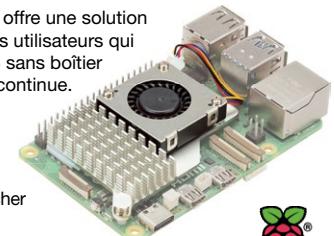
### Ventilateur Raspberry Pi

pour Raspberry Pi 5

Le refroidisseur actif de Raspberry Pi offre une solution de refroidissement alternative pour les utilisateurs qui souhaitent utiliser leur Raspberry Pi 5 sans boîtier dans des conditions de forte charge continue.

- alimentation : onboard
- Vitesse de rotation du ventilateur : variable
- pas besoin de souder, il suffit d'enficher

N° de commande :  
**RASP ACTIVE COOL** 5,85

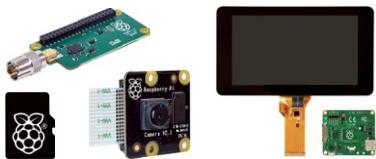


Livraison sans Raspberry Pi 5

### RASPBERRY PI CHEZ REICHELT

Découvrez notre vaste  
gamme d'accessoires

Découvrir maintenant ►  
[www.reichelt.com/raspberry-pi](http://www.reichelt.com/raspberry-pi)



Types de paiement :



PRIX DU JOUR! Prix à la date du: 12. 12. 2023

■ Excellent rapport qualité prix

■ Plus de 130 000 produits sélectionnés

■ Livraison fiable - depuis l'Allemagne dans le monde entier

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

Assistance téléphonique: +33 9 75 18 03 04

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

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, Elektronikring 1, 26452 Sande (Allemagne), tél. +33 9 75 18 03 04

47<sup>ème</sup> année n° 505  
janvier-février 2024  
ISSN 0181-7450

N° de TVA Intracommunautaire : FR90319937454

Dépôt légal : janvier 2024  
CPPAP 1125 T 83713  
Directeur de la publication : Donatus Akkermans

Elektor Magazine est publié 8 fois par an par  
PUBLITRONIC SARL - c/o Regus Roissy CDG  
1, rue de la Haye - BP 12910  
FR - 95731 Roissy CDG Cedex  
www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

**Pour toutes vos questions :** service@elektor.fr

**Devenez membre :** www.elektormagazine.fr/abo

**Publicité :** Ouafae Hassani  
Tél. : +31 (0)6 41312932  
ouafae.hassani@elektor.com  
www.elektormagazine.fr/publicité

**Tarifs Annuels :**  
France 1 an 129,95 € (8 numéros)

**Image de couverture :**  
Midjourney, éditée par Harmen Heida

**Droits d'auteur**  
© 2024 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'œuvre 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.

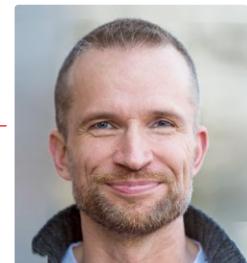
Imprimé aux Pays-Bas par Senefelder Misset,  
Mercuriusstraat 35, 7006 RK Doetinchem

Distribué en France par M.L.P. et en Belgique par  
A.M.P.



## Jens Nickel

*rédacteur en chef d'Elektor Magazine*



# Centrale solaire sur balcon 2.0

Lorsque notre auteur Thomas Scherer nous a proposé, il y a deux ans et demi, un article sur les « centrales solaires sur balcon » ([www.elektormagazine.fr/210326-04](http://www.elektormagazine.fr/210326-04)), nous n'imaginions pas l'écho que ce sujet trouverait auprès de nos lecteurs. En effet, l'article ne comportait ni schéma de circuits ni listages ! Apparemment, les calculs et la conception d'un système solaire, le montage de modules solaires et la fabrication de câbles d'alimentation ont suscité l'intérêt de *makers* parmi nos lecteurs. De plus, ils en ont profité : grâce aux modules et aux onduleurs fabriqués en série en Extrême-Orient et au prix élevé de l'électricité pour les consommateurs, les systèmes photovoltaïques sont désormais plus rentables, et ce en l'espace de quelques années. Il y a une vingtaine d'années, lorsque je travaillais pour un magazine spécialisé à destination des professionnels du photovoltaïque, la situation était tout à fait différente. À l'époque, il y avait encore beaucoup de PDG et d'experts de fabrication que je pouvais interviewer dans ma langue maternelle, l'allemand. Depuis, ils se sont tournés vers d'autres domaines d'activité, mais c'est une autre histoire.

De nombreux électroniciens se réjouissent de disposer de centrales électriques semi-finies et peu coûteuses. Dans ce domaine, vous pouvez toujours réaliser vos propres projets électroniques (voir page 18). En page 6, Saad Imtiaz, ingénieur chez Elektor, fait le point sur l'avancement de son compteur d'énergie basé sur l'ESP32. Il a également présenté un premier schéma de circuit complet et, si nous connaissons bien nos lecteurs, ils auront déjà envie de saisir leurs fers à souder après la lecture de cet article.

Ceux qui s'intéressent particulièrement aux domaines de l'énergie solaire, de l'électronique de puissance, de la mesure de l'énergie, des alimentations électriques et des batteries n'ont pas besoin d'attendre le prochain numéro thématique. Sur [www.elektormagazine.com/energy](http://www.elektormagazine.com/energy), vous trouverez des nouvelles, des interviews et des articles en ligne sur le sujet tout au long de l'année. Je serais ravie que vous visitez régulièrement ces pages et nos autres prochaines pages thématiques. Vos commentaires, vos conseils et vos projets sont les bienvenus !



## Proposez une contribution à Elektor!

Vos propositions sont les bienvenues ! Vous souhaitez proposer un article, un tutoriel vidéo ou une idée de livre ? Consultez le guide de l'auteur et la page de soumission d'Elektor :

[www.elektormagazine.com/submissions](http://www.elektormagazine.com/submissions)

## Elektor Labs : idées et projets

La plateforme Elektor Labs est ouverte à tous. Publiez des idées et des projets électroniques, discutez des défis techniques et collaborez avec les autres.

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

## notre équipe

**Rédacteur en chef :** Jens Nickel | **Rédaction :** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Hedwig Hennekens, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Clemens Valens, Brian Tristam Williams | **Contributeurs réguliers :** David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, Prof. Dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | **Maquette :** Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | **Des questions techniques :** [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)

# optimisation des centrales solaires sur balcon

considérations,  
faits intéressants  
et calculs

10



## Rubriques

- 3 Édito**
- 35 2024 : l'Odyssée de l'IA**  
sans répit
- 74 drôles de composants**  
les composants à cathode froide
- 76 sur le vif**  
nostalgie
- 78 démarrer en électronique...**  
...les FET
- 106 visite à domicile**  
naguère, dans un pays lointain...
- 108 Ethics in Electronics**
  - interview de Doris Wagner, Messe Munich
  - les lignes directrices de l'OCDE et la loi allemande sur le devoir de diligence dans la chaîne d'approvisionnement
- 120 projet 2.0**  
corrections, mises à jour et courriers des lecteurs



compteur d'énergie  
basé sur l'ESP32  
le schéma du circuit

6

## Articles de fond

- 10 optimisation des centrales solaires sur balcon**  
considérations, faits intéressants et calculs
- 32 le stockage d'énergie aujourd'hui et dans le futur**  
interview de Simon Engelke
- 38 Bluetooth LE sur le STM32**  
un moyen de lire les mesures à distance
- 50 MAUI : programmation pour PC, tablettes et smartphones**  
le nouveau framework en théorie et en pratique
- 97 test et mesure USB**  
le FNIRSI FNB58
- 102 l'outil Pick-and-Place manuel Pixel Pump**  
simplifier l'assemblage manuel des cartes CMS

## Industrie

- 86 Infographie : puissance et énergie**
- 88 assistance complète à la conception et au développement**  
les services d'ingénierie d'Arrow
- 90 comparatif entre densité de puissance et rendement énergétique**
- 94 condensateurs électrolytiques en aluminium**  
sources potentielles de distorsions en technologie audio

**MAUI :**  
programmation pour PC,  
tablettes et smartphones  
le nouveau framework  
en théorie et en pratique

50

**régulateur de puissance PV simple**  
réalisez votre premier système de gestion de l'énergie photovoltaïque entièrement fonctionnel

68

## Projets

- 6 **mise à jour du projet : compteur d'énergie basé sur l'ESP32**  
prochaines étapes du prototypage
- 18 **ESP32 avec OpenDTU pour les centrales sur balcon**  
relever les données des petits onduleurs avec des microcontrôleurs
- 26 **alimentation linéaire variable Ensemble**  
alimentation 0-50 V / 0-2 A + alim symétrique double
- 46 **boîte de conservation intelligente centrée sur l'être humain**
- 60 **ChatMagLev**  
lévitation magnétique - version IA
- 68 **régulateur de puissance PV simple**  
réalisez votre premier système de gestion de l'énergie photovoltaïque entièrement fonctionnel
- 81 **tutoriel bus CAN pour l'Arduino UNO R4**  
deux UNO R4 connectés au bus
- 114 **Chadèche :**  
**chargeur/déchargeur intelligent pour accus NiMh**  
résumé d'un projet de lecteur



**alimentation linéaire variable**  
alimentation 0-50 V / 0-2 A  
+ alim symétrique double

26

## Bientôt dans ces pages

### Le numéro de mars et avril 2024

Vous retrouverez dans le prochain magazine Elektor l'habituel mélange stimulant de réalisations originales, de circuits, d'articles de fond, de sujets nouveaux, de trucs et d'astuces pour les électroniciens. Le thème de ce numéro sera "systèmes embarqués et IA".

- Détection d'objets avec Raspberry Pi
- Adaptateur ESP32-RS232
- Enregistreur de données de température pour la protection contre le gel
- Démarrer avec Zephyr OS
- Apprentissage automatique avec Jetson Nano
- Programmation parallèle sur microcontrôleurs
- Programmation BLE sur smartphone
- FPGA abordables : tutoriel pour les débutants
- Compter les objets avec Edge Impulse

Le numéro de mars - avril 2024 du magazine Elektor sera publié aux alentours du 13 mars 2024. La date d'arrivée du magazine papier chez les abonnés dépend des aléas d'acheminement.

**FOCUS SUR**

**Puissance et énergie**



mise à jour du projet :

# compteur d'énergie basé sur l'ESP32

Prochaines étapes du prototypage

**Saad Imtiaz (Elektor)**

Dans le premier épisode de cette série, nous avons exploré la conception de base du compteur d'énergie d'Elektor. Dans cet épisode, nous nous concentrerons sur la phase suivante du projet de compteur d'énergie basé sur l'ESP32, en mettant l'accent sur les schémas détaillés, les méthodes d'isolation des circuits et les principales améliorations.



Figure 1. Rendu du compteur d'énergie Elektor.

Nous avons commencé à développer un compteur d'énergie fiable et convivial basé sur le microcontrôleur ESP32. Dans notre article précédent, " Prototypage d'un compteur d'énergie basé sur l'ESP32 " [1], nous avons discuté des exigences de conception initiales, du schéma fonctionnel et de l'idée de départ de ce projet. Avant de faire le point sur ce projet, récapitulons. Le schéma fonctionnel du compteur d'énergie est illustré dans la **figure 1**.

Nous nous sommes concentrés sur la surveillance de la consommation électrique en temps réel, en mettant l'accent sur la sécurité et l'accessibilité financière. Pour que la mesure de l'énergie soit précise, nous avons opté pour l'ATM90E32AS d'Atmel, un circuit intégré de comptage d'énergie polyphasée [2]. Ce circuit intégré reçoit la tension monophasée du secteur et utilise des transformateurs de courants ouvrants pour mesurer le courant en toute sécurité. Nous avons choisi

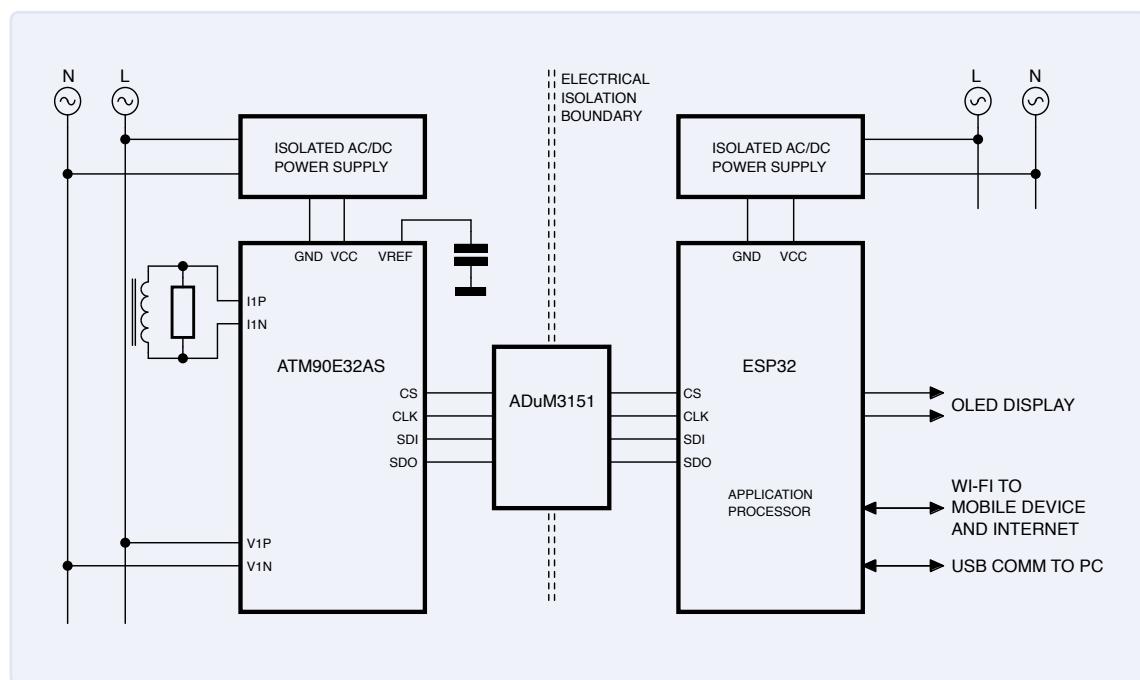


Figure 2. Schéma fonctionnel du compteur d'énergie d'Elektor.

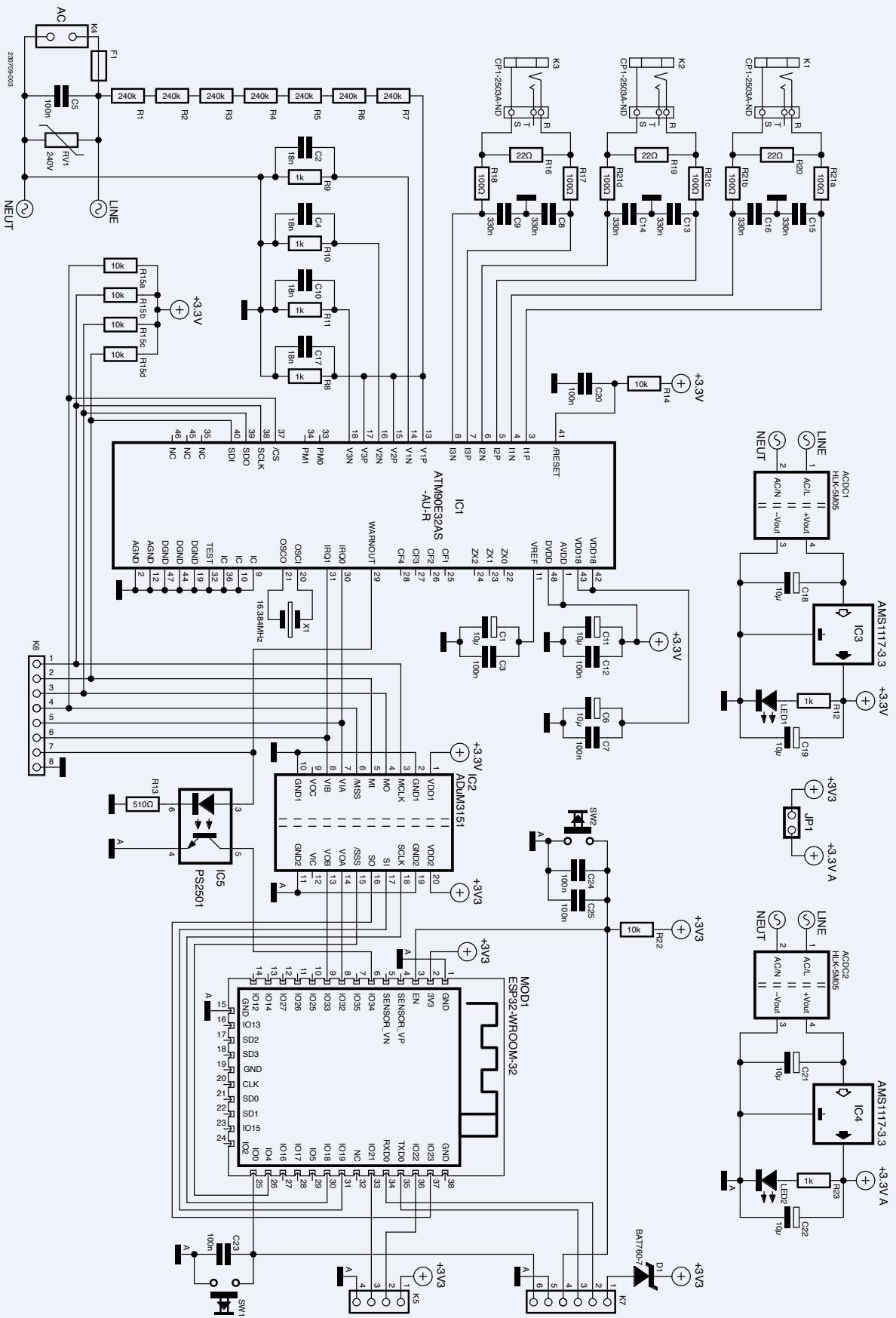


Figure 3. Schéma du circuit.



Figure 4. Le YHDC SCT013. (Source : YHDC)

le microcontrôleur ESP32 car il est doté d'une fonction Wifi intégrée et est très abordables par rapport à d'autres microcontrôleurs. La **figure 2** présente le diagramme actuel du projet. Les dimensions prévues du compteur d'énergie final est de 100×80×30 mm (L×l×h), mais, pour le prototype, notre circuit imprimé est de 100×100 mm. Le but de concevoir ce prototype est de prouver le concept et, par la suite, si nous réussissons, nous réduirons les dimensions à 100×80 mm ou même moins pour la version finale. L'objectif principal de la fabrication de ce compteur d'énergie était de créer un appareil compatible avec l'IdO, abordable, capable d'effectuer des mesures précises et de fournir des données énergétiques en temps réel à l'utilisateur via un appareil mobile, de sorte que l'utilisateur puisse suivre sa consommation d'énergie en temps réel et améliorer sa consommation d'énergie. Dans cet article, nous examinons plus en détail l'évolution du projet, en mettant l'accent sur le schéma, l'isolation du circuit et les améliorations principales que nous avons apportées depuis notre idée initiale.

## Schéma du circuit

Le cœur de notre projet réside dans son schéma. Le microcontrôleur ESP32 reste au cœur de notre circuit, permettant un interfaçage transparent avec l'ATM90E32AS pour la mesure de l'énergie. Notre schéma mis à jour reflète une approche plus rationalisée, réduisant le bruit et améliorant l'intégrité du signal, l'isolation du circuit, et plus encore. La **figure 3** présente le schéma complet du projet.

Le circuit ATM90E32AS (IC1) est au cœur de ce projet, il connecte la tension secteur avec sept résistances de 240 k (R1...R7) aux broches V1P, V2P, et V3P. Pour simplifier : toutes ces broches seront alimentées par la tension monophasée du secteur. Vous pourriez vous demander pourquoi ne pas utiliser un transformateur au lieu de ces résistances ? Parce que nous avons des contraintes de taille et de coût liées à l'approche que nous avons adoptée. Outre leurs dimensions réduites, les résistances présentent un autre avantage, à savoir un retard de phase moins élevé. Les transformateurs peuvent introduire un retard de phase entre les enroulements primaire et secondaire, ce qui peut affecter la synchronisation et la précision des relevés de tension lors des mesures d'énergie. L'utilisation de résistances permet de réduire considérablement ce retard de phase, ce qui peut améliorer la précision des relevés de tension en temps réel. Cependant, l'utilisation de ces résistances en série présente un inconvénient majeur : l'absence d'isolation galvanique. Nous y reviendrons plus loin dans cet article. Passons maintenant à la mesure du courant : nous utiliserons des trans-

formateurs à bobine (CT). Les connecteurs K1-K3 sont des connecteurs jack audio auxquels sera connecté le SCT013 de YHDC, qui est un TC à noyau fendu (voir **figure 4**). Nous avons choisi ce transformateur pour son coût avantageux, sa facilité d'utilisation et ses caractéristiques non invasives.

Le compteur d'énergie est alimenté par deux modules Hi-Link HLK-5M05 ACDC1/2, afin d'assurer une isolation galvanique entre le microcontrôleur et le circuit du compteur d'énergie, protégeant ainsi des risques de haute tension. Les régulateurs AMS1117-3.3 fournissent une alimentation stable de 3,3 V, nécessaire à l'ESP32 et à d'autres composants basse tension. La sécurité est encore renforcée par des fusibles (F1) pour la protection contre les surintensités et une varistance à oxyde métallique (MOV) (R23) contre les crêtes de tension. Pour le diagnostic, les LED1 et LED2 indiquent l'état de l'alimentation et du fonctionnement. Le connecteur K6 est relié à toutes les sorties du microcontrôleur pour le débogage.

## Isolation du circuit

Dans le schéma, vous avez peut-être remarqué deux masses DC, GND et GNDA. La borne GND est connectée à IC1 et est également connectée au neutre du secteur. GNDA est une borne isolée connectée à l'ESP32-WROOM-32D, qui est MOD1. Pour des raisons de sécurité, il est impératif d'isoler l'ESP32 du neutre du secteur. IC1 n'ayant pas d'isolation galvanique, il est impératif d'isoler ces composants l'un de l'autre. Maintenant, la question est de savoir comment le signal SPI entre ces deux puces sera transmis. C'est ici que IC2, un ADuM3151 d'Analog Devices, entre en jeu.

L'ADuM3151 joue un rôle principal pour assurer une communication sécurisée entre IC1 et l'ESP32-WROOM-32D, en assurant l'isolation galvanique des lignes SPI. La **figure 5** présente le schéma fonctionnel de l'IC2 [3]. Il utilise des coupleurs inductifs pour transmettre les signaux numériques à travers une barrière d'isolement, protégeant

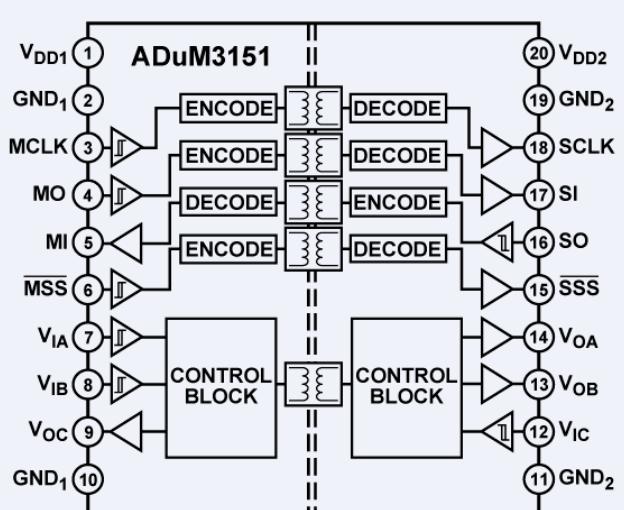


Figure 5. Schéma fonctionnel du SPI isolateur ADuM3151. (Source : Analog Devices [3])

efficacement l'ESP32 connectée à l'ordinateur des transitoires haute tension du secteur. Ce choix est crucial pour éviter les dommages pendant la programmation et le débogage, tandis que sa capacité à prendre en charge plusieurs canaux isolés garantit une communication SPI fiable et sécurisée, préservant l'intégrité des données et s'alignant sur les objectifs de sécurité et de performance du projet.

## Interface utilisateur

Nous avons conçu l'interface utilisateur informative et conviviale pour le compteur d'énergie basé sur l'ESP32. Un écran OLED, connecté au connecteur K5, qui est interfacé avec les broches I<sup>2</sup>C de l'ESP32, servira d'afficheur principal. Cet écran affichera toutes les données pertinentes à l'utilisateur en temps réel, y compris les mesures de consommation d'énergie et l'état du système. Le choix de la technologie OLED garantit une visibilité claire et une interface conviviale. En plus de l'écran, le projet propose un serveur web hébergé sur l'ESP32. Cette interface web reproduira les données affichées sur l'écran OLED, offrant ainsi aux utilisateurs un autre moyen de contrôler leur consommation d'énergie. L'équipe de développement se consacre à la création d'une interface utilisateur web et d'une expérience utilisateur conviviales, garantissant l'accessibilité et l'exhaustivité de l'affichage de données. Ces deux interfaces permettent aux utilisateurs d'interagir avec le compteur d'énergie à la fois avec le matériel et à distance, améliorant ainsi la convivialité globale du système.

## Prochaines étapes

Alors que le projet avance, nous avons envoyé la conception initiale du circuit imprimé à la fabrication. À sa réception, nous nous concentrerons sur le micrologiciel du projet. Le développement du micrologiciel consistera à programmer l'ESP32 pour qu'il traite et affiche avec précision les données de consommation d'énergie, qu'il gère le serveur web et qu'il garantisse une communication fluide entre tous les composants.

Dans le futur, nous envisageons d'intégrer des fonctionnalités supplémentaires afin d'améliorer le fonctionnement du compteur d'énergie. Il s'agira notamment d'ajouter :

- Une surveillance à distance : permettant aux utilisateurs de vérifier leurs données de consommation d'énergie à distance où via l'interface web.
- Des alertes et notifications : implémentation d'un système permettant d'alerter les utilisateurs en cas de profils de consommation d'énergie inhabituels ou de problèmes potentiels du système
- Des outils d'analyse de données : intégration d'outils d'analyse dans l'interface web pour aider les utilisateurs à comprendre les tendances de leur consommation d'énergie et à identifier les possibilités d'amélioration de l'efficacité.

## LIENS

[1] Saad Imtiaz, "compteur d'énergie basé sur l'ESP32", Elektor - édition spéciale 2023: [www.elektormagazine.com/230646-04](http://www.elektormagazine.com/230646-04)

[2] ATM90E32AS Poly-Phase Energy Metering IC : [www.microchip.com/en-us/product/atm90e32as](http://www.microchip.com/en-us/product/atm90e32as)

[3] Analog Devices Inc. Isolateurs numériques ADuM3151 SPIisolator™ : [www.mouser.fr/new/analog-devices/adi-adum3151-isolators](http://www.mouser.fr/new/analog-devices/adi-adum3151-isolators)

Nous nous engageons à améliorer et à innover en permanence, en tenant compte du retour des utilisateurs pour orienter les améliorations futures. L'objectif est non seulement de fournir un appareil fiable de mesure de la consommation, mais aussi de permettre aux utilisateurs de mieux surveiller leur consommation d'énergie, ce qui permet la prise de conscience et l'efficacité. 

230709-04

## Questions ou commentaires ?

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

## À propos de l'auteur

Saad Imtiaz (ingénieur senior, Elektor) est un ingénieur mécatronicien avec cinq ans d'expérience dans les systèmes embarqués, les systèmes mécatroniques et le développement de produits. Il a collaboré avec de nombreuses entreprises, allant des startups aux entreprises mondiales, sur le prototypage et le développement de produits. Saad a également travaillé dans l'industrie aéronautique et a dirigé une startup technologique. Il a récemment rejoint Elektor et participe au développement de projets logiciels et matériels.



## Produits

- **Carte de développement LILYGO T-Display-S3 ESP32-S3**  
[www.elektor.fr/20299](http://www.elektor.fr/20299)
- **Carte de développement ESP-C3-12F-Kit (4 Mo Flash)**  
[www.elektor.fr/19855](http://www.elektor.fr/19855)
- **Joy-IT NodeMCU ESP32**  
[www.elektor.fr/19973](http://www.elektor.fr/19973)



# optimisation des centrales solaires sur balcon

## Considérations, faits intéressants et calculs

Thomas Scherer (Allemagne)

Le battage médiatique autour de la technologie solaire en général et des centrales sur balcon en particulier s'est poursuivi sans relâche depuis le début de la guerre en Ukraine (et l'incertitude qui en découle quant à l'approvisionnement en énergie en Europe centrale). Depuis notre dernier article en 2021, l'offre et les ventes dans ce secteur ont connu une croissance considérable et les prix sont plus bas que jamais. Les informations présentées dans cet article vous permettront de vous lancer plus facilement !

Une guerre fait rage depuis le 24 février 2022, qui a provoqué des pénuries et une hausse des prix de l'énergie en dehors de l'Ukraine également. La réduction de l'approvisionnement en gaz en provenance de Russie a clairement montré, notamment en Europe centrale, que la protection de l'environnement n'est pas gratuite. En Allemagne et au Danemark, le coût d'un kWh d'électricité a parfois dépassé 0,40 €, ce qui a pesé non seulement sur les industries à forte consommation d'énergie, mais aussi sur Monsieur et Madame Tout-le-monde.

En réponse, le gouvernement allemand a renoncé à toute TVA sur les produits solaires (y compris les coûts d'installation des systèmes solaires) à partir de 2023. En conséquence, les petites et grandes installations solaires, également appelées centrales sur balcon, ont connu un essor incroyable, ce qui a entraîné une forte baisse des prix. En 2023, tous les magazines scientifiques, les grands magazines d'information et les quotidiens ont publié des articles sur les centrales sur balcon. Elektor avait déjà publié un article en 2021 [1] ; récemment, il y a même eu un numéro spécial entier consacré à ce sujet [2]. Il est donc évident que l'intérêt et le besoin d'information sont toujours aussi importants.

### Qu'est-ce qu'une centrale solaire sur balcon ?

Une centrale solaire sur balcon est un petit générateur photovoltaïque. Comme son nom l'indique, elle est si petite que vous pouvez l'installer sur un balcon. Mais cette définition n'est pas exhaustive.

Il s'agit d'un système solaire de faible puissance. Dans l'Union européenne, les installations dont la puissance de crête est inférieure

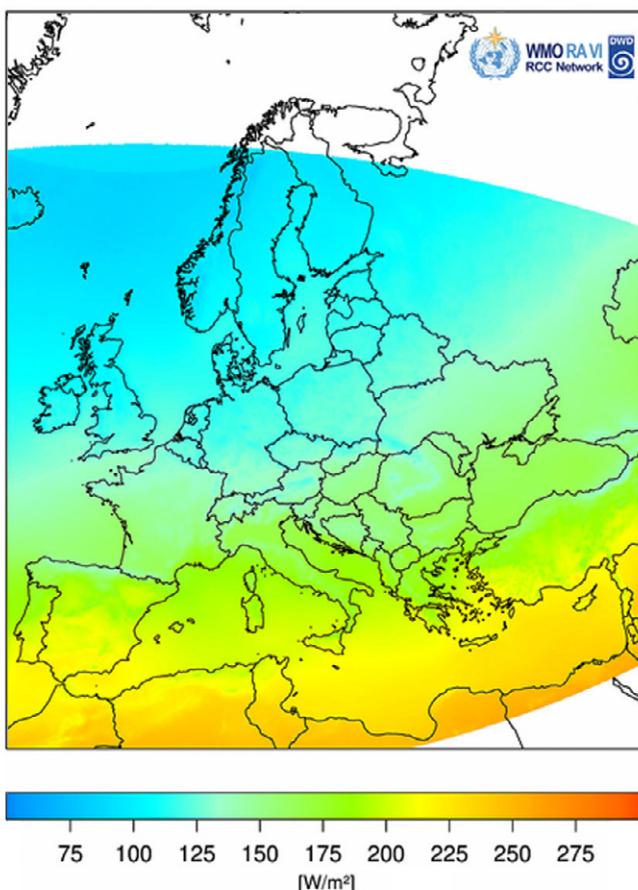
à 800 Wc se situent en dessous du seuil à partir duquel la bureaucratie s'en mêle, avec sa paperasse et ses frais. C'est votre droit d'installer un tel système et personne ne peut vous en empêcher (tant que l'insatallation est sûre) ou l'écraser sous le poids de la bureaucratie. En Allemagne, cependant, les choses ne sont pas aussi simples, car la puissance est limitée à un maximum de 600 W (à partir de fin 2023) et, en raison de la structure fédérale, chaque État fédéral a ses propres conditions d'approbation par les opérateurs de réseau respectifs. Cependant, la démarche bureaucratique reste bien simple que pour les "vrais" systèmes solaires d'une puissance supérieure à 600 W. En outre, la bureaucratie devrait bientôt être encore réduite et la limite de 600 W devrait être portée à la limite européenne de 800 W.

L'objectif est également important : une centrale sur balcon n'est pas destinée à injecter de l'électricité sur le réseau public et à être rémunérée pour cela. Les revenus escomptés n'auraient aucun sens du point de vue économique, compte tenu des frais qui y sont liés. La centrale sur balcon est plutôt censée produire juste assez d'énergie électrique pour alimenter vos appareils domestiques lors du temps de repos, qui est causée par exemple par la pompe de circulation du chauffage, le réfrigérateur, le routeur Internet et d'innombrables adaptateurs de courant enfichables. Tout surplus est injecté au réseau de l'opérateur afin que le petit système reste simple et peu coûteux. Cela a des conséquences en termes de dimensionnement.

Une centrale sur balcon se compose d'un ou de plusieurs modules solaires et d'un onduleur approprié pour convertir la tension continue en tension alternative de 230 V compatible avec le réseau, afin de l'injecter sur le réseau électrique public. Cela soulève des questions concernant la conception appropriée du système, les coûts, la qualité des composants et d'autres facteurs.

## Global Radiation Europe

Reference Mean (1983 - 2005)



## Global Radiation Germany

Based on satellite data and ground measurements of the DWD network

Mean of Years (1981 - 2010)

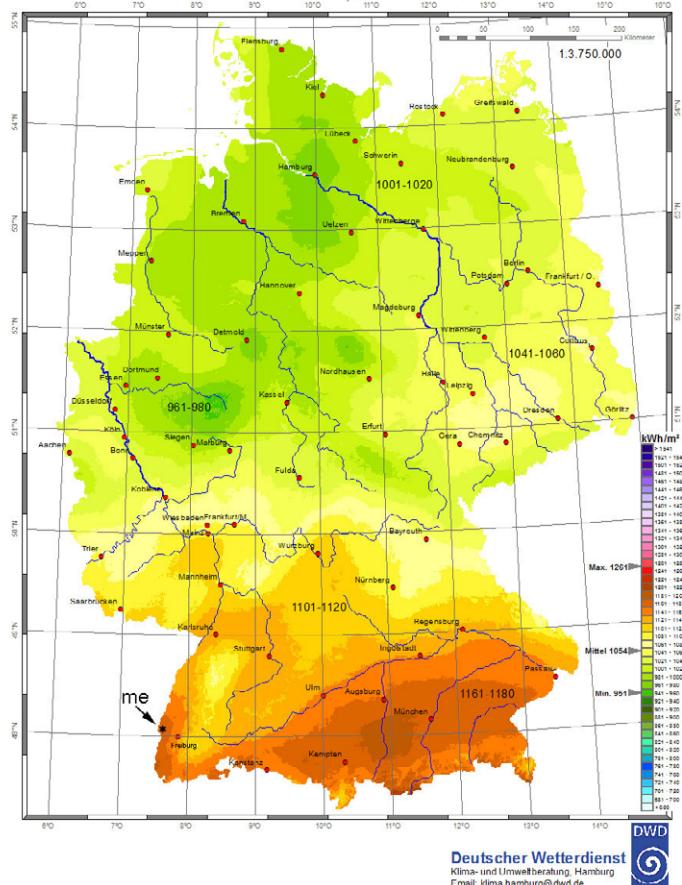


Figure 1. Cartes de rayonnement solaire du service météorologique allemand (DWD) (Source : [3]).

## Efficacité économique

Outre les avantages écologiques incontestables de l'autoproduction d'énergie électrique, il est certainement important de savoir dans quelle mesure l'achat et l'installation d'une centrale sur balcon sont économiquement viables. De nombreux chiffres circulent sur Internet, qui sont parfois exagérés ou du moins très optimistes. Il est toutefois possible de déterminer avec une fiabilité raisonnable le rendement escompté d'une installation solaire. Les paragraphes suivants décrivent la marche à suivre.

Tout d'abord, la hauteur est importante car elle détermine non seulement l'angle sous lequel les rayons du soleil atteignent la surface de la terre, mais aussi la valeur cumulée de l'énergie solaire que l'on peut attendre d'une zone donnée au cours d'une année. On peut compenser la hauteur en ajustant l'angle d'installation des modules solaires, mais il faut accepter les conséquences liées à l'emplacement du bâtiment. Le service météorologique allemand fournit des cartes de rayonnement [3], à partir desquelles il est possible de se renseigner sur l'énergie solaire moyenne par an (figure 1) et d'obtenir bien d'autres informations. Vous pouvez même trouver sur Internet des calculateurs de rendement solaire très utiles. Des cartes et des outils de calcul pour d'autres pays sont également disponibles en ligne. Que vous installiez votre centrale sur balcon sur la côte de la mer du Nord ou dans le sud de l'Allemagne, que vous viviez en Scandinavie, en Afrique du Nord ou même au Mexique.

En Allemagne, on peut s'attendre à une moyenne d'environ 1 MWh/m² par an. Cela va de ma maison dans le sud de Bade avec environ 1,2 MWh/m² à environ 900 kWh/m² entre Flensburg et Kiel. Outre ce rayonnement solaire "général", le climat local doit également être pris en compte. Le fait de vivre sur le versant d'une montagne ou d'une chaîne de montagnes face à la direction principale du vent (au vent) ou à la direction opposée (sous le vent) fait une grande différence. Il pleut plus et plus fort dans les endroits exposés au vent, ce qui signifie qu'il y a plus de nuages que dans les endroits exposés au vent. Même la pollution atmosphérique (surtout en hiver) a une influence. Il faut donc prévoir au moins 10 % de variance supplémentaire. Selon ces critères, j'ai de la chance : je vis dans le sud de Bade, dans la plaine du Rhin, du côté sous le vent des grandes montagnes des Vosges. Au moins en été, je peux clairement obtenir des rendements plus élevés que dans la ville voisine de Fribourg, par exemple, car il faut s'attendre à plus de nuages dans cette ville à cause du vent, bien que la latitude géographique soit la même. Avec ma première centrale sur balcon, dont les deux panneaux de 330 Wc mesurent au total 3,2 m² (voir **figure 2**), j'ai calculé une production journalière brute maximale de 1,2 MWh/m² × 3,2 m² = 3,84 MWh par an, en fonction de ma situation géographique. Malheureusement, les cellules solaires n'ont pas un rendement de 100 %. Les panneaux que j'ai utilisés ont atteint un peu moins de 20 %, ce qui se traduirait par une récolte annuelle de 770 kWh/an. En raison de l'orientation non optimale vers le sud et



Figure 2. Les deux panneaux de 330 Wc de ma première centrale sur balcon installés sur un auvent.

d'un angle d'installation trop plat, j'ai calculé avec seulement 75 % de la valeur optimale, ce qui donnerait tout de même 580 kWh/an. Cependant, l'alimentation maximale de 600 W de l'onduleur installé à l'époque n'a pas pu être pleinement utilisée. Une partie de l'énergie produite finit généralement sur le réseau comme cadeau pour le grand public. Dans mon cas, la charge de base est un peu plus élevée que la moyenne à cause de deux réfrigérateurs, d'un grand congélateur, d'un chauffage central avec deux pompes, de tous les équipements électroniques habituels, y compris un PC avec moniteur dans mon bureau, et une télévision allumée plusieurs heures par jour. J'ai donc supposé que j'utiliserais moi-même environ 75 % de l'électricité, ce qui signifiait que je pouvais espérer économiser un peu moins de 430 kWh en termes réels, ce qui aurait représenté environ 125 €/an au prix de l'électricité de 0,30 €/kWh à l'époque. La centrale sur balcon a coûté environ 600 € et aurait été amortie en quatre ans.

Cependant, le rendement était en fait plus élevé après un an et deux ans. J'ai atteint un apport brut de 630 puis 670 kWh/an (voir **figure 3**), ce qui peut probablement s'expliquer par ma localisation idéale en termes d'énergie solaire avec peu de nuages. Cela s'est également reflété de manière adéquate sur le compteur d'électricité, puisque la consommation d'électricité était inférieure d'environ 500 kWh/an à celle des années précédentes.

Si vous habitez plus au nord et que vous devez vivre avec un rayonnement global d'environ 1 MWh/m<sup>2</sup> par an, vous pourriez donc vous attendre à une récolte d'environ 460 kWh/an avec un système par ailleurs identique. En revanche, la proportion d'autoconsommation devrait être plus élevée, de sorte que vous pouvez finalement vous attendre à une facture d'électricité réduite de 350 à 400 kWh. Cependant, ce calcul s'applique à la situation il y a 2,5 ans.

Aujourd'hui, le rendement des cellules solaires s'est légèrement amélioré pour atteindre 21 à 22 % et, en outre, des panneaux plus grands sont désormais utilisés à moindre coût. Aujourd'hui, grâce aux progrès techniques et aux nouvelles réglementations, on peut s'attendre à des économies supérieures de 25 % à celles de ma première centrale sur balcon.

## Plus de puissance

Legal changes are currently underway in Germany that will finally allow the 800 W permitted in many other EU countries for balcony power plants. This was not only reason enough for a hardware update on my part, but should also be reason enough for you to opt for an output of more than 600 W if you are now planning a balcony power station. If you buy a solar inverter with 800 W or more today, you can normally still use it immediately, because you can either throttle many of these models to 600 W yourself or even buy them already throttled. Once the 600 W limit has been waived, you can simply switch the inverter back to 800 W. Even

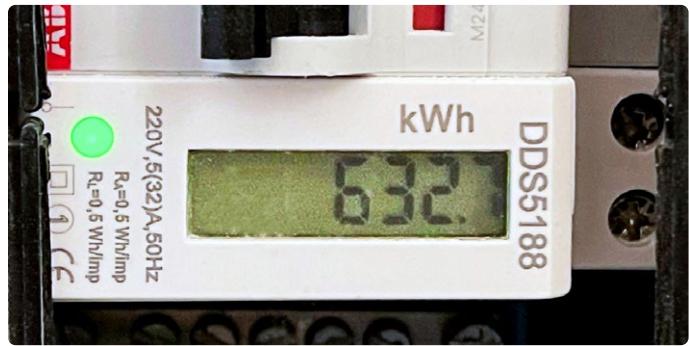


Figure 3. Énergie récoltée après un an d'exploitation de la première centrale sur balcon.

larger inverters can make sense, but more on that later.

En plus, les prix des panneaux ont chuté de façon spectaculaire depuis le début de l'année 2023, et pas seulement à cause de la TVA qui est actuellement supprimée en Allemagne. Il est actuellement possible d'acheter des panneaux d'une puissance maximale de 425 Wc ("c" correspond à "crête") pour moins de 100 €. Les panneaux plus puissants sont également un peu plus grands, car l'augmentation du rendement d'un peu moins de 20 % à plus de 21 % n'est pas suffisante pour atteindre cette augmentation de puissance. Mes panneaux ont une taille standard de 176,2×113,4 cm (voir **figure 4**). Les frais de transport sont importants car on ne peut plus transporter les modules dans une voiture normale – pas même dans un break (contrairement aux anciens modèles 330 Wp). Les commandes groupées sont intéressantes ici si vous pouvez trouver des acheteurs parmi vos amis ou les membres de votre famille.

En Allemagne, les panneaux de grande taille se heurtent encore à un obstacle juridique : les modules solaires d'une surface de plus de 2 m<sup>2</sup> ne sont pas approuvés pour une installation sur le toit. J'ai eu de la chance car mes panneaux font exactement 1,998108 m<sup>2</sup>. En réponse à une demande adressée au ministère fédéral allemand des Affaires économiques et du Plan climat, on m'a dit que la limite de surface sera portée à 3 m<sup>2</sup> dans le cadre de la législation proposée "Solarpaket II" [4], ce qui permettra alors d'avoir des panneaux de plus de 550 Wc.

Pour une centrale sur balcon moderne, vous devriez donc opter pour des panneaux de plus de 400 Wc et bientôt probablement pour ceux de plus de 500 Wc. Si vous envisagez un système avec un seul module pour des raisons d'encombrement, vous devriez acheter un onduleur de 400 W auquel un seul module peut être raccordé. Les prédecesseurs de 300 W sont donc déjà obsolètes et ne peuvent être vendus qu'à un prix très réduit. Il en va de même pour un système à deux panneaux : si nécessaire, achetez un onduleur d'une puissance de 800 W qui peut être limité à 600 W et connectez-y deux panneaux de plus de 400 Wp. Malheureusement, les panneaux de plus de 2 m<sup>2</sup> sont encore un rêve du futur et ne seront probablement pas légaux avant un certain temps en 2024.

Toutefois, avant de cliquer sur "Acheter", nous vous recommandons de lire cet article dans son intégralité, car il y a quelques points à prendre en compte.

## Dimensionnement

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'objectif d'une centrale sur balcon est de couvrir l'"autoconsommation" de votre maison ou appartement. Dans presque tous les cas, la puissance de base requise restera bien en dessous de 600 W et tendra à se situer entre 100 et 200 W. Si votre centrale sur balcon fournit plus de puissance que nécessaire, une plus grande partie du surplus sera simplement injectée sur le réseau, ce qui est économiquement inutile pour

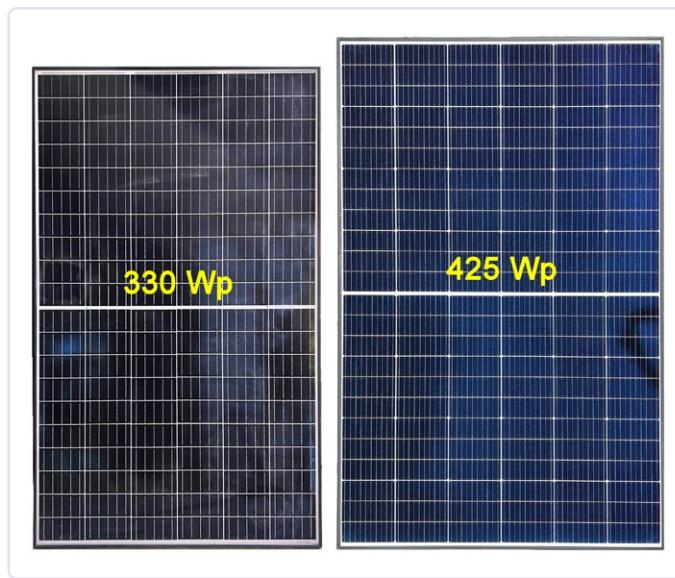


Figure 4. Comparaison de dimensions entre mes anciens panneaux de 330 Wc et les nouveaux panneaux de 425 Wc.

vous. Alors pourquoi un dimensionnement plus ambitieux a-t-il encore du sens ?

Comme vous le savez, un système solaire ne fournit pas d'énergie la nuit, même au clair de lune. Supposons que vos besoins en énergie électrique soient de 100 W. Cela correspond à un besoin énergétique annuel de 876 kWh. Pour un ménage typique de deux personnes, cela représente près d'un tiers du besoin total. En moyenne, la nuit dure 12 h/j - la moitié de cette consommation de base = 438 kWh/an est donc inévitable, à moins vous n'ayez recours à une batterie comme tampon. Cependant, toute l'autre moitié ne peut pas être couverte par une centrale sur balcon, car à l'aube et au crépuscule, même deux panneaux de 425 Wc ne produisent que moins de 100 W. Sous les latitudes septentrionales où les périodes crépusculaires sont plus longues, il n'est donc certainement pas possible de dépasser 100 W pendant plus de 10 h/j en moyenne. Il y a aussi du mauvais temps - surtout pendant les mois d'hiver. La figure 5 montre que même ma nouvelle centrale sur balcon, plus puissante, n'a pas atteint 100 W à 16h fin octobre sous un ciel nuageux.

Que faire ? La première mesure consiste probablement à installer des panneaux aussi grands que possible. L'important n'est pas d'atteindre les valeurs de crête les plus élevées possibles, mais de fournir plus d'énergie au crépuscule ou par mauvais temps et de couvrir ainsi la plus grande partie possible de la charge de base pendant une plus grande partie de la journée. La puissance de crête de l'onduleur n'a d'intérêt que si vous exploitez par beau temps de gros consommateurs tels que des machines à laver, des sèche-linge ou des cuisinières électriques et que vous compensez ainsi une plus grande partie de cette consommation. Pour ma part, la centrale sur balcon m'a permis de faire attention à ces périodes. D'ailleurs, lorsque vous utilisez un système de climatisation en été, vous pouvez supposer que sa consommation électrique est presque entièrement couverte par une centrale sur balcon de 800 W.

Vous pouvez améliorer encore les choses en utilisant un onduleur plus puissant avec quatre entrées et quatre panneaux. Il existe dans le commerce des modèles de 1 200 à 1 500 W adaptés à ce type d'utilisation. En règle générale, ces onduleurs peuvent également être réduits à 600 ou 800 W et sont donc formellement conformes à la loi - si l'opérateur de réseau ne soulève pas de problèmes. Cependant, cela devrait devenir plus facile pour les clients allemands avec la législation "Solarpaket II". Le doublement de la puissance

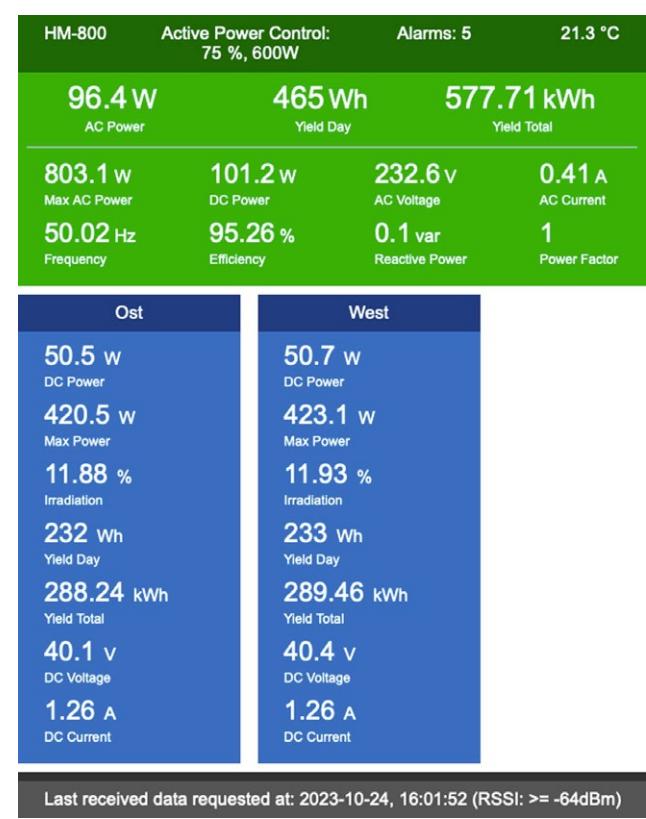


Figure 5. Fin octobre, ma nouvelle centrale sur balcon a produit moins de 100 W sous un ciel nuageux.

maximale présente le grand avantage de dépasser plus rapidement le seuil de charge de base et de permettre de récolter deux fois plus d'énergie, même par mauvais temps. Les économies réalisées sont donc plus importantes, mais malheureusement, comme on pouvait s'y attendre, elles ne sont pas linéaires et le retour sur investissement est donc plus faible à cause du rapport prix/performance moins avantageux. Mais si vous voulez réaliser des économies d'énergie maximales, vous devez emprunter cette voie.

Cependant, il y a un petit problème avec les onduleurs pour quatre panneaux : ils n'ont normalement pas plus de contrôleurs MPPT que les onduleurs pour deux panneaux seulement. Avec les onduleurs quadruples, deux panneaux sont donc souvent connectés en série en interne, avec un tracker MPP disponible pour chaque paire. Ce n'est pas un problème majeur si vous alignez les quatre panneaux ou au moins deux panneaux de la même manière.

L'alignement des panneaux est également important pour un rendement optimal. Si vous installez deux panneaux sur un balcon comme solution standard, vous n'avez pas le choix. Mais si vous avez de l'espace, c'est-à-dire un toit plat ou un auvent, vous pouvez également orienter un panneau plus à l'est et le second plus à l'ouest. Le sud-est et le sud-ouest seraient un bon choix, permettant au dépassagement du seuil supposé de 100 W de commencer plus tôt le matin et de se terminer plus tard le soir, ce qui compense la charge de base pendant plus longtemps (au détriment de la puissance de crête). Vous pouvez économiser encore plus d'énergie en alignant deux panneaux d'un système à quatre panneaux au sud-est et deux au sud-ouest. Si vous souhaitez réaliser quatre orientations différentes avec quatre panneaux, il est recommandé d'acheter deux onduleurs de 800 W au lieu d'un onduleur quadruple, car vous aurez besoin de quatre trackers MPP (voir **figure 6**). En général, l'installation est considérée comme une seule "centrale électrique" ou

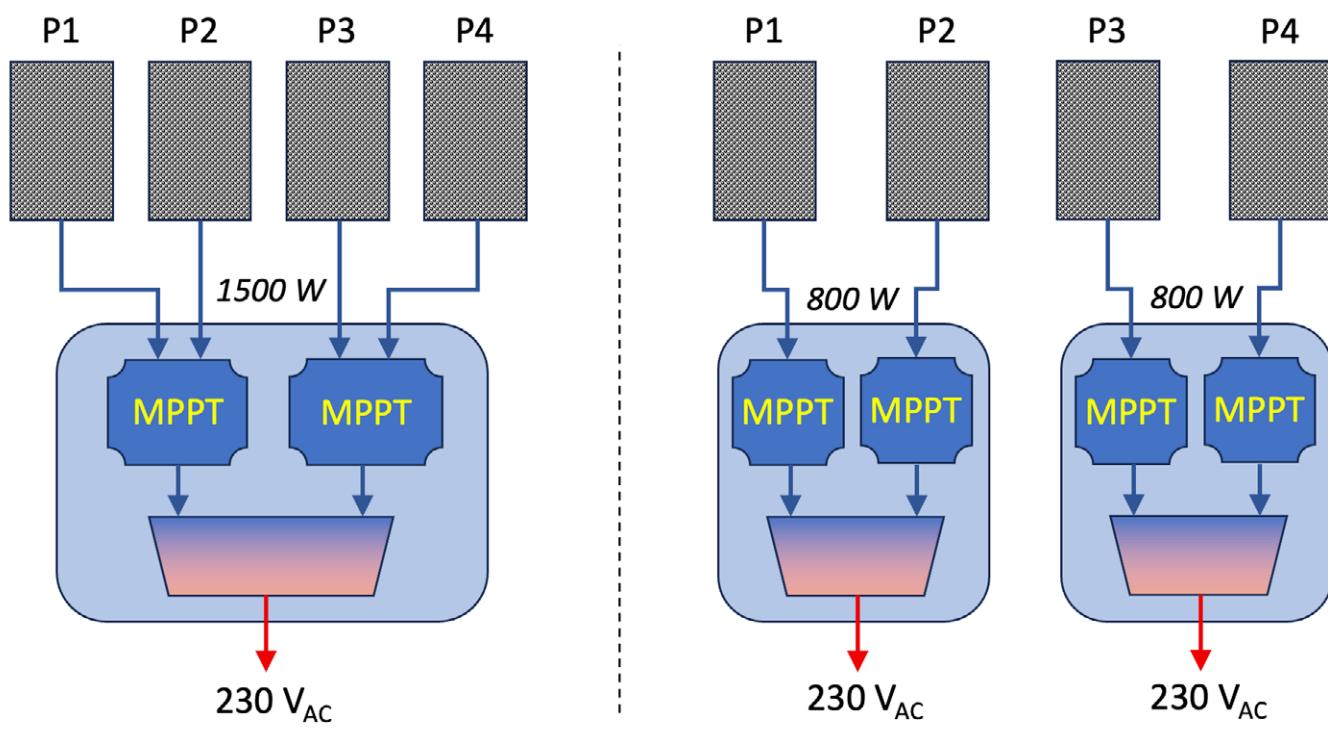


Figure 6. Deux solutions avec quatre panneaux : un onduleur avec deux trackers MPP à gauche et deux onduleurs avec un total de quatre trackers MPP à droite.

un seul système, même si deux onduleurs fonctionnent en même temps, car les dispositions légales n'indiquent rien sur la structure spécifique ou le nombre de panneaux, mais seulement sur la puissance maximale. La solution avec deux onduleurs n'est que légèrement plus chère et est également préférable si l'on choisit un emplacement différent pour chaque paire de panneaux. Un câble d'alimentation plus long est moins cher et plus facile à poser que quatre câbles solaires plus longs.

Bien entendu, un tracker MPP par panneau a également des avantages en cas d'ombrage, car chaque panneau est alors géré individuellement. Pour cette raison, il y a même des personnes qui installent des systèmes solaires plus grands avec plus de 10 kWc de puissance solaire installée en utilisant de nombreux panneaux avec de nombreux micro-onduleurs doubles de faible puissance (au lieu d'un grand onduleur). En général, il est possible de raccorder ces petits onduleurs au réseau en une chaîne de six unités maximum.

### Choix des panneaux

Comme nous l'avons déjà mentionné, il n'est plus judicieux d'acheter des panneaux plus petits dont la puissance de crête est inférieure à 400 Wc. Toutefois, si vous souhaitez utiliser des panneaux vraiment grands en prévision de la nouvelle législation, vous devez veiller tout particulièrement à ne pas dépasser le courant maximal ni la tension maximale aux entrées de l'onduleur. Ces deux paramètres dépendent de la taille des panneaux et de leur conception. Par exemple, l'onduleur HM-800 de Hoymiles, très répandu, peut par exemple supporter un maximum de 60 V et 12,5 A à ses entrées. Tous les panneaux ne peuvent pas être raccordés à cet onduleur. Plus le nombre de cellules augmente, plus la tension maximale est élevée pour une puissance donnée et plus le courant de court-circuit est faible. À cause des pertes ohmiques plus faibles, les panneaux modernes sont toujours équipés de cellules solaires divisées en deux au lieu de cellules carrées complètes. Par conséquent, lorsque nous parlons de "cellules", nous entendons généralement des demi-cellules. La **figure 7** présente la structure interne d'un module solaire

courant JKM420-54 de Jinko Solar [5]. Son total de 108 demi-cellules est divisé en trois blocs de deux circuits en série montés en parallèle de 18 demi-cellules chacun. La connexion série équivalente est donc de 54 demi-cellules, et deux séries de ce type sont connectées en parallèle. Une cellule délivre, sous charge, un peu moins de 0,6 V. Dans ce module solaire, les 54 cellules efficaces atteignent une tension de 31,5 V à la sortie maximale. À un peu plus de 38 V, la tension maximale en circuit ouvert se situe dans la plage de sécurité de pratiquement tous les onduleurs adaptés aux centrales sur balcon. Cependant, avec seulement 108 demi-cellules pour un panneau aussi puissant, la surface des cellules – et donc le courant délivrable – est relativement élevée. La fiche technique révèle que le courant de fonctionnement maximal d'un peu plus de 13,3 A dépasse déjà la spécification maximale de 12,5 A pour l'onduleur HM-800. Cependant, certains modèles d'autres fabricants supportent un courant maximal allant jusqu'à 15 A, ce qui est suffisamment élevé.

Pour la majorité des micro-onduleurs actuellement disponibles, vous devriez cependant éviter les modules solaires avec seulement 108 demi-cellules. En choisissant des panneaux avec 120 cellules ou plus dans la gamme allant jusqu'à 435 Wc, vous êtes en sécurité en ce qui concerne le courant. J'ai choisi des panneaux avec 144 cellules et ceux-ci délivrent un maximum d'un peu plus de 10 A. En hiver, cependant, ils peuvent atteindre bien plus de 50 V de tension en circuit ouvert à des températures inférieures à zéro, au soleil et sans charge. La limite de 60 V du HM-800 est suffisante ici, mais il est important de vérifier si l'onduleur que vous choisissez peut supporter la tension maximale en circuit ouvert de vos panneaux. Pour les grands panneaux de la classe supérieure à 500 W, il faut s'attendre à des courants et/ou des tensions considérablement plus élevés, en fonction du nombre de cellules. En général, seuls les onduleurs les plus récents peuvent les supporter. La vérification des données techniques des modules solaires et des onduleurs est obligatoire si vous ne voulez pas risquer une défaillance. Les nouveaux onduleurs de la classe HMS de Hoymiles peuvent déjà supporter 14 A aux entrées.

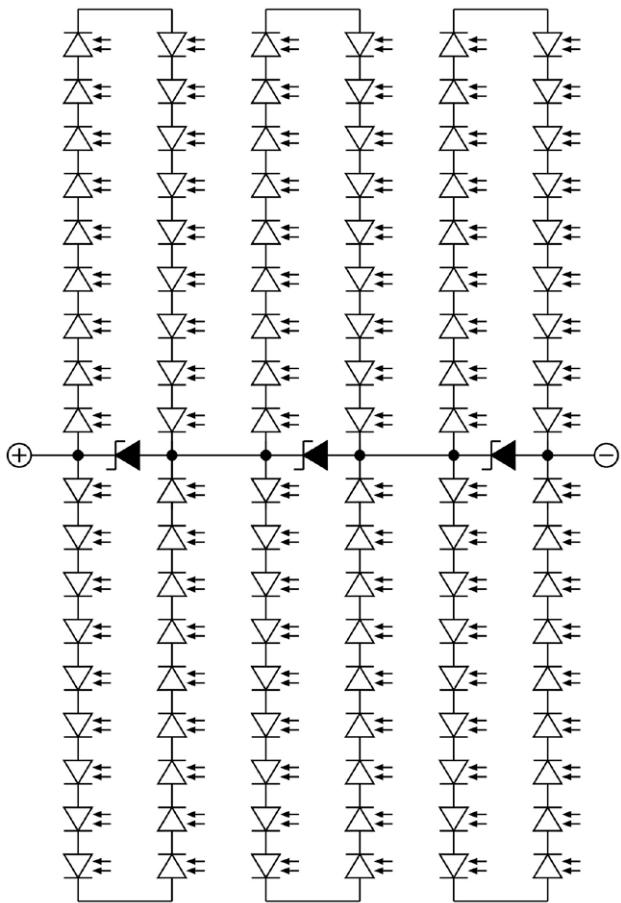


Figure 7. Circuit interne d'un module solaire moderne composé de 108 demi-cellules.

## Installation

En fonction de l'emplacement de l'installation, vous devez utiliser différentes stratégies pour fixer les panneaux. Vous pouvez être créatif si vous aimez le travail du métal. Toutefois, il existe également des systèmes de montage adaptés à chaque variante d'installation, que l'on peut se procurer à des prix raisonnables. Il n'est donc pas toujours utile de réaliser soi-même le montage avec des profilés en acier galvanisé ou en aluminium.

Il convient bien sûr de réfléchir à l'orientation. Le sud est optimal, au moins dans l'hémisphère nord. Aux antipodes, les panneaux doivent être orientés vers le nord et, à l'équateur, ils peuvent même théoriquement être à plat et pointer directement vers le ciel. C'est là que les effets de l'angle d'inclinaison entrent en jeu. D'une part, les angles plats ne sont pas vraiment favorables, même à l'équateur, car la poussière, la saleté et les fientes d'oiseaux s'accumulent et sont difficilement éliminées par la pluie. En outre, le rayonnement solaire au-delà des tropiques n'est jamais perpendiculaire à la surface de la terre, mais présente un angle plus ou moins aigu. Par conséquent, si vous ne consacrez pas beaucoup d'efforts techniques à suivre la position du soleil avec les panneaux, vous devez réfléchir à l'angle d'installation optimal [6][7].

Avant tout : il n'existe pas d'angle d'installation optimal universel, car l'optimum dépend non seulement du lieu d'installation ou de sa latitude géographique, mais aussi de vos exigences personnelles. Il existe sur Internet des calculateurs ou des tableaux qui permettent de déterminer le rendement maximal en fonction de l'endroit où l'on vit. Selon eux, l'angle optimal en Allemagne par rapport à l'horizontale se situerait entre 38° (extrême nord) et environ 32° pour moi dans le sud. Il s'agit toutefois du rendement optimal cumulé

sur toute l'année, ce qui n'est un critère raisonnable et judicieux que pour les grandes installations solaires dont l'énergie injectée sur le réseau rapporte de l'argent. Or, comme nous le savons tous, le soleil est nettement plus bas en hiver qu'en été. Par conséquent, avec des angles plats, on obtient plus d'énergie en été et moins en hiver que ce qui serait possible. L'inverse est vrai pour les angles aigus. Pour les centrales sur balcon, cependant, la valeur de crête est moins importante que les rendements moyens et faibles obtenus au fil du temps. Dans ce cas, les angles plus aigus sont plus judicieux, car les rendements plus élevés sont obtenus en hiver au détriment de l'été et du rendement global.

J'ai donc monté mes panneaux à un angle de 45°. Je suis convaincu que c'est ce qui me permet d'économiser le plus. Les premières projections basées sur trois mois avec ma nouvelle centrale sur balcon de 800 W avec un meilleur angle d'installation confirment que je peux effectivement m'attendre à une augmentation des économies d'électricité de plus de 25 % par rapport à l'ancienne version de 600 W.

Heureusement, l'angle d'installation est loin d'être aussi critique qu'on pourrait le penser. Les courbes d'intensité de l'éclairage durant l'année évoluent plus ou moins sinusoïdalement entre l'hiver et l'été, plutôt que linéairement. Il en va de même pour la courbe entre le lever et le coucher du soleil. L'intensité du soleil lorsqu'il se déplace d'est en ouest ressemble également à une onde sinusoïdale tronquée en bas. Un écart par rapport à l'orientation idéale vers le sud et à l'angle d'installation idéal de 10°, par exemple, n'entraîne qu'une réduction du rendement de 0,5 à 2 %. Un écart de  $\pm 45^\circ$  par rapport au sud ne réduit la récolte solaire que de 5,1 %. Même une erreur d'angle d'installation de 20° représente moins de -4 %. Toutefois, ces valeurs ne s'appliquent qu'à la récolte maximale d'énergie. Dans le cas d'une centrale sur balcon, il s'agit simplement de dépasser le plus souvent et le plus longtemps possible le seuil de la consommation électrique continue d'une maison, d'où la nécessité d'accorder un peu plus d'importance à un bon alignement et à des angles d'installation plus inclinés.

Sur un toit plat, au lieu de percer des trous et de risquer des fuites, vous pouvez simplement utiliser des poids. Ainsi, les panneaux restent en place même en cas de vents violents. Chez une amie en Israël, par exemple, j'ai simplement utilisé des margelles en béton bon marché sur le toit de son bungalow et j'y ai vissé les panneaux avec une construction faite de supports en acier galvanisé (**figure 8**). Chaque pierre pèse 45 kg. Cela devrait suffire, mais le toit doit aussi pouvoir supporter le poids.

Si vous avez un balcon avec des tuyaux en acier, il est intéressant d'utiliser des supports prêts à l'emploi qui vous permettent de visser les panneaux directement à la verticale sur la balustrade. La fixation verticale est toutefois loin d'être idéale. Il faut tenir compte de pertes pouvant aller jusqu'à 30 % par rapport à des angles plus optimaux. Dans le cas des centrales sur balcon, la charge obtenue sera inférieure au seuil de base pendant une période particulièrement longue, ce qui est bien dommage. Avec d'autres systèmes qui permettent de régler l'angle, les panneaux peuvent être fixés à des balustrades en bois, en métal ou en béton à des angles considérablement meilleurs. La **figure 9** montre l'installation avec un tel système sur des planches de bois sur le parapet d'un balcon ; et dans la **figure 10**, vous pouvez voir le même système de fixation sur un auvent. Le coût par panneau commence à environ 20 €.



Figure 8. Installation d'une centrale sur balcon sur un toit plat avec des pierres en béton.



Figure 9. Les panneaux ont été vissés aux planches d'un balcon avec des fixations prêtes à l'emploi en aluminium anodisé noir.



Figure 10. Avec le même système de fixation que dans la figure 9 (ici en aluminium naturel), les modules solaires peuvent également être montés de manière stable sur des toits plats avec un angle réglable.

## Autres considérations

Outre les critères d'efficacité et de prix, d'autres aspects jouent également un rôle dans le choix des modules solaires, de l'onduleur associé et du matériel. Pour les modules solaires, il convient de réfléchir à la meilleure installation possible, surtout s'il faut s'attendre à ce que d'autres maisons, des structures de toit ou des arbres fassent de l'ombre. La logique derrière cela et la direction dans laquelle il faut moter les panneaux solaires (verticalement plutôt qu'horizontalement, par exemple), et beaucoup d'autres choses peuvent être abordées dans un article plus complet sur les modules solaires dans le numéro spécial d'Elektor sur la technologie solaire [2].

Comme nous l'avons déjà mentionné, si vous souhaitez utiliser quatre modules solaires, vous devez réduire la puissance de l'onduleur ou des onduleurs pour produire au maximum 600 W (en Allemagne) ou 800 W. Ce n'est pas le cas de tous les onduleurs. De même, vous ne pouvez pas intégrer directement tous les onduleurs dans votre propre réseau local sans fil et les contrôler. En particulier pour les modèles HM de Hoymiles, très répandus, vous devez soit acheter un DTU (unité de transfert de données), soit en construire une vous-même. Il existe déjà une solution avec le logiciel open-source OpenDTU, publiée par Elektor [8], et l'équivalent avec le logiciel AhoyDTU se trouve dans le numéro spécial [2]. La **figure 11** montre le DTU que j'ai construit moi-même.

Si vous souhaitez consulter l'historique de la récolte de votre propre centrale sur balcon, il existe des solutions proposées par les fabricants d'onduleurs. Toutefois, lorsque vous les utilisez, vous devez être conscient que vos données sont hébergées dans des clouds chinois et qu'elles seront perdues si le fabricant décide d'arrêter ces services dans quelques années. Il existe également des solutions à code source ouvert, notamment le logiciel de domotique Home Assistant. Ce sujet sera abordé plus en détail dans l'un des prochains numéros d'Elektor. Ce logiciel pourrait également être utilisé pour l'autoconsommation, dans laquelle la puissance de l'onduleur est réajustée pour minimiser le courant injecté sur le réseau.

Comme nous l'avons déjà mentionné, il existe aujourd'hui de bons modules solaires de plus de 400 Wc pour moins de 100 € chacun. Un peu plus chers sont les modules bifaces, qui ont une deuxième couche de verre sur la face inférieure (comme celle de la face supérieure) au lieu d'un film plastique blanc. Cela permet au rayonnement (diffus) de l'arrière d'augmenter le pourcentage du rendement. Toutefois, cela ne vaut pas la peine pour les panneaux posés à plat sur un toit ou un mur, car il n'y a pratiquement pas de rayonnement vers l'arrière. Un autre avantage des panneaux bifaces est que la couche en verre est beaucoup plus stable et plus dense qu'une couche en plastique. Par conséquent, ces modules ont une durée de vie plus longue et se dégradent probablement moins au fil du temps. Le coût supplémentaire pour cette valeur ajoutée est relativement faible.

Dans le cadre de la législation allemande "Solarpaket II", l'obligation de se connecter au réseau avec une prise Wieland, qui coûte entre 35 et 40 € supplémentaires, est censée être supprimée. Certaines personnes utilisent déjà une fiche normale pour une prise de courant normale en prévision de cela, ce qui n'est cependant pas encore autorisé en Allemagne – seulement dans d'autres pays. Pour ma part, j'ai branché ma centrale sur balcon directement avec son propre câble et son propre fusible afin d'évi-

ter de tels problèmes. En outre, avec les 800 W autorisés à l'avenir, il faut s'attendre à un courant maximal de 3,5 A injecté sur le réseau 230 V. Si les prises sont protégées par un fusible de 16 A, un courant jusqu'à 19,5 A peut circuler sur une autre prise du même circuit avant que le fusible ne saute. Cette situation n'est toutefois pas autorisée. Lors d'un raccordement via une prise, la valeur du courant du fusible correspondant dans la boîte à fusibles doit donc être réduit à  $\leq 12$  A. Ce travail est réservé à un électricien agréé par la compagnie d'électricité.

Selon certains rapports, des sociétés locales allemandes d'approvisionnement en énergie soulèvent actuellement des problèmes lors de l'enregistrement de centrales sur balcon d'une puissance de 600 W avec des onduleurs de 800 W. Ce problème devrait bientôt être résolu grâce à la législation " Solarpaket II ", car seul l'enregistrement simplifié auprès du " Marktstammdatenregister " sera alors nécessaire en Allemagne.

En ce qui concerne l'évolution des prix : vous pouvez actuellement acheter des centrales sur balcon complètes de 800 W pour moins de 400 € (hors frais de port et matériel d'installation). Pour vous donner une idée, un tel investissement devrait être amorti en moins de trois ans grâce aux économies d'énergie faites. Avec un bon système, plus grand, composé de quatre panneaux et de deux onduleurs 800 W, vous pouvez rapidement atteindre les 1 000 €. Comme vous n'économiserez pas deux fois plus, vous devez calculer sur la base de quatre à cinq ans pour un amortissement complet. De nombreux petits systèmes à batteries d'une capacité de 1 à 2 kWh, conçus spécifiquement pour les centrales sur balcon, sont récemment apparus sur le marché. Il est possible de les connecter simplement entre les panneaux solaires et l'onduleur pour utiliser une partie de l'énergie pendant la journée pour charger la batterie. La nuit, la batterie fournit une quantité réglable de courant à l'onduleur, de sorte que la consommation continue d'une maison pendant la nuit peut également être (partiellement) compensée. Il s'agit d'une excellente idée. Cependant, le coût d'une telle solution s'élève à 1 500 à 2 500 €. L'amortissement est très discutable car, en l'absence de contrôle intelligent, une puissance constante est simplement injectée indépendamment de la consommation. Si l'on calcule de manière très optimiste sur une moyenne de 10 h/j et 100 W, environ 365 kWh/an pourraient être économisés, ce qui correspond à environ 110 €/an. L'amortissement prendrait donc de 14 à 23 ans.

Enfin, certaines autorités locales offrent des subventions pour les centrales sur balcon. Cela signifie qu'un tel investissement peut être rentabilisé au bout d'un an seulement. 

230660-04



Figure 11. Mon DTU que j'ai construit moi-même avec un écran OLED de 2,42 pouces.

## Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

## À propos de l'auteur

Thomas Scherer a d'abord suivi une formation de technicien en électronique de télécommunication avant de travailler à la rédaction d'Elektor à partir de 1980. Après avoir étudié la psychologie et passé plusieurs années dans la recherche fondamentale, il est rédacteur indépendant pour Elektor depuis des décennies. Il a un grand labo d'électronique et, outre les neurones, il s'intéresse beaucoup aux électrons, c'est-à-dire à tout ce qui a trait à l'électricité.



## Produits

➤ **Multimètre PeakTech 3350 (SKU 19986)**  
[www.elektor.fr/19986](http://www.elektor.fr/19986)

## LIENS

- [1] T. Scherer, " centrale solaire sur balcon ", Elektor 9-10/2021 : <https://www.elektrormagazine.fr/magazine/elektor-184/59877>
- [2] Numéro spécial d'Elektor " Solaranlagen und Photovoltaik " [en allemand] : <https://elektor.de/20596>
- [3] DWD, solar radiation maps [en allemand] : <https://tinyurl.com/strahlungsklimatologie>
- [4] German Federal Ministry of Economics press release: <https://tinyurl.com/derenewables>
- [5] Fiche technique du module solaire [PDF] : <https://tinyurl.com/solarpanelds>
- [6] Photovoltaic title angle table [en allemand] : <https://solar.red/photovoltaik-neigungswinkel>
- [7] Calculateur d'angle d'inclinaison des panneaux solaires : <https://footprinthero.com/solar-panel-tilt-angle-calculator>
- [8] T. Scherer, " ESP32 avec OpenDTU pour les centrales solaire sur balcon ", Elektor 2023 : <https://elektormagazine.fr/230500-04>

# ESP32 avec OpenDTU

## pour les centrales solaires sur balcon

Relever les données des petits onduleurs avec des microcontrôleurs

Source : Midjourney (edited)

Thomas Scherer (Elektor)

Les micro-onduleurs fiables de Hoymiles ne disposent pas d'une connectivité Wifi intégrée. Pour lire la puissance actuelle, la production d'énergie quotidienne et cumulée, ainsi que d'autres données, une unité de transfert de données (DTU) supplémentaire est nécessaire. Au lieu de dépenser trop d'argent, vous pouvez fabriquer un DTU abordable et l'utiliser grâce à un logiciel open-source.

Il y a plus de deux ans, j'avais construit une petite centrale sur balcon d'une puissance de 600 W [1]. J'ai maintenant un nouveau système (avec des panneaux plus puissants et un nouvel onduleur). Je lis les données avec un petit circuit, qui me fournit une page web informative sur mon propre réseau local (voir **figure 1**). Malheureusement, les bons micro-onduleurs de Hoymiles, très répandus, ne sont accessibles que par une liaison radio Nordic spéciale avec un protocole propriétaire. Mais l'achat d'un DTU prêt à l'emploi auprès du fabricant ne va pas avec mon sens de création, car il est possible de construire soi-même un tel appareil, ce qui permet d'économiser de l'argent et d'empêcher le transfert de données vers des nuages peu fiables.

### Open Source

Grâce à l'utilisation répandue des onduleurs Hoymiles, quelques fabricants inventifs se sont réunis et ont fait un peu de réingénierie pour découvrir quelles données sont transmises par la radio Nordic et comment. Vous pouvez lire la discussion originale (en allemand) sur le forum Mikrocontroller.net [2]. Le logiciel a également été développé pour les célèbres cartes à microcontrôleurs ESP32 d'Espressif (plus un module radio Nordic). Pourquoi ce microcontrôleur ? Le choix est évident : un ESP32 est équipé d'un processeur à double cœur avec une fréquence d'horloge de 240 MHz et est livré avec le Wifi intégré ainsi que le Bluetooth. Tout cela nécessite moins d'un demi-watt en moyenne.

Le logiciel développé à cet effet lit non seulement toutes les données pertinentes des onduleurs Hoymiles et des clones utilisant la même conception, mais il peut également modifier la puissance injectée sur le réseau. Cette mode est appelée "zero feed-in". L'onduleur est configuré pour fournir autant d'énergie qu'il en consomme. Il est possible d'utiliser d'autres types d'onduleurs que ceux de la série HM, éprouvée, mais ils nécessitent un module radio différent, que nous n'aborderons pas ici. Rapidement, deux solutions logicielles très pratiques ont vu le jour, OpenDTU [3] et AhoyDTU [4], qui diffèrent sur certains points. Sur les sites web de ces projets, vous pouvez déterminer à quels onduleurs spécifiques ils sont adaptés et leurs fonctionnalités. J'ai essayé les deux solutions. Il est difficile de déterminer laquelle est la "meilleure". Tout d'abord, les onduleurs HM-300 à

HM-1500 peuvent utiliser les deux versions dans tous les cas.

Si vous souhaitez utiliser des cartes ESP8266 plus au moins chères et moins puissantes, vous devez opter pour AhoyDTU. Les deux solutions fonctionnent sur la plateforme ESP32, plus puissante. Dans ce qui suit, nous décrivons le fonctionnement avec OpenDTU.

## Matériel

Comme nous l'avons déjà mentionné, OpenDTU nécessite une carte d'interface ESP32 (BoB) comme base. La **figure 2** montre trois cartes ESP32 couramment utilisées. En plus, un module radio Nordic est nécessaire. Il existe des modèles avec une antenne imprimée sur la carte ou avec un connecteur SMA pour une antenne externe (**figure 3**). Vous pouvez certainement deviner lequel des deux a la plus grande portée. Mais pour moi, même la version avec l'antenne imprimée (à seulement 25 % de la puissance d'émission maximale) était suffisante pour établir une liaison radio acceptable, même sur une distance de 11 m à travers un mur de briques d'argile de 34 cm d'épaisseur. En fait, c'est tout. Pour OpenDTU, vous pouvez combiner presque toutes les versions d'ESP32 avec l'un ou l'autre des modules radio Nordic. Vous pouvez même contrôler de petits écrans, mais nous y reviendrons plus tard. J'ai conçu des circuits imprimés pour les trois variantes d'ESP32 illustrées dans la figure 2. Avec la version mini ci-dessous, vous pouvez créer un DTU relativement petit. Bien entendu, vous pouvez également connecter manuellement le BoB ESP32 et le module Nordic sans circuit imprimé.

Voilà pour la théorie. Mais le problème réside dans les détails. Outre les modules radio "nRF24L01+", il en existe également sans le "+". Attention : la version " + " est obligatoire ! Alors que les cartes plus simples avec une antenne imprimée sont disponibles à des prix compris entre 1 € (Chine) et 4 € (UE), la version plus luxueuse du fabricant eByte (**figure 3**, à droite) est livrée avec une unité radio et coûte entre 4,50 € (Chine) et 7 € (UE), y compris l'antenne. Ainsi, un DTU D/Y avec un module Nordic disposant d'une antenne externe n'est pas beaucoup plus cher qu'un autre sans. J'ai essayé les versions avec et sans antenne externe et n'ai pas trouvé de différences significatives dans mon cas, mais avoir une portée étendue peut s'avérer utile. D'ailleurs, une antenne Wifi externe normale convient, puisque les modules Nordic émettent également à 2,4 GHz. La seule chose importante est qu'elle doit avoir un connecteur à vis SMA mâle.

Selon le modèle, il faut débourser entre 4 € (Chine) et 10 à 15 € (UE) pour une carte ESP32. Avec une ESP32 et une carte BoB nRF24, vous pouvez construire un DTU entièrement fonctionnel comprenant un simple boîtier en plastique et un câble Micro-USB pour moins de 12 € (Chine) ou 20 € (UE). C'est une véritable aubaine par rapport aux 100 à 250 € que coûte un DTU original de Hoymiles !

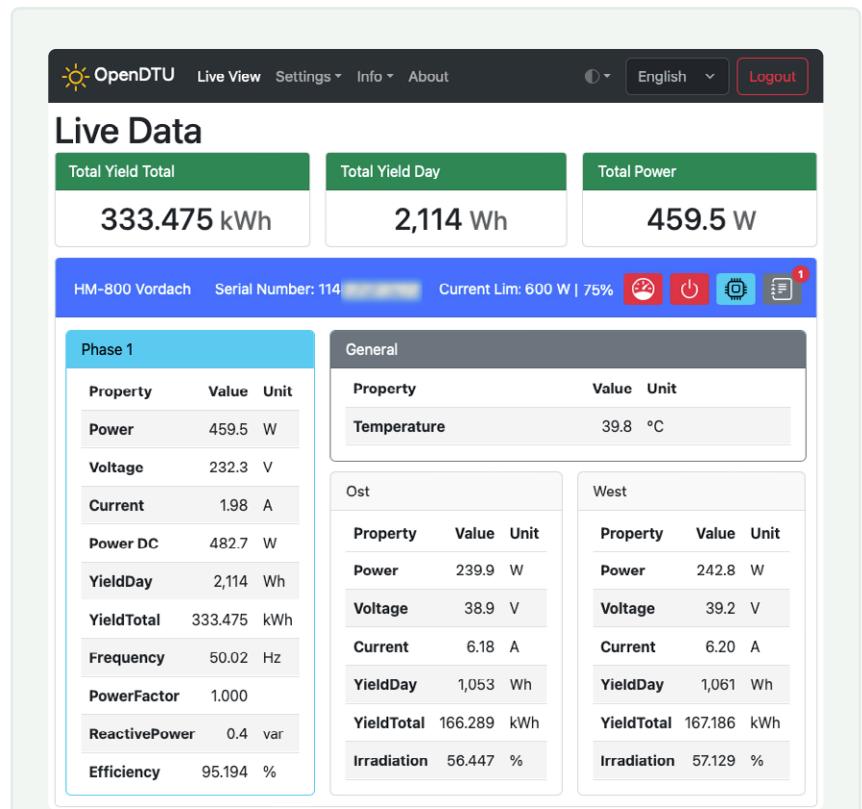


Figure 1. Un court test de puissance le 31 juillet 2023, sous une légère couverture nuageuse. L'onduleur de 800 W était limité à 600 W et, néanmoins, 4,7 kWh ont été accumulés à la fin de la journée.

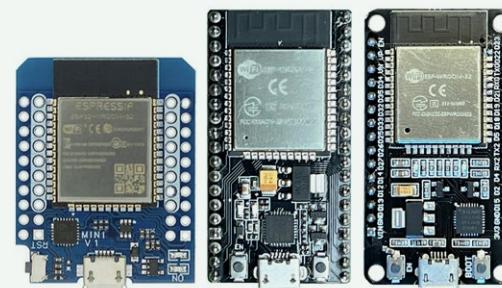


Figure 2. Comparaison de trois cartes de différentes dimensions : à droite, un BoB ESP32 à 30 broches, au centre un avec 38 broches, à gauche, une version ESP32 plus petite (D1 mini), où deux des 40 broches ne sont pas utilisées.



Figure 3. Deux versions de cartes avec la puce radio Nordic nRF24L01+, à gauche avec une antenne sur la carte et à droite, avec un connecteur SMA pour une antenne externe de 2,4 GHz.

Figure 4. Deux BoB ESP32 à 38 broches.  
En haut avec l'antenne imprimée qui déborde et en bas avec un connecteur pour antenne Wifi externe. Les deux fonctionnent bien.

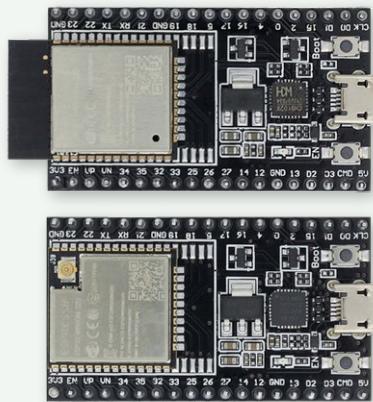


Figure 5. Schéma de circuit/câblage servant de guide pour la connexion des BoB assemblés sur une plaque d'essai avec des fils toronnés colorés. Ici, on présente le câblage de la version à 30 broches.

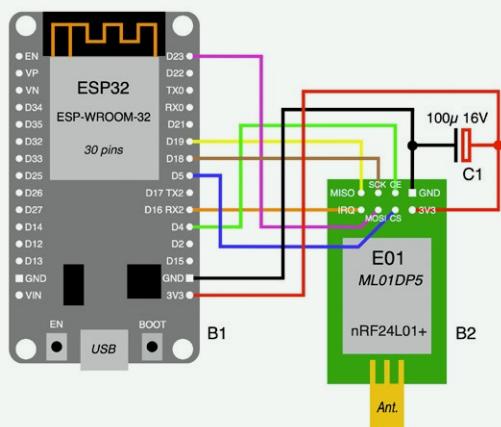


Figure 6. Schéma de câblage pour les BoB ESP32 à 38 broches.

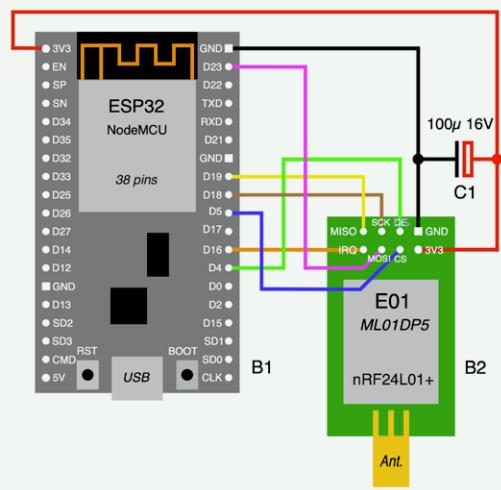
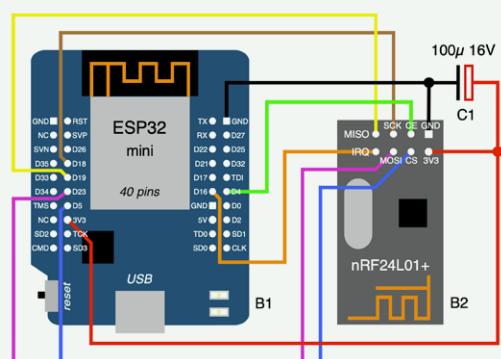


Figure 7. Schéma de câblage pour le petit BoB ESP32 mini avec un petit module radio (antenne imprimée). Vous pouvez également équiper un module d'une antenne externe.



La principale difficulté est qu'il existe de nombreuses versions des BoB ESP. Même sur le site d'Espressif [5], on a l'embarras du choix. Et puis il y a plusieurs fabricants d'Extrême Est qui intègrent différents Soc ESP32 sur différentes cartes avec différents composants, différentes antennes et, surtout, différents brochages. Tout d'abord, la plupart de ces modèles fonctionneront toujours sur le DTU décrit ici. Cependant, je ne recommanderai pas les versions allégées avec moins de mémoire flash, ou les versions à simple cœur.

La **figure 2** montre trois variantes de BoB ESP32 avec 30, 38 et 40 broches, qui correspondent probablement à plus de 90 % du marché. Visuellement et techniquement, il existe d'autres différences non pertinentes, qui concernent par exemple l'antenne ou la puce de convertisseur USB. La plupart des modèles bon marché sont dotés d'une antenne Wifi imprimée et d'une prise Micro-USB. Certains disposent de cette antenne qui déborde un peu de la carte et d'autres ont une petite prise pour connecter une antenne Wifi externe à la carte (**figure 4**). Il existe également des versions dotées d'une prise USB-C plus robuste au lieu d'une prise Micro-USB. L'USB-C est plus adapté aux branchements fréquents.

Les cartes ESP32 sont suffisamment puissantes pour piloter un petit écran et lui transmettre des données. Vous pouvez choisir parmi plusieurs afficheurs. L'idéal est d'avoir des écrans OLED de 128×64 pixels, contrôlés via I<sup>2</sup>C. Deux versions très courantes utilisent les contrôleurs SH1106 (1.3 pouce de diagonal) ou SSD1306 (0.96 pouce de diagonal). En plus, il y a des plus grands avec le contrôleur SSD1309 pour les diagonales de 1.54 et 2.42 pouces qui fonctionneront aussi. Grâce à l'I<sup>2</sup>C, nous n'avons besoin que de deux ports d'entrée/sortie supplémentaires pour l'ESP32, en plus des broches +5 V et de la masse. Les écrans sont également abordables, avec 2 € à 10 € (Chine) et 4 € à 20 € (UE). Je les ai tous testés et j'ai constaté ce qui suit : sur la version 2.42 pouces avec un connecteur I<sup>2</sup>C à quatre broches, D2 doit être démonté de l'arrière et remplacé par un cavalier pour qu'il génère le signal ACK comme prévu. La consommation additionnelle d'un écran OLED est facile à contourner avec < 0.1 W même pour la plus grande version.

Au début, je me suis passé d'un tel écran car il me suffisait de récupérer les données via un navigateur web. Cela fonctionne également très bien avec un smartphone si vous activez un VPN sur votre propre routeur (à condition qu'il soit possible de le faire) et que vous l'utilisez pour accéder à votre DTU à distance. Mais finalement, j'ai été tenté par l'idée d'ajouter un écran et j'ai conçu un nouveau circuit imprimé avec écran : d'abord avec un écran OLED de 1.3 pouce et ensuite une grande version avec une diagonale de 2.42 pouces. Mon DTU avec écran est maintenant placé sur le haut-parleur du PC, de sorte que je peux toujours voir le changement des rayonnements solaires. Dans ce qui suit, nous montrons comment connecter un tel écran avec quatre fils simples.

## Circuit(s) et construction

Les trois BoB ESP32 de la figure 2 nécessitent un câblage différent en raison de l'affectation différente des broches. Heureusement, les deux modules radio Nordic sont disponibles avec la même affectation des broches. Nous n'utilisons pas ici d'autres versions plus petites avec des pastilles CMS au lieu des connecteurs à 2x4 broches. Cela permet de réduire le nombre de possibilités à trois schémas de circuit ou cartes. Pour faciliter la réalisation, nous n'avons pas dessiné un schéma de circuit classique, mais plutôt un schéma de câblage réalisable. Ainsi, il est possible de souder un module ESP et un module radio sur une plaque perforée et d'effectuer les huit connexions nécessaires très simplement de broche à broche avec fils souples fins et isolés. Les **figures 5, 6 et 7** sont donc similaires. Il n'est pas nécessaire d'établir des nomenclatures détaillées.

Le type de module radio utilisé n'affecte pas les schémas de câblage. Dans les trois circuits, en plus des deux BoB, un petit condensateur électrolytique tampon de 100  $\mu$ F est inclus, qui, selon des rapports sur Internet, est censé fournir un comportement plus stable du module radio s'il est soudé aussi près que possible des broches 3V3 et GND du module. Certains disent que c'est le cas, d'autres disent le contraire - en tout cas, je l'ai inclus et je l'ai également monté moi-même. À mon avis, ce n'est pas absolument nécessaire.

La **figure 8** montre comment connecter un petit écran OLED I<sup>C</sup> à quatre fils ou un morceau de câble ruban à quatre broches à un BoB ESP et afficher les données actuelles de votre onduleur sans PC ni smartphone. Veuillez noter que sur certains modules d'affichage, les broches GND et VCC sont inversées. Avant de les connecter, vérifiez attentivement l'étiquetage des broches ; sinon, vous risquez de sauter en un rien de temps ! Un écran connecté et actif nécessite entre 10 et 25 mA sous 5 V - en moyenne plutôt à la limite inférieure. Sur certaines cartes ESP32, la broche de 5 V est étiquetée VIN. Elle est directement connectée à la ligne 5 V de la prise USB.

Au lieu d'une carte perforée, j'ai utilisé une plaque d'essai pour mes premiers tests. D'un côté, les deux BoB sont branchées, de l'autre, quelques broches sont soudées, puis toutes les broches nécessaires au câblage sont soudées. A ce stade, vous pouvez utiliser les huit morceaux de fil toronné nécessaires et faire les connexions broche par broche. La **figure 9** montre les étapes de réalisation de mon premier prototype. Lorsque l'on utilise une plaque d'essai comme celle-ci, un problème se pose : cinq broches (a à e et f à j) sont connectées. Cela convient bien aux connecteurs des cartes ESP, mais pas à la disposition du connecteur 2x4 du module radio. Ici, vous devez couper les deux tracés associés de la carte en trois endroits avant de souder sur la face supérieure. Le bas de la figure 9 montre comment cela a été fait avec un Dremel et un minidisque

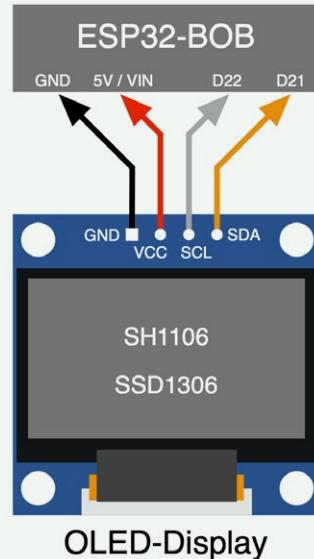


Figure 8. Voici comment connecter un écran OLED via une connexion I<sup>C</sup>. Attention : +5 V et GND peuvent être inversées. Une inversion de polarité détruira le circuit !

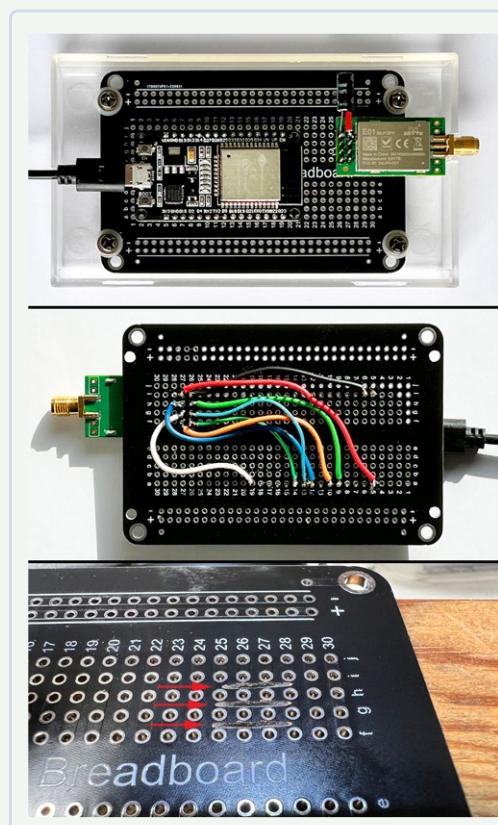


Figure 9. Mon premier prototype sur une plaque d'essai montée avec des fils torsadés. Attention : au niveau du module radio, il faut couper les tracés (en bas, voir le texte).



Figure 10. Le premier prototype (sans écran) logé dans un boîtier semi-transparent avec une antenne externe de 2,4 GHz.

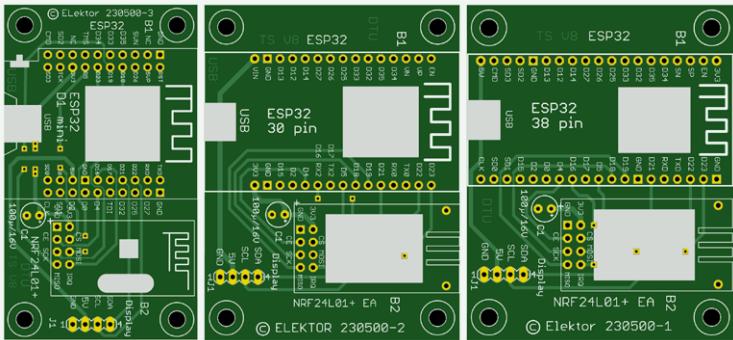


Figure 11. Les trois BoB ESP32 choisi nécessitent des circuits imprimés différents. Les fichiers de dispositions sont disponibles sur [6].

Figure 12. Cartes réalisées. Celle pour le BoB ESP32 à 38 broches est encore une version beta.



Figure 13. Écran de démarrage du programmeur en ligne ESP Tool d'Espressif avec un débit en bauds correctement réglé.

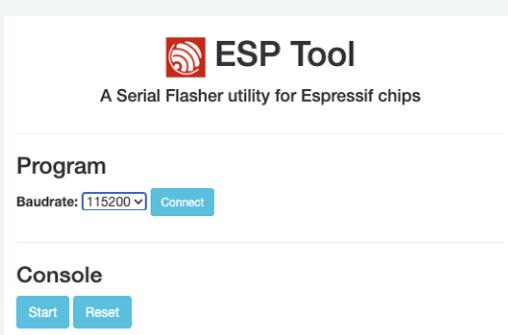
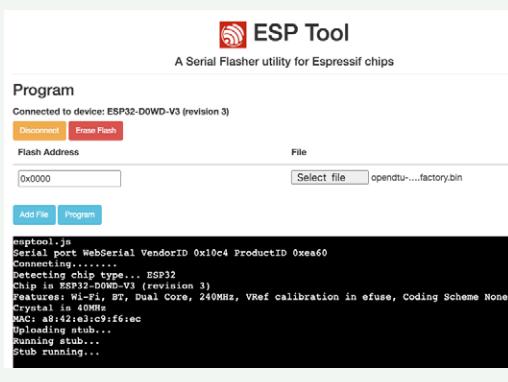


Figure 14. Cette fenêtre pop-up devrait afficher le port série virtuel de l'ESP32 connecté si le pilote correct est installé.



Figure 15. Le premier flashage doit être effectué avec le fichier du micrologiciel *opendtu-generic.factory.bin* à l'adresse 0x0000. Les boutons doivent être pressés pour se connecter (voir texte).



à découper. Si vous oubliez cette étape, vous aurez plusieurs courts-circuits et la carte ne fonctionnera pas. La **figure 10** montre le prototype terminé avec l'antenne externe connectée dans un boîtier semi-transparent. Une solution plus facile, qui permet d'éviter les erreurs d'un montage réalisé manuellement, consiste à utiliser l'un des circuits imprimés que j'ai créés (**figure 11**). Leurs fichiers de disposition sont téléchargeables gratuitement au format Eagle sur la page de cet article sur le site d'Elektor [6]. La version gratuite du logiciel Eagle CAD est suffisante vous permet de concevoir des cartes double face jusqu'à la moitié de la taille d'une carte Euro. Lors du peuplement des BoB ESP32, il suffit de souder les broches avec des pastilles carrées et rondes - cela suffit pour la stabilité et les connexions électriques nécessaires. Dès que j'ai reçu les 3 (premières versions des) cartes du fabricant après avoir envoyé les fichiers Gerber, je les ai assemblées. Elles sont munies de pastilles destinées aux fils torsadés pour la connexion d'un écran. Il est également possible de monter des connecteurs quadrupolaires à cet emplacement pour connecter l'écran de manière amovible. Le haut de la **figure 12** présente la vue de dessus des cartes assemblées, mais pas encore finalisées.

## Logiciel

Le premier chargement du micrologiciel OpenDTU sur l'ESP32 vierge n'est pas simple. Tout d'abord, vous devez visiter le site web correspondant [3] et vous documenter. Plusieurs méthodes sont décrites. Je préfère l'outil en ligne d'Espressif [7], qui ne fonctionne pas avec Safari sur Mac - mais d'autres navigateurs sont supportés. Après avoir connecté le DTU au PC ou au Mac via USB, il faut d'abord régler un débit en bauds de 115 200 sous Program, puis cliquer sur le bouton bleu Connect (figure 13). Dans la fenêtre contextuelle qui apparaît (figure 14), sélectionnez l'interface série appropriée (bleu clair). Vous pouvez déjà voir le type de la puce convertisseur USB/série - ici un CP2102 - mais il en existe d'autres. Bien entendu, cela ne fonctionne que si le pilote approprié est installé, ce qui devrait être très simple sous Windows 11 grâce à l'installation automatique. Si ce n'est pas le cas, des liens adéquats sont disponibles sur le site d'Espressif. Le flashage avec le Mac avec Chrome se fait également facilement après l'installation des pilotes CP2102 ou CH340.

Cette étape peut prendre beaucoup de temps avant que vous puissiez avoir un résultat. Sur le BoB ESP32, il peut y avoir un ou deux petit(s) bouton(s). Vous devez d'abord appuyer sur le bouton *Boot*, puis brièvement sur *EN* simultanément. Pour le mini-BoB doté d'un seul bouton, vous n'avez qu'un seul choix. Ainsi, l'outil se connecte à l'ESP32 et l'écran de la **figure 15** apparaît. Par sécurité, effacez d'abord la mémoire avec *Erase Flash* et sélectionnez ensuite le fichier du micrologiciel *opendtu-generic.factory.bin* [8] sous *File*. Ce fichier est le bon pour le premier flashage, car il contient également un chargeur de démarrage (bootloader). Ensuite, vous

pouvez effectuer la mise à jour directement par Wifi ou à distance (*OTA, over the air*). Avant de cliquer sur *Program*, vous devez définir l'adresse 0x0000 comme adresse de la mémoire flash, comme indiqué. Ce qui se passe (avec un peu de chance) après avoir cliqué sur *Program* est montré dans la **figure 16** : après une minute et demie, la programmation de l'ESP32 est terminée.

Après le redémarrage de l'ESP32, la liste des réseaux locaux sans fil disponibles devrait en afficher un avec le SSID "OpenDTU-\*". L'astérisque représente une séquence de chiffres. La connexion à ce réseau fonctionne avec le mot de passe par défaut "openDTU42". Si vous entrez maintenant <http://192.168.4.1> dans la barre d'adresse du navigateur, le site web de DTU apparaît (**figure 17**). Cela fonctionne également avec Safari.

Vous pouvez maintenant vous connecter en tant qu'administrateur avec le mot de passe openDTU42. Il va sans dire que vous devriez modifier ce mot de passe dans les paramètres dès que possible. Une fois que vous êtes connecté, vous pouvez effectuer les modifications nécessaires dans le menu *Settings*. En plus de l'anglais, la langue du site peut être changée en allemand ou en français. Tout d'abord, nous allons dans *Network Settings* (**figure 18**). Ici, vous entrez le SSID et le mot de passe de votre propre réseau Wifi, pour que le DTU se connecte à votre propre réseau au prochain démarrage, et que vous puissiez y accéder aisément. Pour ce faire, vous devez vérifier l'adresse IP attribuée au DTU sur votre propre routeur Wifi. La plupart des routeurs permettent d'attribuer toujours la même adresse IP au DTU. C'est utile car cela vous permet de marquer le DTU d'un signet. Plus bas, le temps en minutes pendant lequel le DTU agit comme un point d'accès après le démarrage et fournit au WLAN le SSID "OpenDTU-\*" est spécifié.

Sous *NTP Settings*, vous pouvez spécifier un serveur de temps et entrer la latitude et la longitude de la position de la centrale du balcon [9] afin qu'aucune requête inutile de l'onduleur n'ait lieu pendant la nuit. Dans les réglages de l'onduleur, vous devez entrer son numéro de série et lui attribuer un nom (**figure 19**). Un onduleur ne peut être adressé et identifié qu'avec ce numéro. Il convient de noter le numéro de série attaché à l'onduleur ou de le photographier avant de procéder à l'installation. Vous pouvez également spécifier plusieurs onduleurs. En cliquant sur le crayon à côté de l'onduleur que vous avez créé, vous accédez à une page de configuration où vous pouvez activer des éléments tels que l'arrêt nocturne de le DTU et entrer les désignations et la puissance des modules solaires connectés.

Enfin, il y a le *Device Manager*. La **figure 20** montre la configuration des broches et des appareils. Cependant, vous ne pouvez pas les régler ici, mais seulement les sélectionner comme profil en haut si un profil adéquat a été lu au préalable. Un clic sur *Display* conduit à la fenêtre des réglages explicites de la **figure 21**. Mais comment obtenir les profils nécessaires si l'on veut activer un écran, par exemple ? Les profils sont disponibles sur la page

```

esp32l.js
Serial port WebSerial VendorID 0x10c4 ProductID 0x6a60
Connecting...
Detected chip type... ESP32
chip is ESP32-D0WD-V3 (revision 3)
Features: Wi-Fi, BT, Dual Core, 240MHz, VRef calibration in efuse, Coding Scheme None
Crystal: 40MHz
MAC: 00:08:42:10:0f:6c
Uploading stub...
Running stub...
Stub loading...
Starting flash (this may take a while)...
Chip erase completed successfully in 3.208s
Compressed at 0x00000000 (1)
Writing at 0x17e149fc... (34)
Writing at 0x183dd0... (34)
Writing at 0x164ce... (44)
Writing at 0x1567... (64)
*** 
Writing at 0x178fd9... (964)
Writing at 0x17e149... (984)
Writing at 0x183dd0... (1004)
Wrote 159232 bytes (1023489 compressed) at 0x0 in 92.191 seconds.
Hash of data verified.
Leaving...

```

Figure 16. Après 1,5 minute, le micrologiciel est chargé sur le microcontrôleur et le DTU redémarre.

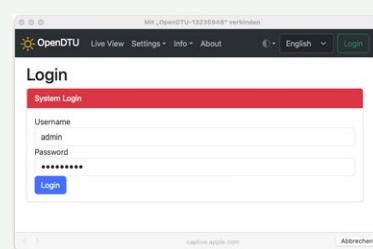


Figure 17. Après vous être connecté au réseau Wifi des DTU, vous pouvez accéder à la page de configuration des DTU à l'adresse <http://192.168.4.1>, où vous devez vous connecter.

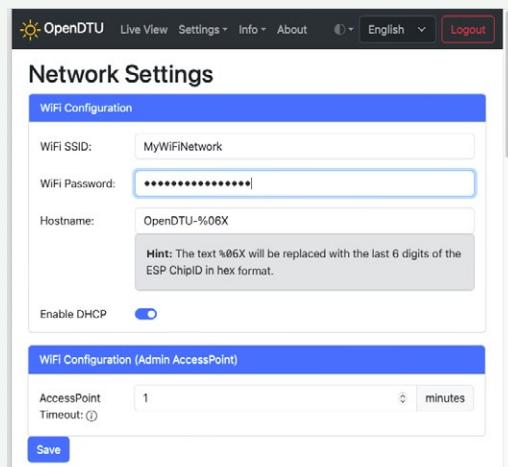


Figure 18. Il est maintenant temps de commencer les réglages. Tout d'abord, entrez le SSID et le mot de passe de votre propre réseau Wifi.

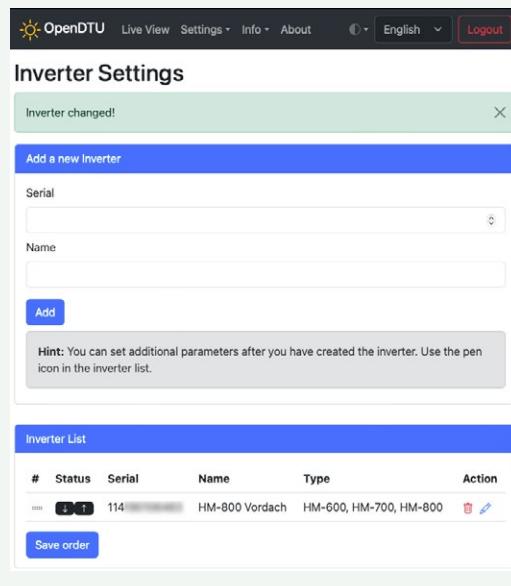


Figure 19. Vous entrez ici le numéro de série de votre onduleur ainsi que la durée de la fonction de point d'accès et vous ajoutez les données des panneaux solaires connectés via l'icône du crayon pour l'onduleur concerné.

Figure 20. Un fichier de profils permet de spécifier l'affectation des ports d'E/S aux appareils connectés. Ici, le module radio et l'écran sont intéressants.

The screenshot shows the 'Device-Manager' interface with the 'Display' tab selected. At the top, a dropdown menu shows '(Default settings)' and 'NRF24', with 'NRF24 with SSD1306' selected. A note below says: 'Your device may stop responding if you select an incompatible profile. In this case, you must perform a deletion via the serial interface.' The 'Connection overview' table lists pins for a display and an NRF24 module. For the display, pins are mapped as follows: clk (22), cs (255), data (21), reset (255), and type (2). For the NRF24 module, pins are mapped as follows: clk (18), cs (5), en (4), irq (16), miso (19), and mosi (23). A 'Save' button is at the bottom.

The screenshot shows the 'Device-Manager' interface with the 'Display' tab selected. It includes settings for 'Enable Power Safe' (on), 'Enable Screensaver' (on), 'Display language' (English), 'Rotation' (180 degree rotation), and 'Contrast (60%)'. A 'Save' button is at the bottom. A note on the right says: 'Figure 21. Quelques réglages pour l'écran connecté.'

Figure 22. Ici, vous pouvez ici enregistrer la configuration dans un fichier json et spécifier l'affectation des broches selon la figure 20 avec un fichier de profil importé. En outre, tous les paramètres peuvent être réinitialisés à l'"état de livraison " ici.

The screenshot shows the 'Config Management' interface. It includes sections for 'Backup: Configuration File Backup' (Backup the configuration file to 'config.json'), 'Restore: Restore the Configuration File' (Restore from 'OpenDTU\_ES...OLED.json'), and 'Initialize: Perform Factory Reset' (Restore Factory-Default Settings). Notes in the restore section say: 'Note: This operation replaces the configuration file with the restored configuration and restarts OpenDTU to apply all settings.' and 'Note: Click Restore Factory-Default Settings to restore the factory-default settings and reboot.'

GitHub [10], entre autres, où vous pouvez en télécharger un. Il s'agit de fichiers json facilement éditables. Vous pouvez télécharger un profil *OpenDTU\_ESP32\_NRF24\_OLED.json*, adapté au module radio nRF24L01+ et aux écrans OLED – avec les options présentées sur la **figure 20** – ainsi que les fichiers du circuit imprimé sur la page de cet article sur le site d'Elektor [6]. Vous importez le fichier de profil via *Config Management* (**figure 22**) en passant en mode *Pin Mapping* au centre gauche, en sélectionnant le fichier json avec le profil désiré et en cliquant sur *Restore* à côté sur la droite. Ensuite, le DTU redémarre et vous pouvez faire la sélection décrite de l'affichage, etc. montrée dans la **figure 20**.

Dans la figure 23, vous pouvez admirer le prototype dans son boîtier en plastique transparent. Ce DTU est situé directement sur l'enceinte gauche de mon bureau, près du moniteur. Grâce au grand écran de 2,42 puces, je suis toujours informé de la récolte solaire en cours.

## En savoir plus

Dans les paramètres d'OpenDTU, vous pouvez configurer beaucoup de détails intéressants. Vous le découvrirez rapidement. Le système récupère automatiquement la date et l'heure via un serveur NTP. Si le serveur prédefini ne fonctionne pas, vous pouvez entrer l'adresse IP de votre propre routeur. Une autre chose intéressante est que vous pouvez sauvegarder la configuration (voir **figure 20**) de sorte que vous gardez une version de votre travail au cas où vous auriez fait une erreur dans votre configuration.

Si vous cliquez sur le bouton rouge dans l'outil de mesure en *Live View*, une fenêtre s'ouvre où vous pouvez définir une limitation de puissance de manière temporaire (jusqu'au redémarrage de l'onduleur) ou permanente (par exemple, si vous avez un onduleur plus puissant que ce que la loi autorise actuellement). La **figure 24** montre mon onduleur de 800 W limité à 75% = 600 W. Une fois que la situation juridique en Allemagne aura changé (cette année, espérons-le), je changerai la valeur à 100%. En outre, avec d'un logiciel externe (système domotique ou similaire) et de capteurs de courant appropriés, il est possible de réaliser un suivi automatique de la puissance générée, de sorte qu'une alimentation zéro *feed-in* (ou autoconsommation pure) est atteinte.

OpenDTU est capable d'envoyer les données via MQTT à un broker MQTT. De telles solutions sont disponibles dans le cloud et localement (c'est-à-dire sur de nano-ordinateurs comme un Raspberry Pi). Avec les outils appropriés, il est possible de visualiser graphiquement les données entrantes à distance, via internet. Vous n'êtes alors pas dépendant de clouds propriétaires et vous avez un contrôle total sur vos données. Le DTU lui-même nécessite environ 70 à 110 mA sans écran à 5 V et un courant un peu plus élevé avec écran. Une valeur très faible ! J'ai également essayé l'autre solution open-source - AhoyDTU – et je n'arrive pas à décider laquelle je préfère.

OpenDTU offre plus d'informations, mais n'est pas aussi facile à installer et à configurer qu'AhoyDTU. La méthode d'installation de ce dernier logiciel est décrite dans un numéro spécial du magazine allemand Elektor consacré à la technologie photovoltaïque. [11] ↪

230500-04

### Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



### À propos de l'auteur

Thomas Scherer a d'abord suivi une formation de technicien en électronique de télécommunication avant de travailler à la rédaction d'Elektor à partir de 1980. Après avoir étudié la psychologie et passé plusieurs années dans la recherche fondamentale, il est rédacteur indépendant pour Elektor depuis des décennies. Il a un grand labo d'électronique et, outre les neurones, il s'intéresse beaucoup aux électrons, c'est-à-dire à tout ce qui a trait à l'électricité.



Figure 23. Un prototype avec un écran OLED de 2,42 pouces est placé sur le haut-parleur gauche de mon poste de travail. Comme vous pouvez le constater, le temps était légèrement nuageux.

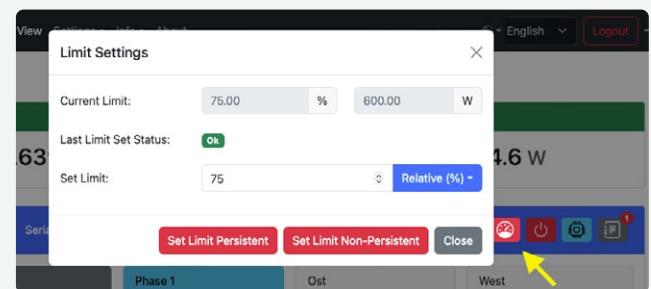
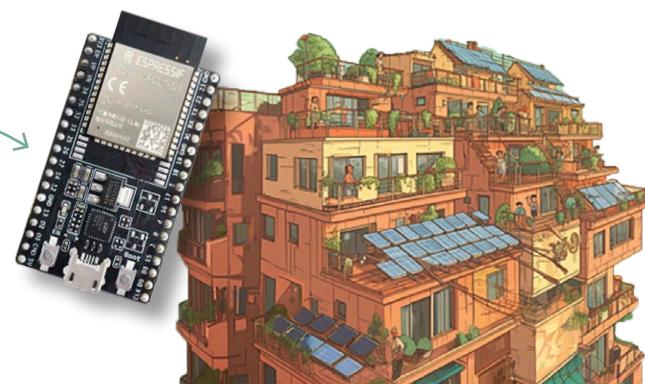
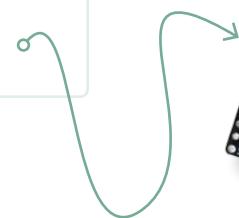


Figure 24. En cliquant sur l'icône rouge avec le compteur, vous accédez au réglage de la puissance maximale de l'onduleur. Vous pouvez régler la puissance en pourcentage ou en valeur absolue en watts, de manière temporaire ou permanente.



### Produits

- **Carte de développement Joy-IT NodeMCU ESP32 (SKU 19973)**  
[www.elektor.fr/19973](http://www.elektor.fr/19973)
- **ESP32-DevKitC-32E (SKU 20518)**  
[www.elektor.fr/20518](http://www.elektor.fr/20518)



### LIENS

- [1] T. Scherer, "centrale solaire sur balcon", Elektor 9-10/2021 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-184/59877>
- [2] Forum Mikrocontroller.net forum (en allemand) : <https://mikrocontroller.net/topic/525778>
- [3] OpenDTU sur GitHub : <https://github.com/tbnobody/OpenDTU>
- [4] AhoyDTU sur Github : <https://github.com/lumapu/ahoy>
- [5] Carte ESP32 d'Espressif : <https://espressif.com/en/products/devkits/esp32-devkitc>
- [6] Téléchargements pour cet article : <https://elektormagazine.fr/230500-04>
- [7] Programmateur en ligne pour ESP32 : <https://espressif.github.io/esptool-js>
- [8] Fichier du micrologiciel OpenDTU : <https://github.com/tbnobody/OpenDTU/releases>
- [9] Coordinate finder : <https://latlong.net>
- [10] Device profiles : <https://tinyurl.com/opendtugithub>
- [11] Elektor-Sonderheft Solartechnik : <https://elektor.de/20596>



# alimentation linéaire variable Ensemble

Alimentation 0–50 V / 0–2 A + alim symétrique double

Steve Griffin (Royaume-Uni)

Le jour où l'auteur a ouvert une alimentation qu'il avait lui-même construite 40 ans auparavant, le circuit qu'il découvrit lui sembla bien éloigné de ses standards de conception actuels. Aussi entreprit-il d'en réduire le câblage, d'y substituer quelques composants modernes et d'y combiner deux alimentations.

C'est en feuilletant le numéro d'été *Circuits de vacances* de l'année 1980 que je suis tombé sur une alimentation de laboratoire parfaite pour moi [1]. Sa description me convainquit qu'elle couvrirait tous mes besoins, dont celui d'alimentation symétrique à faible courant permettant d'alimenter des amplificateurs opérationnels. Elle allait d'ailleurs être mon premier grand projet : un instrument en boîtier. Après quelques semaines consacrées à la gravure du circuit, au soudage, au câblage et à l'ajout d'un cadran de mesure, l'alimentation était prête. Elle fonctionnait à merveille, et continua de le faire durant 40 ans.

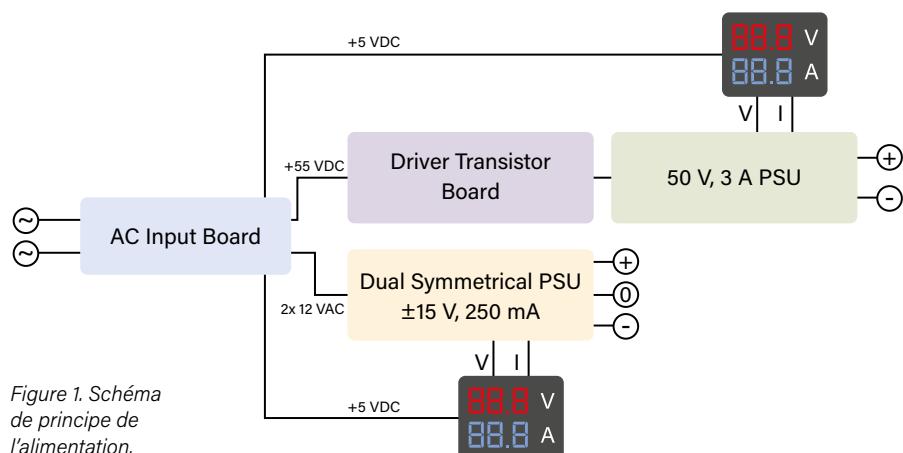
## 40 ans plus tard

Quarante années de manipulation avaient tout de même rendu les marquages du panneau avant peu lisibles, aussi me suis-je décidé un

jour à le rafraîchir. Mon idée était d'en créer un nouveau à l'aide d'un logiciel de CAO. C'est en démontant ledit panneau pour l'étudier que j'ai revu mon câblage d'alors. J'en fus horrifié. Était-ce vraiment moi qui avais câblé cette alim comme ça ? Je ne pouvais décentrement pas refaire l'extérieur sans revoir également l'intérieur. C'est alors que me vint l'idée d'une conception entièrement nouvelle, qui cette fois reposeraient sur des composants modernes, autrement dit des CMS, et sur des connecteurs récents.

La **figure 1** montre le schéma de principe de la nouvelle conception. Commençons par l'alimentation de 50 V.

Figure 1. Schéma de principe de l'alimentation.



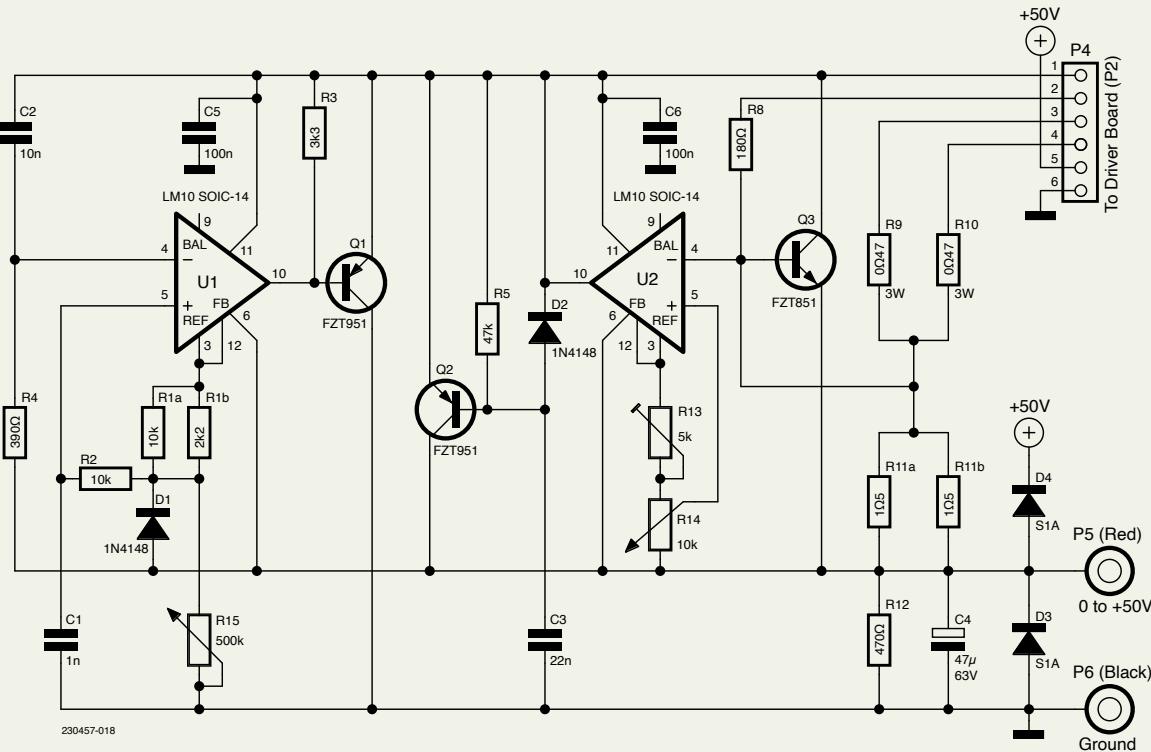


Figure 2. Le circuit du régulateur de 50 V. Les valeurs de R1A et R1B ont été calculées empiriquement en utilisant mes composants. Elles donnent une tension de sortie maximale de 50 V et sont traversées par 100  $\mu$ A si P1 (en butée) vaut exactement 500 k $\Omega$

## Rénovation de l'alimentation 0-50 V

Je tenais avant tout à mettre un peu d'ordre dans le câblage, d'où le choix d'une conception tripartite comprenant : une carte de régulation, une carte de commande, et un refroidisseur pour les transistors de puissance. L'ensemble est relié par un câblage soigné et des connecteurs multivoies.

J'aurais bien sûr pu me procurer une alimentation à découpage fiable pour une somme raisonnable, mais la passion de l'électronique était trop forte, et je trouve la création de dispositifs électroniques utiles éminemment gratifiante.



**Ce projet nécessite la manipulation d'un transformateur alimenté par le secteur. Ne le réalisez pas si vous n'avez aucune expérience avec la tension du secteur, ou demandez l'assistance d'une personne expérimentée pour cette partie de l'assemblage !**

## La nouvelle conception

Le nouveau circuit (figure 2 pour la carte de régulation, figure 3 pour la carte de commande) suit fidèlement la conception originale de 1980, y compris la numérotation des composants. La majorité de ces derniers sont maintenant des CMS, à l'exception notable des semi-conducteurs, inexistants au format CMS actuel et dont il m'a fallu trouver des équivalents. Les composants inchangés sont le transformateur, le condensateur réservoir, les transistors de puissance 2N3055, ainsi que le boîtier.

## Les potentiomètres

Le potentiomètre R14 permet de régler la valeur du courant de sortie, tandis que le potentiomètre R15 sert à ajuster la tension de sortie. Tous

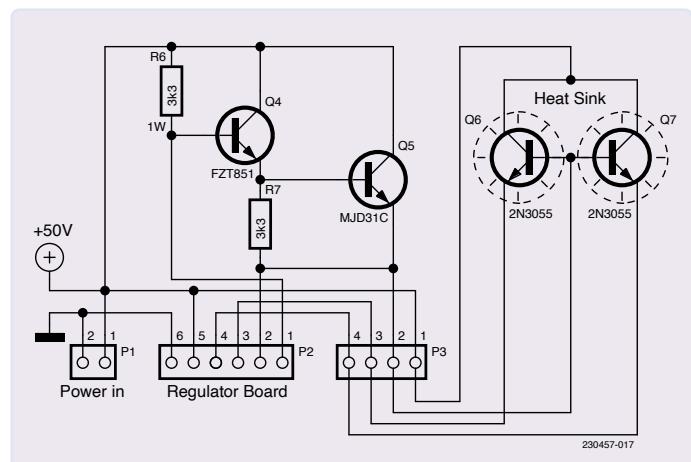


Figure 3. La carte de commande et le dissipateur thermique. Les transistors Q6 et Q7 sont représentés « sur circuit » par souci de lisibilité, mais sont en fait reliés à P3. Q5 nécessite un petit dissipateur – un modèle adhésif 5°C/W suffit. Q6 et Q7 peuvent être montés à l'aide de kits d'isolation sur un gros dissipateur ou fixés au boîtier.

deux doivent être configurés avant utilisation. Pour R14, l'ajustable R13 doit être réglé pour limiter l'intensité maximale de sortie. Pour R15, l'auteur du projet original avait choisi d'utiliser des résistances fixes afin que la tension de sortie maximale soit de 50 V, limite obtenue en faisant passer à travers R15 un courant de 100  $\mu$ A.

Je n'ai pas modifié le circuit d'origine, si ce n'est que j'ai utilisé des CMS, ajouté des condensateurs de découplage pour U1 et U2, et séparé R11 en deux composants afin de dissiper au mieux la chaleur produite, et aussi avoir plus d'options pour le circuit limiteur de courant à contre-réaction rapide construit autour de Q3.

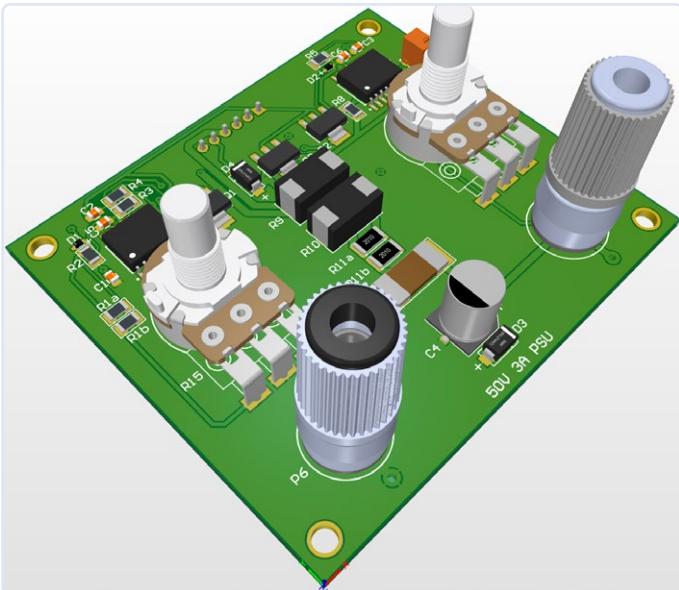


Figure 4. Modèle 3D de la carte du régulateur de 50 V.

Au besoin, l'article original [1] et les notes d'application de *National Semiconductor* relatives à l'ampli-op LM10 vous aideront à mieux comprendre le fonctionnement du circuit.

## Réduction du câblage

Contrairement à la conception originale, les potentiomètres sont montés directement sur la carte du régulateur (cf. **figure 4**). Cela permet de se passer de cinq fils volants et offre davantage d'options pour l'assemblage du boîtier. Autre différence, les transistors de commande sont maintenant sur une carte séparée, ce qui ici réduit le nombre de fils dans le boîtier. J'ai en effet assemblé la carte de commande et les transistors de puissance sur le panneau arrière, leur liaison avec la carte de régulation se faisant avec le connecteur P4. Ce dernier est monté face cuivre pour permettre le montage de la carte sur le panneau avant, mais il peut l'être face composants pour un montage horizontal de la carte.

## Carte d'entrée CA

Cette carte fournit à l'alimentation de 50 V une protection par fusible, le redressement, et un connecteur pour le condensateur C1 fixé au châssis (**figure 5**). Elle délivre au transformateur de 12 V de l'alimentation double (voir ci-dessous) la tension CA du secteur. J'ai choisi un transformateur à montage sur châssis car il offre plus de liberté quant au choix du modèle qu'un transformateur encartable, qui lui a des exigences de câblage précises.

Les deux alimentations sont protégées par les fusibles réarmables F2 et F3 à courant de maintien de 100 mA. Chaque enroulement secondaire alimente directement la carte de régulation via le connecteur P5. J'ai utilisé un transfo à deux sorties de 20 V, câblées en série pour fournir  $40 \text{ V}_{\text{eff}}$ , soit 56 V une fois la tension redressée et lissée. La conception d'origine spécifiait une puissance nominale de 80 à 100 VA, mais j'ai choisi un modèle de 120 VA délivrant jusqu'à 3 A, valeur en accord avec les caractéristiques des transistors de sortie.

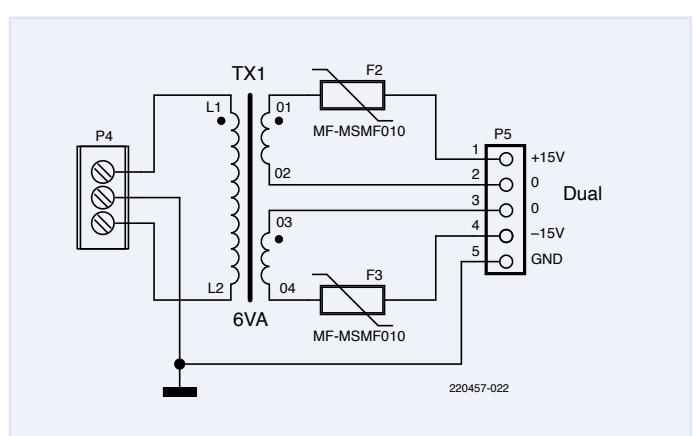


Figure 6. Le transfo et les fusibles pour la carte de l'alimentation double sont également montés sur la carte d'entrée CA.

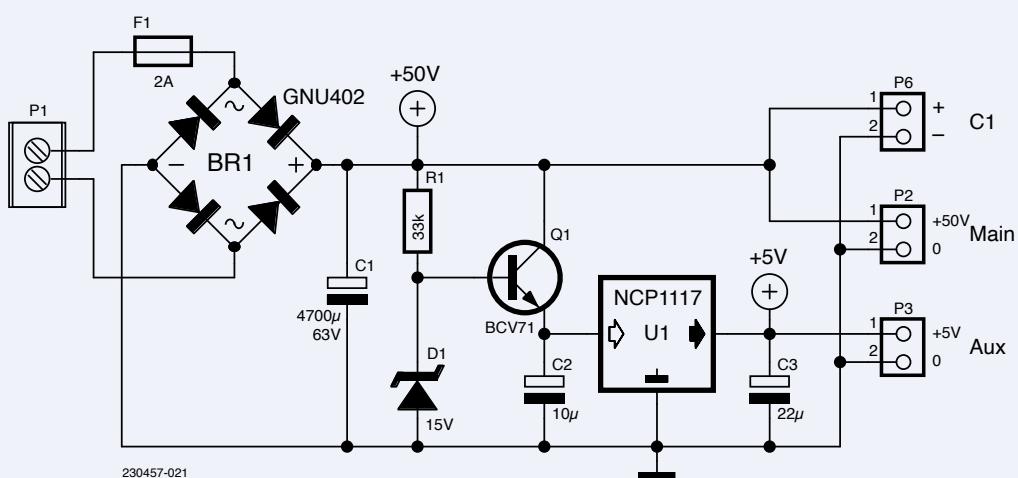


Figure 5. Ce circuit est placé sur la carte d'entrée CA. Il alimente l'unité de régulation et fournit l'alimentation auxiliaire de 5 V pour les afficheurs. Trop gros pour la carte, C1 est monté sur le châssis et relié à P6.

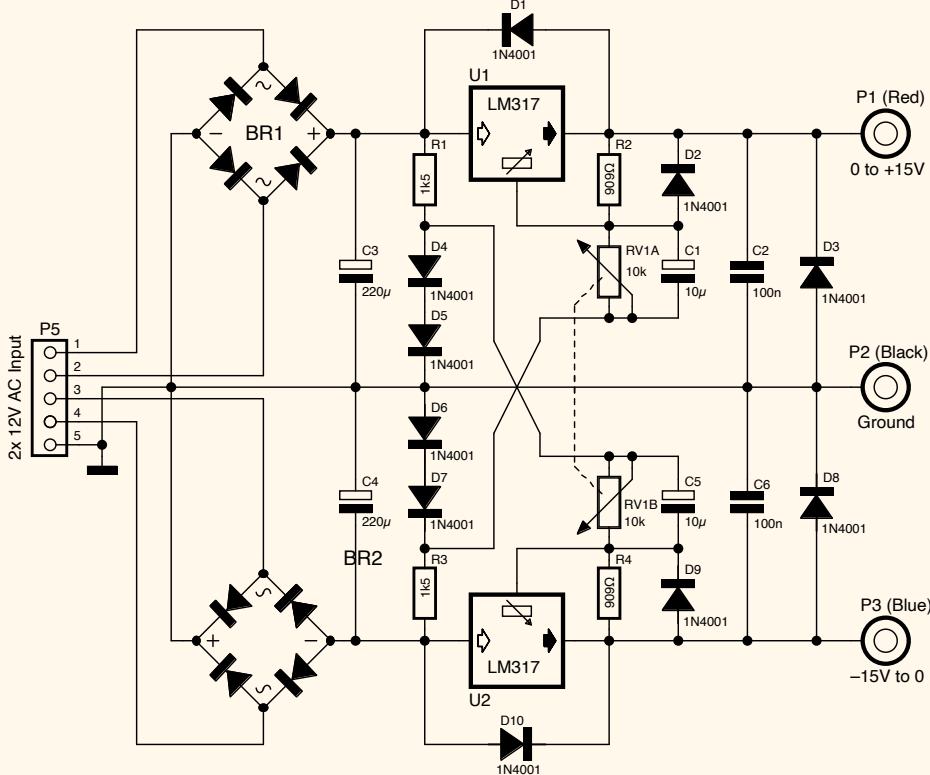


Figure 7. Circuit de l'alimentation variable double. Pour des courants positifs plus élevés, U1 peut être remplacé par un LM1085/4/3 et un dissipateur. Remplacez de même U2 par un LM1033 avec dissipateur pour obtenir des courants négatifs plus élevés.

Notez que les transformateurs à montage sur châssis sont coûteux et qu'il est donc préférable de déterminer (choisir) le courant de sortie maximal souhaité avant d'en acheter un. Ce transformateur alimente ensuite BR1, un pont redresseur de 100 V/4 A à tension directe max. de 1 V ; il fournit 55 V à C1, un électrolytique de 4700  $\mu$ F/63 V, lui aussi coûteux et dont le choix mérite donc réflexion. La valeur nominale de 63 V convient, à condition que la tension de sortie efficace du transfo ne dépasse pas 40 V<sub>eff</sub>.

### Alimentation symétrique double

Ce circuit est simple à réaliser et repose sur des CMS faciles à se procurer. Sa conception est inspirée des notes d'application du fabricant, avec ici et là quelques embellissements. La plage de la tension de sortie va de 0 V à  $\pm 15$  V (double voie) pour un courant de sortie maximal de 250 mA, mais ces deux valeurs nominales peuvent aisément être adaptées. Elles conviennent à mon usage, p. ex. pour alimenter des amplis-ops.

Le circuit est simple (figure 7). Il est construit autour de deux régulateurs de tension linéaires ajustables : un LM317, et un régulateur négatif LM337, chacun réglable par un potentiomètre double. Le circuit comprend des diodes de protection contre les transitoires, ainsi que des circuits de polarisation minimisant l'effet de la tension de référence de 1,25 V requise par les puces régulatrices. De tels circuits empêchent normalement d'ajuster les tensions de sortie jusqu'à zéro, mais ce problème peut en grande partie être résolu en utilisant la chute de tension directe de deux diodes de polarisation dans les circuits d'ajustement positif et négatif. Le potentiomètre et les trois jacks (figure 8) servent au maintien du CI (circuit imprimé) sur le panneau avant, ce qui simplifie l'assemblage final. Là encore le connecteur P5 est monté face cuivre.

### Circuit de l'alimentation double

Cette carte n'a besoin que de deux tensions d'entrée de 12 V<sub>eff</sub> pour fonctionner, car les ponts redresseurs et les condensateurs réservoirs sont inclus sur le CI. Les condensateurs doivent valoir au moins 1,5 fois la tension de crête du transformateur, soit  $1,41 \times 12 \text{ V} \times 1,5 = 25 \text{ V}$ . Viennent ensuite les régulateurs linéaires. Je vous renvoie aux notes de conception du fabricant pour ce qui est de leur principe de fonctionnement, mais vous trouverez mes propres calculs dans l'encadré **Calculs**.

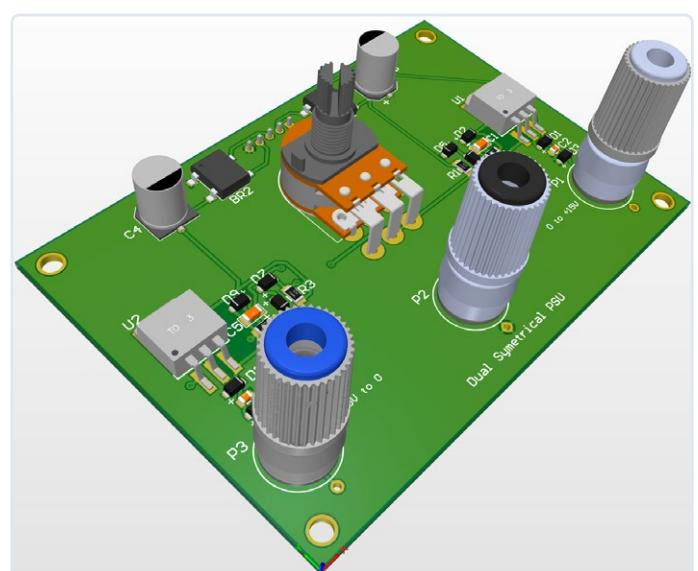
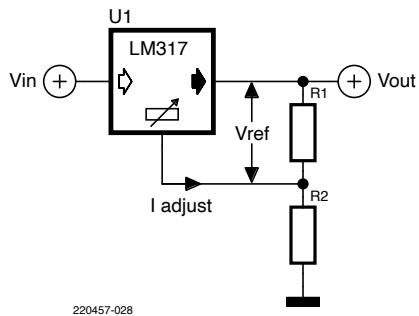


Figure 8. Modèle 3D du circuit de l'alimentation double.

## Calculs



La tension de sortie maximale du circuit est donnée par la formule :

$$V_{\text{out}} = V_{\text{ref}} \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Avec, applicable aux deux sorties :

$V_{\text{out}}$  = tension de sortie souhaitée (15 V)

$V_{\text{ref}} = 1,25 \text{ V}$

$R_1$  = valeur de la résistance à déterminer (résistances  $R_2$  &  $R_4$  du circuit physique)

$R_2$  = valeur de la résistance maximale du potentiomètre ( $RV_1 = 10 \text{ k}\Omega$  dans le circuit physique)

On trouve  $R_1$  par réarrangement des termes :

$$R_1 = \frac{R_2}{\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{ref}}} - 1} \therefore R_1 = \frac{10 \text{ k}}{\frac{15}{1.25} - 1} = 909 \Omega$$

Obtenir une valeur maximale précise importe guère en pratique, mais si vous souhaitez de la précision, mesurez  $R_2$  et insérez sa valeur dans la formule.

Lorsqu'on cherche les valeurs pour les tensions de sortie les plus basses, il ne faut pas oublier que la tension directe des diodes dépend de la température de jonction et du courant qui les traverse. J'ai utilisé des résistances de  $1,5 \text{ k}\Omega$  pour  $R_1$  et  $R_3$  après avoir consulté les caractéristiques  $V/I$  des diodes données par les notes de conception. Les notes du régulateur fournissent une autre solution, mais j'ai constaté qu'elle affectait aussi la tension de sortie maximale.

## Tensions de sortie plus hautes

Ce circuit peut servir d'alim de labo autonome par simple ajout d'un transformateur à double sortie. Avec un refroidissement adéquat, les puces régulatrices spécifiées peuvent supporter jusqu'à  $1,5 \text{ A}$  et une tension d'entrée maximale de  $37 \text{ V}$ . Si vous avez besoin de tensions de sortie plus hautes, le transformateur, le condensateur et les régulateurs devront être mis à niveau. Il existe pour cela des régulateurs à faible chute de tension (LDO) à brochage compatible et pouvant délivrer jusqu'à  $5 \text{ A}$ , p. ex. les LM1084 et LM1085. Il faudra également tenir compte de l'intensité que peuvent supporter les autres composants du circuit.

## Mesures

J'ai également ajouté des modules voltmètre/ampèremètre simples et bon marché afin de visualiser la valeur de sortie positive des deux régulateurs. Le CI offre aussi des connexions de sortie supplémentaires pour l'ajout éventuel de shunts de mesure de courant avant les prises banane de  $4 \text{ mm}$  – qu'il faudra alors isoler du CI : vous pouvez recourir à un kit d'isolation pour brochage TO-3, mais une gaine et des rondelles en plastique conviennent.

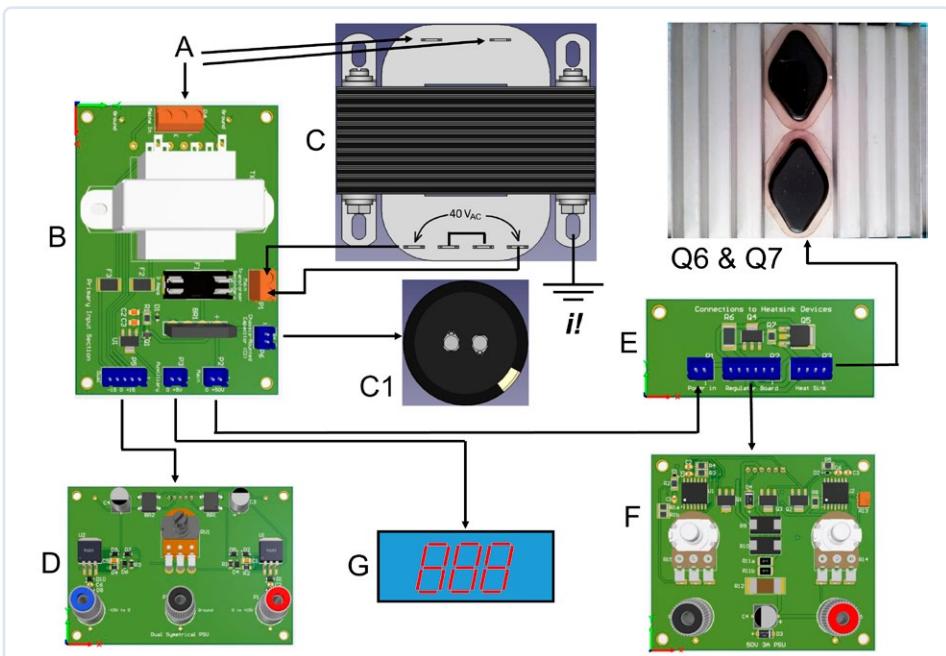


Figure 9. Câblage des cartes. **A** : entrée du secteur CA protégée par fusibles. **B** : carte d'entrée CA. **C** : transformateur de  $40 \text{ V}_{\text{eff}}$ . **C1** : condensateur  $C_1$  de la fig. 4. **D** : carte de l'alimentation variable double. **E** : carte de commande ; les transistors de puissance  $Q_6$  et  $Q_7$  sont montés sur un dissipateur commun à l'aide de kits d'isolation TO-3. **F** : carte de l'alimentation variable de  $50 \text{ V}$ . **G** : afficheurs. « ! » indique que toutes les parties métalliques exposées doivent être reliées à la terre.



Figure 10. L'alimentation *Ensemble*, prête pour 40 années supplémentaires de service.

## Alimentation auxiliaire de 5 V

Le circuit de l'alimentation auxiliaire de 5 V servant aux modules de mesure est placé sur la carte d'entrée CA (figure 5). C'est le plus complexe. L'entrée du régulateur LDO de 5 V doit d'abord être réduite pour que la limite de sa tension d'entrée ne soit pas dépassée. Pour cela une diode Zener (D1) maintient la base d'un transistor NPN discret (Q1) à environ 15 V. Le LDO (U1) voit ainsi à ses bornes une tension d'environ 14,3 V provenant du rail d'alimentation de 50–55 V.

## Assemblage

L'alimentation *Ensemble* comprend quatre CI, un gros condensateur (C1), un transformateur, un dissipateur de chaleur portant Q6 et Q7, et deux afficheurs. La figure 9 montre comment les relier. J'ai monté le tout dans un boîtier métallique adapté. Le résultat est plutôt satisfaisant à mes yeux (figure 10).

## Fabrication des CI

J'ai fait fabriquer les cartes par paires (CI régulateur de 50 V + CI de commande, et CI alim double + CI entrée CA) afin d'en réduire le coût. Pour cela une rainure en V doit être placée entre les cartes. Vous trouverez sur la page du projet [2] les fichiers de conception ainsi que la liste des composants. ↪

VF : Hervé Moreau — 220457-04



## Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (steve@totalfive.co.uk) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



## À propos de l'auteur

L'électronique est depuis toujours le passe-temps de Steve Griffin. Il a débuté dans la réparation électronique, a enseigné l'électronique, et a travaillé comme technicien supérieur à l'université de Warwick au Royaume-Uni, où il a notamment œuvré sur des capteurs à haute sensibilité, conduit des recherches sur des semi-conducteurs, et réalisé des circuits de charge rapide pour batteries HT. Il dessine et fabrique souvent des circuits originaux, et depuis peu s'intéresse à la conception et à l'impression 3D.



## Produits

- **Système d'alimentation linéaire numérique Miniware (MDP-M01+ MDP-P906) (SKU 20458)**  
[www.elektor.fr/20458](http://www.elektor.fr/20458)
- **Alimentation programmable Joy-IT DPM8605 (0-60 V, 0-5 A) (SKU 19385)**  
[www.elektor.fr/19385](http://www.elektor.fr/19385)

## LIENS

- [1] Alimentation de laboratoire 0-50 V/0-2 A, Elektor 7/1980 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-198007/51324>
- [2] Ce projet sur Elektor Labs : <https://elektormagazine.fr/labs/bench-power-supply-ensemble>
- [3] Partie 1 sur Elektor Labs : <https://elektormagazine.fr/labs/variable-0-50v-2a-supply-refresh>
- [4] Partie 2 sur Elektor Labs : <https://elektormagazine.com/labs/simple-dual-voltage-bench-power-supply>

# le stockage d'énergie aujourd'hui et dans le futur

## Questions de C. J. Abate (Elektor)

Les innovations technologiques du stockage de l'énergie vont révolutionner la façon dont nous maîtrisons et stockons l'énergie pour un développement futur durable. Le Dr Simon Engelke (Fondateur et Président de Battery Associates), nous fait part de sa vision sur les sujets tels que les solutions de stockage prometteuses, le recyclage des batteries Li-ion, et autres.

**C. J. Abate :** Avant d'aborder vos recherches universitaires et votre activité à Battery Associates, j'aimerais connaître comment est né votre intérêt pour le stockage de l'énergie et la technologie des batteries. Ces sujets étaient-ils présents en votre esprit dès votre adolescence, ou cela vous est-il apparu durant vos études à l'Université de Maastricht ?

**Simon Engelke :** Au lycée, je réfléchissais aux sujets qui pouvaient être les plus importants pour ma génération, au

cours de notre existence. Les deux sujets qui revenaient constamment étaient, en premier, les pandémies et le développement des vaccins, en second, le changement climatique et le stockage de l'énergie. En fait, j'ai commencé par le sujet des pandémies et de la vaccination. À la fin de mes études, j'ai eu la chance de pouvoir rejoindre le National Institutes of Health (NIH) aux États-Unis, pour y préparer ma thèse, j'en ai tiré des enseignements précieux, mais j'ai décidé de me focaliser sur le changement

climatique, pour lequel je pensais pouvoir avoir un impact plus important, et qui combinaient mes sujets d'études favoris – la chimie et la physique. C'est pour cela que j'ai commencé à étudier les arts et sciences libéraux à l'Université de Maastricht, ce qui m'a permis de combiner chimie et physique avec les mathématiques et la programmation. Durant cette période, j'ai eu l'opportunité de retourner aux États-Unis, à l'Université de Berkeley, et au Laboratoire National Lawrence de Berkeley, pour une année d'un programme d'échange, où j'ai pu, pour ma thèse, faire des recherches sur les batteries Sodium-ion et l'automatisation au service de la recherche sur les batteries. Cela m'a définitivement orienté vers le stockage de l'énergie et les batteries.

**C. J. Abate :** Pendant quelques mois, aux États-Unis, vous avez travaillé chez Google et, comme vous venez de le dire, à l'Institut Lawrence du Laboratoire National de Berkeley. Pouvez-vous nous parler de ces deux expériences ?

**Simon Engelke :** Ce séjour a été une réelle expérience de découverte. J'ai pu faire davantage de recherches appliquées (**figure 1**), en particulier sur les batteries. J'ai été réellement fasciné en découvrant l'historique de toutes les autres recherches incroyables faites dans le passé, certaines par des lauréats du prix Nobel. Il y a deux activités que j'ai pu mener à bien durant ce séjour. J'ai été également intéressé de découvrir le mode d'apprentissage du système américain, leurs horaires de travail et autres méthodes que nous appliquons aujourd'hui dans nos activités de formation à Battery Associates. J'ai pu obtenir une subvention de Google afin de travailler sur des projets remarquables lorsque j'y étais. J'ai collaboré avec des chercheurs de Berkeley et du MIT, travaillant sur les moteurs de recherche destinés aux chercheurs dans le domaine des batteries,



Figure 1. La recherche en action !



sur les automatismes de recherche de données et sur quelques travaux relatifs à la robotique.

**C. J. Abate :** Après avoir été diplômé par l'Université de Maastricht en 2014, qu'est-ce qui vous incite à rejoindre l'Université de Cambridge, plutôt que le milieu industriel. Quel était votre motivation ?

**Simon Engelke :** En réalité, j'y réfléchis depuis quelque temps, « Quelle serait la prochaine étape idéale ? » J'ai pris connaissance du passé des dirigeants et entrepreneurs de l'industrie des batteries, je me suis rendu compte qu'un Doctorat PhD serait d'une grande aide, en particulier en étant jeune, pour acquérir une meilleure crédibilité en débutant dans le domaine des batteries. C'est ce qui m'a conduit vers l'Université de Cambridge, où je me suis orienté vers la recherche sur les batteries et suis devenu membre du World Economic Forum (WEF). Le PhD (**figure 2**) m'a permis d'acquérir une expérience de laboratoire, alors que mon activité au WEF me permettait d'obtenir une vision marketing, une expérience industrielle, et d'aborder les aspects juridiques. Pendant quelques temps, j'avais un esprit entrepreneurial. Dès mes 16 ans, j'ai entrepris quelques projets dans ma ville d'origine, Berlin. Les lettres que j'ai rédigées pour mes dossiers d'obtention de bourses d'études à cette époque, montrent que je souhaitais pouvoir entreprendre sur des sujets qui me tenaient à cœur. Même si j'ai parfois échoué, j'en ai acquis plus d'expérience, un réseau élargi, et une crédibilité accrue, qui se sont révélés très utiles.

**C. J. Abate :** En quoi consiste Battery Associates, pourquoi l'avez-vous créée ?

**Simon Engelke :** Battery Associates est un partenaire de connaissances dans le domaine des batteries. Notre mission est de créer un monde durable grâce aux connaissances des personnes et à l'innovation dans

le domaine des batteries. Nous proposons des services de formation (BatteryEDU), de咨询 (BatteryPRO) et d'innovation (BatteryLAB). Dans le domaine de la formation, notre programme phare est le BatteryMBA, dans lequel nous formons les experts en batteries de plus de 40 pays. Notre division consultance apporte de l'aide à la réussite de leurs challenges, et dans notre plateforme d'innovation nous développons des outils.

Je pensais que l'industrie avait besoin d'un partenaire unique proposant une approche différente. Une entreprise influente qui combinerait le savoir-faire, rapprocherait les acteurs en bâtissant une communauté favorisant la diversité dans le domaine des batteries, et tirant avantage de la globalisation d'une industrie constituée des ressources réparties. Je pense sincèrement que l'industrie des batteries deviendra l'un des secteurs les plus importants au niveau mondial. Les batteries sont nécessaires au combat contre le changement climatique et à la décarbonisation des transports et de l'énergie. Je traite de ces sujets lors d'événements importants tels que l'IAA Mobility ou le World Economic Forum (**figure 3**). Je crois que la participation de Battery Associates à ces événements peut avoir un impact significatif. L'approche de notre société est de démarrer et croître au fil du temps, pour devenir un partenaire durable, de confiance et influent dans ce milieu.

**C. J. Abate :** Le « Battery Cycler » est une solution pour les ingénieurs, chercheurs et universitaires, à la recherche d'un testeur de batteries modulaire. Parlez-nous de ses caractéristiques essentielles.

**Simon Engelke :** L'objectif est de fournir un outil de recherche permettant aux intervenants de réaliser un test performant des batteries (**figure 4**). Nous avons commencé par une version simplifiée pour une cellule, développée pour les passionnés des batte-

Figure 2. Engelke s'est principalement consacré aux recherches sur les batteries à l'Université de Cambridge.



Figure 3. Présentation lors du World Economic Forum.

ries, l'enseignement, les universitaires et pour les start-ups naissantes. La version courante permet un test complet des batteries, cependant, nous développons de nouveaux capteurs qui pourront également être connectés. Nous prévoyons de continuer l'amélioration des caractéristiques et la réalisation d'un produit plus robuste, prenant ainsi en compte les demandes de nos clients. Notre principale attention se porte actuellement sur le développement du « Battery Cycler » et nous pensons prochainement offrir des ressources connectées de type open-source à notre testeur. Nous souhaitons également que cela se fasse en collaboration avec la communauté. Nous croyons en un outil modulaire, économique et réellement destiné aux usages spécifiques.

**C. J. Abate :** Le « Battery Cycler » est-il toujours disponible en pré-commande ? Quel est son prix ?

**Simon Engelke :** Il est proposé en pré-commande et coûtera environ 250 €. Il est possible de le réserver en se rendant sur notre page produit [1].

**C. J. Abate :** Quel a été le changement le plus surprenant survenu dans l'industrie depuis 2015, date du début de votre PhD à Cambridge ?

**Simon Engelke :** Je pense qu'il s'agit de la popularité grandissante des batteries et de



Figure 4. Simple, intelligent et abordable, le testeur « Battery Cycler » permet les échanges entre membres de la communauté expérimentant les batteries.

leur industrie. Quand j'ai débuté, ce sujet n'était pas aussi populaire, mais les gens en sont maintenant conscients. Chaque année, je constate que la croissance de cette industrie est sous-estimée. Il y a une croissance importante concernant la mobilité, et nous constatons également un essor important des besoins de stockage. En ce qui concerne les nouvelles applications, nous voyons apparaître de plus en plus de robots. Et, bien entendu, le développement de l'Intelligence Artificielle. Il y a beaucoup de domaines émergents qui nous stimulent, tout comme les opportunités qui en découlent, comme par exemple, faciliter la simplification du traitement des données. Il y a également des changements importants dans la chimie des batteries, comme les batteries sodium-ion et les batteries lithium fer phosphate (LFP) qui ont fait l'objet de développements et d'une prise en considération passionnantes.

**C. J. Abate :** D'après vous, quel est le challenge actuellement le plus important auquel l'industrie de production des batteries doit faire face ?

**Simon Engelke :** Je pense qu'il y a actuellement trois immenses challenges : la disponibilité des matériaux, celle d'experts du domaine (mettant au point les batteries, poursuivant la recherche, et la mise en production), et la montée en puissance de la fabrication intensive (conversion des annonces en production fiable).

**C. J. Abate :** Le recyclage des batteries Li-ion est un sujet préoccupant pour de nombreux membres de la communauté Elektor. Quels sont les principaux challenges ? Où se situent les opportunités de progrès ?

**Simon Engelke :** Je pense que des développements intéressants existent à ce sujet. En Europe, on travaille sur de nouvelles règles de l'Union Européenne concernant les batteries, incluant des contraintes de recyclage, y compris l'utilisation des matériaux des batteries recyclées dans les nouvelles batteries. Cela impose une classification des matériaux recyclés spécifique aux batteries. C'est une opportunité de créer une économie circulaire pour cette industrie. En plus, dans les régions comme l'Europe, je suis rempli d'espoir, constatant que les matériaux recyclés sont considérés comme une ressource, plutôt que d'observer la fuite en avant des responsabilités.

**C. J. Abate :** Projetons-nous dans un an ou deux. À votre avis, quelles sont les technologies de stockage les plus prometteuses ?

**Simon Engelke :** Il y a des pistes fondamentales à surveiller dans les deux années à venir : les nouveaux moyens de stockage (comme le stockage de longue durée) et les changements dans la chimie des batteries. Les batteries Li-ion resteront essentielles, en particulier pour les petits appareils. On devrait également constater une importante utilisation des batteries LFP pour les transports et les applications fixes. Il y a de nombreux débats dans le domaine des développements des batteries sodium-ion, il sera intéressant de voir comment cela évolue et en combien de temps.

**C. J. Abate :** Pour terminer, avez-vous un conseil à donner aux étudiant en cours de formation, qui envisageraient de faire carrière dans le domaine de l'énergie et des batteries ?

**Simon Engelke :** C'est une excellente question. S'ils sont à la recherche de

ressources en ligne, nous proposons des programmes tel que Battery101 [2] et nous dispensons le programme BatteryMBA [3] donnant un aperçu détaillé des batteries et des derniers développements de cette industrie. Nous offrons des bourses pour ces deux programmes. Nous hébergeons également des podcasts d'initiation et avons couvert de nombreux sujets au cours des années passées. Il existe également des rencontres organisées par différents organismes. Nous en organisons nous-même, mais d'autres organisations, comme la fondation Volta, mettent les spécialistes en relation. Je pense que participer à ces événements et rencontrer des personnes ayant les mêmes préoccupations, est un bon moyen de débuter. Si vous avez des questions, sentez-vous libre de me contacter ou joindre mon équipe sur LinkedIn ou sur mon site web [4]. Nous serons heureux de voir si nous pouvons vous accompagner dans votre parcours. Nous sommes très contents de voir de nouveaux candidats rejoindre cette industrie, et de pouvoir les aider, car c'est un domaine très important à considérer, pas uniquement sur le plan du changement climatique, mais également pour contribuer à la création d'une économie durable, circulaire et pérenne. ↗

VF : Jean Boyer — 230636-04

### À propos de Simon Engelke

Le Dr. Simon Engelke est le fondateur dirigeant de Battery Associates. Il est titulaire d'un Doctorat PhD sur les batteries lithium-ion obtenu à l'université de Cambridge.

### Questions ou commentaires ?

Avez-vous des questions ou des commentaires à propos de cet article ? Contactez Battery Associates à [4], ou envoyez un e-mail à Elektor à l'adresse redaction@elektor.fr.

### LIENS

[1] Battery Cycler : <https://battery.associates/battery-cycler-product-page>

[2] Formation Battery101 : <https://battery.courses/courses/battery101>

[3] Programme BatteryMBA : <https://battery.mba>

[4] Contact Battery Associates : <https://battery.associates>



# l'Odyssée de l'IA

seen répit

Digitized by srujanika@gmail.com

Notre odyssée entre dans une nouvelle année, et le rythme des nouveaux développements n'a pas du tout ralenti. Mais, quoi de neuf sur notre projet de Tour d'Hanoï ? Le moins que l'on puisse dire, c'est qu'il s'agit d'une aventure intéressante, pleine de défis techniques et de réflexions.

Bonne année !

Bienvenue en 2024 ! 2023 a été l'année de la percée de l'IA, marquée par une croissance spectaculaire des outils d'IA générative. Selon une enquête mondiale de McKinsey [1], un tiers des personnes interrogées ont déclaré que leur entreprise utilisait régulièrement l'IA générative dans au moins une tâche. Les outils d'IA générative sont passés d'une niche technologique à un centre d'intérêt pour les dirigeants d'entreprise. 40 % des personnes interrogées prévoient d'augmenter leurs investissements dans l'IA en raison des progrès de l'IA générative. L'IA générative s'est étendue de l'IA générative textuelle à l'analyse multimodale de tout, du code aux PDF, en passant par les feuilles de calcul et les images, puis à l'utilisation de cette analyse pour générer de nouveaux

résultats multimodaux, notamment des textes et des images, mais aussi des applications vidéo et audio de plus en plus répandues.

Si même les grandes entreprises, qui évoluent lentement, font des efforts considérables pour fluer vers ce nouveau territoire inexploré mais séduisant, je compte bien l'exploiter pour m'aider et m'éduquer - d'une manière qui n'était même pas une utopie lorsque j'étais un étudiant.

## Le Manuel illustré d'éducation pour jeunes filles

Un bon exemple : l'Age de diamant (1995) de Neil Stephenson est une grande œuvre de science-fiction moderne [2]. Comme beaucoup d'œuvres de Stephenson, elle est visionnaire, mais ses spéculations folles et exubérantes sur l'IA n'allaienr peut-être pas assez loin pour 2024.

Le livre dépeint un monde bardé de nanotechnologies. Nell, une jeune fille défavorisée, trouve une copie d'un manuel interactif créé par un client fortuné à sa fille. *Le Manuel illustré d'éducation pour jeunes filles*, est conçu pour éduquer et guider son lecteur de manière adaptative, tout comme les grands modèles de langage s'adaptent désormais à nos besoins spécifiques et individuels, et

personnalisent leur performance selon nos besoins. Le livre s'adapte aux situations rencontrées par Nell. Ses interactions avec le livre d'IA sont assistées par des acteurs qui travaillent à distance, anonymement et en direct, et qui sont chargés de transmettre les messages éducatives extravagantes sous forme d'histoires pour la jeune fille.

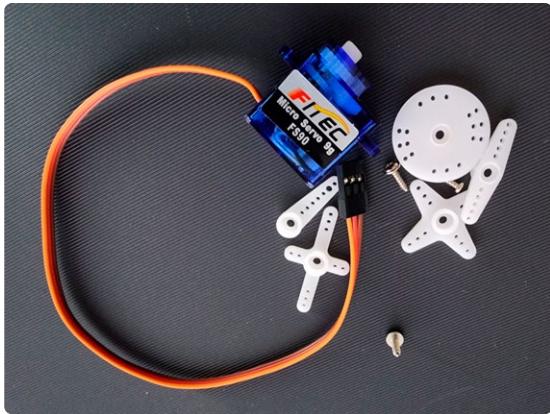


Figure 1. Micro servo  
Fitec FS90 9 g



Figure 2. Moteur N20  
avec un arbre M4 de  
100 mm.



Figure 3. Pince de  
robot micro plastique  
Actobotics.

Aujourd'hui, on n'a plus besoin d'un humain pour produire une voix humaine ; non seulement une voix à consonance humaine, comme celles synthétisées par nos Speak & Spells de Texas Instruments dans les années 80, mais une vraie voix humaine, avec des pauses, de l'intonation et de l'émotion. J'ai utilisé ElevenLabs [3] pour générer une voix à consonance humaine – allant même jusqu'à cloner la mienne et quelques-unes de mes préférées – et cela fonctionne très bien.

Désormais, l'application mobile de ChatGPT pour Android [5] et iOS [6] offre la possibilité d'interagir uniquement par la voix. Pas de "Wake word", pas de "over and out". Pendant que je préparais le dîner, j'ai confié

mon téléphone à Chase, un garçon de 10 ans, et je l'ai écouté, lui et ChatGPT, parler pendant une demi-heure de tout et de rien, de Fortnite aux courses de motocross, et même de l'étrangeté de parler à une IA et de sa ressemblance avec Knight Ride (un classique chez moi). Et, grâce à DALL-E intégré (également d'OpenAI), l'application peut aussi dessiner des images. Le manuel d'éducation illustré est là, et sans acteurs rémunérés.

Ces développements changent la donne pour les personnes isolées, les personnes âgées, les infirmes, les personnes souffrant d'un trouble visuel ou les jeunes enfants qui, comme Nell, n'ont pas encore appris à lire. Revenons maintenant à mon IA : sa mission était de m'aider à développer un nouveau type de minuteur à œufs, inspiré du jeu de la Tour d'Hanoï (voir la dernière partie [3]).

### Mise à jour sur la Tour d'Hanoï

La dernière fois, je me suis lancé dans l'aventure ambitieuse d'utiliser l'IA pour m'aider dans une tâche pour laquelle j'aurais dû consulter quelqu'un ayant des compétences en électromécanique. Comme je m'y attendais, le plus grand défi a été la conception mécanique. Je maîtrise l'électronique et la programmation, mais la mécanique est une autre paire de manches. Le choix entre un servomoteur et un moteur pas à pas semblait simple au départ, mais il a ouvert toute une boîte de Pandore. Des questions telles que la nombre de couples nécessaire sont des calculs délicats pour moi, surtout lorsqu'il s'agit de lever un bras pour soulever un objet. Cependant, avec l'aide de mon ami artificiel et des achats en ligne, j'ai réussi à rassembler quelques éléments pour tenter ma chance :

- ▶ 4x micro servos Fitec FS90 9 g (anciennement Feetech) (figure 1). Ceux-ci peuvent gérer un angle de fonctionnement d'environ 120° aisément, et ont un couple de 1,5 kg-cm à 6 V. Dans mon expérimentation préliminaire, je ne me préoccupe pas trop de son poids ou de sa vitesse de déplacement – réalisons la tâche avant de nous préoccuper de l'efficacité.
- ▶ 1x moteur N20 avec un axe M4 de 100 mm (figure 2). Il suffit de souder deux fils à ses bornes et il est prêt à fonctionner.
- ▶ 11x pince de robot en micro plastique Actobotics (figure 3). Elle est compatible avec les dimensions du micro servo Hitec HS-55, qui sont les mêmes que celles du Fitec FS90. Je l'ai ajouté à mon panier en ligne avant de passer à la caisse parce que je pensais qu'il pourrait être utile – il n'a pas été spécifiquement recommandé par ChatGPT.
- ▶ 1x module HW-724 basé sur ESP32 doté de Wifi, Bluetooth et d'un écran OLED (figure 4). Pourquoi ce module ? Premièrement, il était disponible et peu coûteux. Deuxièmement, je n'ai pas trop travaillé avec des SoC Espressif depuis que j'ai équipé

mon pèse-personne de Wifi à l'aide d'un ESP8266 en 2015. J'ai beaucoup de projets Arduino à mon actif, mais je me suis dit qu'il fallait essayer quelque chose de nouveau. J'aurais pu choisir bien d'autres contrôleur, par exemple le Raspberry Pi Pico W.

Maintenant, comment assembler tout cela ? Cette partie du projet a été un mélange de frustration et de découverte. Comme je l'ai mentionné la dernière fois, grâce au livre Arduino de Günter Spanner, je dispose d'un jeu de Meccano avec lequel je pourrais créer un prototype, bien que ChatGPT ait recommandé de commencer par des bâtons de popsicle ! Je ne sais pas comment vous les appellez dans votre région, mais vous pouvez voir ceux que j'ai dans la **figure 5**.

Il me reste à déterminer les pilotes de moteur à utiliser, la puissance nécessaire à l'appareil, la manière d'obtenir les tensions plus élevées que celles du TTL requises par les moteurs, puis à passer de la lecture des fiches techniques à la compréhension de la manière dont ces pièces fonctionneront ensemble dans la pratique.

## Les idées ChatGPT

Bien sûr, j'ai gardé mon fidèle ami au courant, mais il s'est avéré moins utile lorsque nous sommes passés de la théorie à la pratique. Ses réponses ont été mitigées : il a suggéré d'utiliser des matériaux plus légers pour les disques afin de réduire la charge, mais il a également proposé différents types de moteurs et de structures mécaniques. Il est fascinant (pour parler positif) d'avoir toutes ces façons de résoudre un même problème. Un autre problème que j'ai avec ChatGPT-4 est que je continue à utiliser tous mes jetons et que je dois ensuite attendre quelques heures avant de pouvoir continuer à lui poser mes questions ineptes. Ou, du moins, il m'indique que j'ai utilisé tous mes jetons. Franchement, je pense qu'il devient un peu trop intelligent à mon goût et qu'il m'arrête lorsque mon insistance devient insupportable. Pour résoudre ce problème, j'ai essayé d'installer un chatbot d'IA générative sur mon PC, qui ne me dira pas que je surutilise les ressources disponibles. J'y reviendrai une autre fois.

## Situation actuelle

Pour l'instant, le projet en est encore à la phase de conception. Mon établi est rempli de composants, et



Figure 4. Module générique HW-724 basé sur ESP32 avec Wifi, Bluetooth et OLED.

les options que j'ai essayées n'ont pas abouti exactement à ce que je cherchais – pour l'instant. La réalisation de ce projet est un casse-tête, certes, mais un casse-tête éducatif que je suis déterminé à résoudre.

Bien entendu, les commentaires de la communauté sont toujours les bienvenus, même si votre intelligence n'est pas artificielle ! Si vous avez des suggestions ou des expériences, je serais ravi de les découvrir. ↗

230181-D-04



Figure 5. Les bâtons de Popsicle pour créer des prototypes ?

## Questions ou commentaires ?

Contacter l'auteur (brian.williams@elektor.com).

## À propos de l'auteur

Brian Tristam Williams est fasciné par les ordinateurs et l'électronique depuis qu'il a eu son premier «micro-ordinateur» à l'âge de 10 ans. Son aventure avec le magazine Elektor a commencé lorsqu'il a acheté son premier numéro à 16 ans, et depuis lors. Il est passionné par le monde de l'électronique et de l'informatique. Il a commencé à travailler pour Elektor en 2010 et, aujourd'hui, il s'attache à suivre les dernières tendances technologiques, en se concentrant notamment sur l'intelligence artificielle et les ordinateurs monocartes tels que le Raspberry Pi.

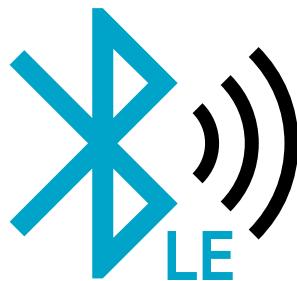


## Produit

➤ Elektor ESP32 Smart Kit  
[www.elektor.fr/18305](http://www.elektor.fr/18305)

## LIENS

- [1] "The state of AI in 2023" — McKinsey Global Survey: <https://tinyurl.com/mckinseyai2023>
- [2] Neal Stephenson, "The Diamond Age: Or, a Young Lady's Illustrated Primer": [https://goodreads.com/book/show/827/The\\_Diamond\\_Age](https://goodreads.com/book/show/827/The_Diamond_Age)
- [3] ElevenLabs — AI Voice Generator: <https://elevenlabs.io>
- [4] ChatGPT for iOS: <https://apps.apple.com/us/app/chatgpt/id6448311069>
- [5] ChatGPT for Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.openai.chatgpt>
- [6] Brian Tristam Williams, "2023: An AI Odyssey" Elektor 11-12/2023: <https://elektormagazine.com/magazine/elektor-316/62297>



# Bluetooth LE sur le STM32

Un moyen de lire les mesures à distance

Tam Hanna (Hongrie)

Pour de nombreux appareils électroniques, la connectivité avec les smartphones est indispensable, l'idéal pour la communication étant la technologie Bluetooth LE à faible puissance. En revanche, la mise en œuvre d'une application BLE sur un microcontrôleur n'est pas vraiment triviale. Les environnements de développement avancés avec génération de code sont d'une aide précieuse. Nous le démontrons ici avec une carte STM32WBA2 Nucleo et le STM32CubeIDE.



Figure 1. Le chipset radio proprement dit est placé sur une carte porteuse...



Figure 2. ...tandis que le connecteur Arduino et le débogueur sont fournis par un circuit imprimé séparé.

Développer un produit doté de la communication Bluetooth LE n'est pas toujours simple. Vous devez tout d'abord sélectionner le meilleur SoC sans fil pour votre application, et tenir compte de la consommation d'énergie ultra-faible, mais aussi de l'ensemble de l'écosystème disponible pour le matériel.

STMicroelectronics a beaucoup œuvré pour offrir un écosystème convivial et libre pour tous les MCU STM32 d'usage général et maintient la même stratégie pour ses MCU sans fil. Le STM32WBA52 prend entièrement en charge la connectivité Bluetooth LE et est complètement intégré dans ses outils STM32Cube. Les contrôleurs de génération précédente, comme le produit BlueNRG de ST, migrent également vers l'écosystème STM32Cube. Dans cet article, nous allons montrer comment construire votre application Bluetooth LE en tirant parti de l'écosystème STM32Cube.

## L'environnement de travail

L'un des principaux arguments en faveur des MCU de ST est le STM32CubeIDE. L'environnement de développement intégré est accompagné d'un générateur de code capable de produire des résultats d'une ingéniosité impressionnante.

Pour des exigences moyennes, il suffit souvent de configurer les périphériques à l'aide de la fonctionnalité graphique du STM32CubeIDE et de ne s'occuper que du code utilisateur. On ne perd pas de temps à étudier les fiches techniques et à « disséquer » les exemples de code. Cela permet d'économiser un nombre considérable d'heures de travail.

Dans les étapes suivantes, une carte NUCLEO-WBA52CG nous a servi d'environnement de travail, comme le montrent les **figures 1 et 2**.

## Autres contrôleurs et cartes de développement

Le candidat alternatif numéro 1 est le STM32WL55 : il s'agit d'un MCU multicœur qui combine un cœur Arm Cortex-M4 et un cœur Cortex-M0+. L'émetteur-récepteur radio, optimisé pour divers protocoles sub-gigahertz, est intégré dans le MCU. Dans son annonce, ST promet la prise en charge des modulations « LoRa, (G)FSK, (G)MSK et BPSK. S'agissant d'un système sur puce sans fil entièrement ouvert, il est compatible avec les protocoles normalisés - et propriétaires - tels que LoRaWAN, Sigfox, wM-Bus et bien d'autres encore ».

La carte Nucleo, qui est principalement destinée à l'évaluation des nœuds LoraWAN, est disponible en deux versions - la WL55JC1 couvre la gamme de fréquences 865-928 MHz, tandis que la WL55JC2 couvre la gamme de fréquences 433-510 MHz.

Le candidat numéro 2 est le STM32WB-5MM-DK, une carte dont le module

certifié est également basé sur le STM32WB55 à double cœur. Sur cette carte, le contrôleur diffère de son frère mentionné ci-dessus en ce qu'il prend en charge des protocoles supplémentaires - l'émetteur-récepteur sans fil installé ici est également capable de communiquer via Bluetooth LE et comprend également un MAC 802.15.4 et la prise en charge de Open Thread, Zigbee et Matter.

La carte d'évaluation contient également divers périphériques, notamment une mémoire Flash NOR QSPI externe et même un petit écran, ce qui permet de mettre en place et faire fonctionner des systèmes de capteurs sans avoir à connecter du matériel externe.



Le processeur principal est un STM32WBA52CG - une puce à cœur Arm® Cortex®-M33 avec un haut niveau de sécurité (certifié PSA niveau 3), une puissance de sortie élevée (jusqu'à +10 dBm) et optimisée pour les capacités de messagerie à faible consommation afin de prolonger la durée de vie de la batterie. Toutes les fonctionnalités de la norme sans fil Bluetooth LE 5.3 sont prises en charge. Il convient de noter que ST fournit également plusieurs autres cartes d'évaluation, que nous avons brièvement décrites dans l'encadré **Autres contrôleurs et cartes de développement**.

Si vous regardez attentivement le dessous de la carte NUCLEO-WBA52CG, vous remarquerez qu'il y a un module bleu monté en surface sur le circuit imprimé. Il s'agit d'un débogueur ST Link complet appelé STLINKV3-MOD, vendu également en tant que produit autonome.

Pour commencer les expérimentations, nous utiliserons STM32CubelDE. On peut le télécharger gratuitement à l'adresse [1] – dans les étapes suivantes, l'auteur travaille avec la version 1.13.2 de l'EDI. Une station de travail AMD à huit coeurs fonctionnant sous Windows 10 sert d'environnement d'exécution. STM32CubelDE n'est pas trop exigeant en termes de performances système ; cependant, comme beaucoup d'autres systèmes basés sur Eclipse, l'interface utilisateur peut bénéficier de performances plus rapides sur un seul cœur.

Après avoir démarré l'EDI, nous cliquons sur l'option *File New STM32 Project* pour lancer le générateur de projet STM32. Ne soyez pas surpris si cela prend un peu de temps - STM32CubelDE télécharge la dernière liste des définitions de cartes depuis un serveur ST à chaque démarrage pour s'assurer que le développeur dispose toujours d'un catalogue de modèles de projets à jour.

Dans l'étape suivante, nous passons à l'onglet *Board Selector*, où nous entrons NUCLEO-WBA52CG dans le champ *Commercial Part Number*. Une image de notre carte apparaît alors dans la fenêtre *Board List*, que nous sélectionnons en cliquant dessus. Nous cliquons ensuite sur *Next* pour lancer l'assistant de création de projet STM32. Vous pouvez attribuer le nom de projet que vous souhaitez tout en veillant à ne pas activer l'option *Enable TrustZone* et à laisser les autres paramètres tels que suggérés par STM32CubelDE.

Après avoir cliqué sur *Finish*, le générateur commence à créer le squelette du projet – répondez par *Yes* à la question sur le paramétrage par défaut de tous les périphériques, ce qui signifie que nous nous appuierons sur le BSP - *Board Support Package* de la carte Nucleo. Dans certains cas, Cube affiche un avertissement (figure 3) qui indique l'absence d'un compte ST en ligne.



### Gagnez 5 000 euros !

Dans le cadre du concours STM32 Wireless Innovation Design Contest, vous pouvez développer vos propres applications sans fil avec des cartes puissantes – prises en charge par le riche écosystème de STMicroelectronics. Vous pouvez vous attaquer à tout ce qui vous semble intéressant - de la manière que vous voulez ! L'IdO, la robotique, les jeux, la domotique, les tests et mesures ou l'IA ne sont que quelques-uns des domaines d'application possibles. Laissez libre cours à votre créativité, amusez-vous et gagnez ! Des prix d'une valeur totale de 5 000 euros sont à gagner ! Les détails concernant la participation au STM32 Wireless Innovation Design Contest, tels que le calendrier et les conditions exactes de participation, sont disponibles sur la page web du concours à l'adresse [elektormagazine.com/st-contest](http://elektormagazine.com/st-contest).

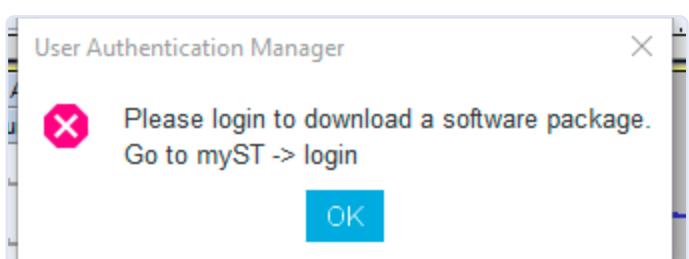


Figure 3. Pour télécharger des paquets, vous devez d'abord vous connecter.

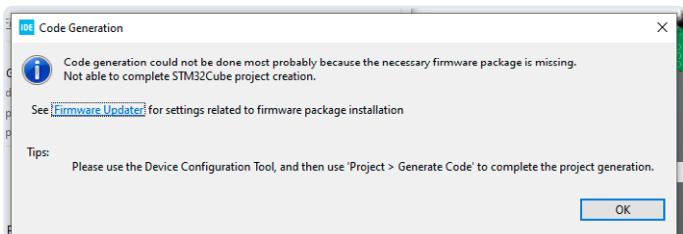


Figure 4. Cette boîte de dialogue est synonyme d'absence de paquet !

Si vous recevez ce message d'erreur, vous verrez – normalement – également la boîte de dialogue de la **figure 4**. Attention, car notamment sur les postes de travail multi-écrans, elle peut parfois être cachée derrière une fenêtre.

Si vous voyez ce message d'erreur, vous n'avez pas de chance – la solution la plus pratique est de supprimer l'ensemble du projet dans l'explorateur de projets. Attention : Dans la fenêtre *Delete Resource*, la case *Delete Project Content on Disk* doit être cochée, sinon STM32CubeIDE ne supprimera pas le projet sur le disque.

L'étape suivante consiste à cliquer sur *myST Login*. Dans la boîte de dialogue qui s'affiche, connectez-vous avec les détails de votre compte sur le site web de ST. Si vous n'avez pas encore de compte ST, nous vous conseillons d'en créer un. Ce compte vous permettra d'accéder à l'assistance technique proposée en ligne. Vous recevrez également des invitations régulières à des événements qui vous permettront d'en savoir plus sur le monde de ST : outre les événements en ligne, il y a également des événements réguliers en présentiel.

Après avoir réussi à vous connecter, vous êtes accueilli par votre nom dans la barre de menu, comme le montre la **figure 5**. Il s'agit d'une indication suffisante pour relancer la création du squelette du projet. Lors de l'extraction de l'archive contenant le pack logiciel STM32CubeWBA, vous devrez entre autres choses accepter un accord de licence. Une fois ce travail terminé, vous vous retrouvez dans la configuration standard d'un microcontrôleur STM32, qui vous permet de configurer les différents périphériques.

## Comment accélérer l'extraction

L'extraction des archives du micrologiciel prend un certain temps sous Windows : Le principal responsable est l'antivirus intégré à Windows. En théorie, vous pouvez le désactiver temporairement dans le panneau de configuration pour accélérer le déploiement, mais nous ne le recommandons pas.

## Mise en œuvre de la pile Bluetooth LE

Le développement manuel des diverses piles réseau est un de ces processus interminables qui tendent à se transformer en corvée. Heureusement, avec ST, la pile Bluetooth – également appelée « *middleware* » – est partiellement intégrée dans le générateur de code graphique.

Pour que le matériel Bluetooth soit opérationnel, il n'est même pas nécessaire de télécharger manuellement des paquets contenant des logiciels supplémentaires. En effet, les modules requis font généralement déjà partie du logiciel fourni ci-dessus.

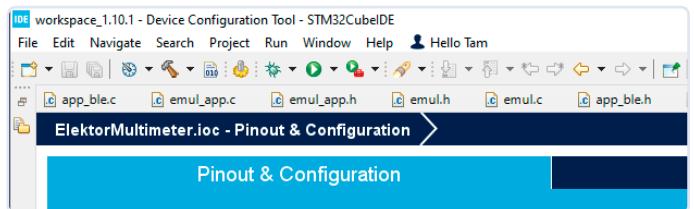


Figure 5. STM32CubeIDE est très convivial.

Ici, le principal défi consiste à configurer les différents périphériques. Afin de réduire la consommation d'énergie, ST a toujours équipé ses contrôleurs 32 bits d'un système étendu de contrôle de puissance, qui permet de désactiver les unités fonctionnelles inutilisées. Il n'est pas surprenant que cette flexibilité accrue s'accompagne également d'une certaine responsabilité du développeur et éventuellement d'un effort supplémentaire lors de la phase de démarrage.

La pile Bluetooth LE nécessite toute une série de périphériques dont l'utilité n'est pas toujours évidente. Heureusement, ST propose une liste prête à l'emploi [2], que nous pouvons simplement parcourir. Il est important et nécessaire d'activer également des périphériques plus « exotiques » tels que le contrôle de la température du CA/N – il fournit des informations d'état dont la pile Bluetooth a absolument besoin pour démarrer.

Nous noterons également que les erreurs de configuration matérielle peuvent être délicates. Si, pour une raison quelconque, la pile Bluetooth LE ne fonctionnait pas au moment de l'exécution, vous devriez normalement commencer le dépannage de ce côté.

Dans ce qui suit, nous supposons que le lecteur a une connaissance préalable de l'utilisation de Bluetooth LE. Une brève introduction est disponible à l'adresse [3].

Pour la configuration proprement dite de la pile Bluetooth, nous passons à la catégorie *STM32\_WPAN*, où nous sélectionnons *Mode BLE* et l'option *Select and configure your Server application*.

ST interprète la nomenclature du Bluetooth SIG de manière conviviale et épargne à l'utilisateur des puces les désignations particulières, *Center* et *Peripheral*.

L'étape suivante consiste à activer l'onglet *Configuration*, dans lequel on doit spécifier les paramètres *High Level*, y compris ceux du *GAP*. Comme nous supposons dans ce qui suit qu'il n'y a pas de renifleur de paquets Bluetooth LE dédié dans votre labo, nous recommandons une approche pas à pas pour configurer la pile Bluetooth LE. À noter cependant que ST propose aussi un exemple d'implémentation de renifleur Bluetooth LE basé sur le STM32WB. [5]

La première étape consiste à activer *l'Advertising* et à vérifier la réactivité à l'aide d'un appareil Android ou IOS doté d'une application de scanner Bluetooth LE ou, mieux encore, de l'une des applications mobiles de ST telles que ST BLE Toolbox.

Pour activer la fonction *Advertising*, nous passons à la section *Application parameters* et saisissons le nom d'utilisateur souhaité dans le champ *CFG\_GAP\_DEVICE\_NAME* – nous utilisons la chaîne *TAMSMM* dans les étapes suivantes. Le logiciel met automatiquement à jour le champ *length*. Sachez que la norme Bluetooth LE impose des restrictions (assez strictes) sur la longueur maximale autorisée des paquets *advertising* et donc sur la longueur du nom.

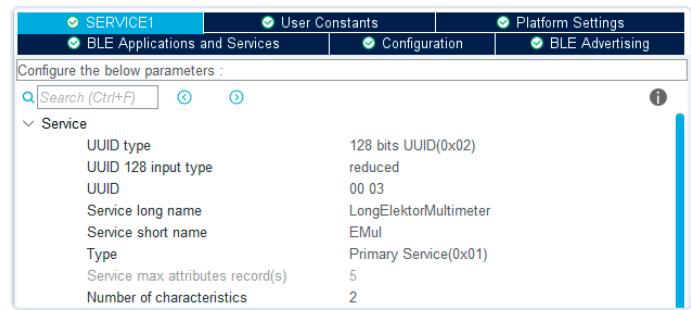


Figure 6. La configuration de l'UUID se fait ici.

Dans la section *Advertising Elements*, le contenu à inclure dans les paquets *advertising* proprement dits peut alors être ajusté – nous recommandons d'activer l'option *Include AD\_TYPE\_COMPLETE\_LOCAL\_NAME* dans la section *Advertising Elements* en sélectionnant *Yes*.

L'étape suivante consiste à définir les services exposés. Le STM32CubeIDE expose un assistant de configuration graphique convivial pour faciliter la vie des développeurs.

Pour cela, nous passons d'abord à l'onglet *BLE Applications and Services*, où nous spécifions le nombre de services BLE à créer dans la section *Server Mode Number of Services*. Par commodité, nous avons choisi l'option *un*, ce qui entraîne l'apparition d'un nouvel onglet portant le nom *SERVICE1*. L'ajout d'autres services entraînera l'apparition des onglets *SERVICE2*, *SERVICE3*, etc.

L'étape suivante consiste à ouvrir l'onglet *SERVICE1*, qui permet de configurer le service BLE nouvellement créé. Le champ *Number of Characteristics* est particulièrement important, car il détermine le nombre de caractéristiques du service concerné qui sont effectivement responsables de la fourniture des données.

Il est également nécessaire de spécifier l'*UUID*, ce qui est fait dans la section de dialogue illustrée à la **figure 6**.

Si vous sélectionnez la valeur *reduced* dans le champ *UUID 128 input type*, il suffit de saisir quatre nombres hexadécimaux dans le champ *UUID* – Cube compilera le reste à partir d'autres informations.

Nous avons décidé de créer deux caractéristiques dans les étapes suivantes, ce qui entraîne l'apparition des catégories *Characteristic 1* et *Characteristic 2*.

Outre la réattribution des UUID, il est important de remplir correctement les attributs *char\_prop\_write* et *char\_prop\_read*. Ils déterminent les droits accordés à un client établissant une connexion.

Dans la zone *Longueur de la valeur*, l'auteur a saisi *4* comme valeur pour la première caractéristique, tandis que nous avons donné la valeur *1* à la deuxième. Ces deux paramètres déterminent la quantité d'informations stockées dans la zone concernée.

Bien que vous puissiez définir des paramètres avancés de la pile Bluetooth LE dans la section *Platform Settings*, vous pouvez en général utiliser les valeurs par défaut ; ST propose une discussion détaillée des différentes options disponibles à l'URL [2] mentionnée ci-dessus. La fonction permettant à la pile Bluetooth LE d'envoyer des informations d'état à l'UART est particulièrement intéressante – une fonction dont nous ne discuterons pas davantage à ce stade, mais qui est vraiment très utile pour tout développeur pendant la phase de débogage.

## Générer le code et effectuer un test de fumée

Les conditions logiques de mise en service de la pile Bluetooth LE sont à présent remplies. Passons au *Project Manager Code Generator* pour ajuster les options de conversion du fichier *.ioc* en fichiers compilables. Dans la section *STM32Cube MCU Packages and Embedded Software Packs*, nous cochons *Add necessary library files as reference in the toolchain project configuration file* pour que le squelette de projet inclue les pilotes matériels requis et autres éléments.

L'étape suivante consiste à passer à la section *Advanced Settings*, où vous devriez – idéalement – adopter les paramètres fournis par ST

(voir **figure 7**). Cependant, « déplacer » la priorité n'a pas fonctionné sur notre poste de travail, nous avons donc « seulement » ajusté les options *Do not generate function* et *Visibility*.

Il faut ensuite enregistrer le fichier *.ioc*. STM32CubeIDE vous invite alors à régénérer le squelette du projet comme d'habitude, une requête que vous pouvez et devez accepter.

## Attention : Les dossiers peuvent contenir des fichiers d'utilisateur

Remarque importante : les dossiers à supprimer pour provoquer la recompilation sont également utilisés pour stocker le code utilisateur lors de la configuration de l'application Bluetooth LE. La solution consiste à ajouter un système de contrôle de version – toute ressemblance avec les batailles d'éditeurs dans la programmation Symbian est purement fortuite.

## Préparation de l'Advertiser

Si votre projet est « compilable » à ce stade, vous pouvez le rendre visible pour le scanner Bluetooth LE mentionné ci-dessus. Dans un premier temps, nous vous recommandons de supprimer le champ *TX\_POWER\_LEVEL* dans le paquet et d'insérer le champ *AD\_TYPE\_APPEARANCE REIN* : Cela permet de s'assurer que le scanner affichera un symbole visible et facilement reconnaissable.

Il convient également de fixer à *20* l'intervalle de publication, défini via les champs *ADV\_INTERVAL\_MIN* et *ADV\_INTERVAL\_MAX* et de sélectionner *Yes* dans le champ *AD\_TYPE\_MANUFACTURING* pour le rendre visible depuis l'application ST Toolbox. Bien que le module radio consomme plus d'énergie dans cet état spécial, il transmet ses messages à une fréquence plus élevée et est donc beaucoup plus facile à reconnaître pour l'application scanner.

À ce stade, vous devez également passer à la section *Configuration RT GPIO Debug RT\_DEBUG\_GPIO\_MODULE* et vous assurer que *NO* est sélectionné dans le champ *RT\_DEBUG\_GPIO\_MODULE* – sans cela, la pile Bluetooth plantera avec une erreur grave pendant le démarrage de l'émetteur, à cause d'une liste de broches GPIO « vide ». Pour terminer, vous devez ensuite ouvrir le fichier *app\_ble.c*, où vous adaptez la section *USER\_CODE\_BEGIN APP\_BLE\_Init\_3* de la fonction *APP\_BLE\_Init()* selon le schéma suivant. Veuillez tenir compte du caractère caché lorsque vous copiez et collez ce code :

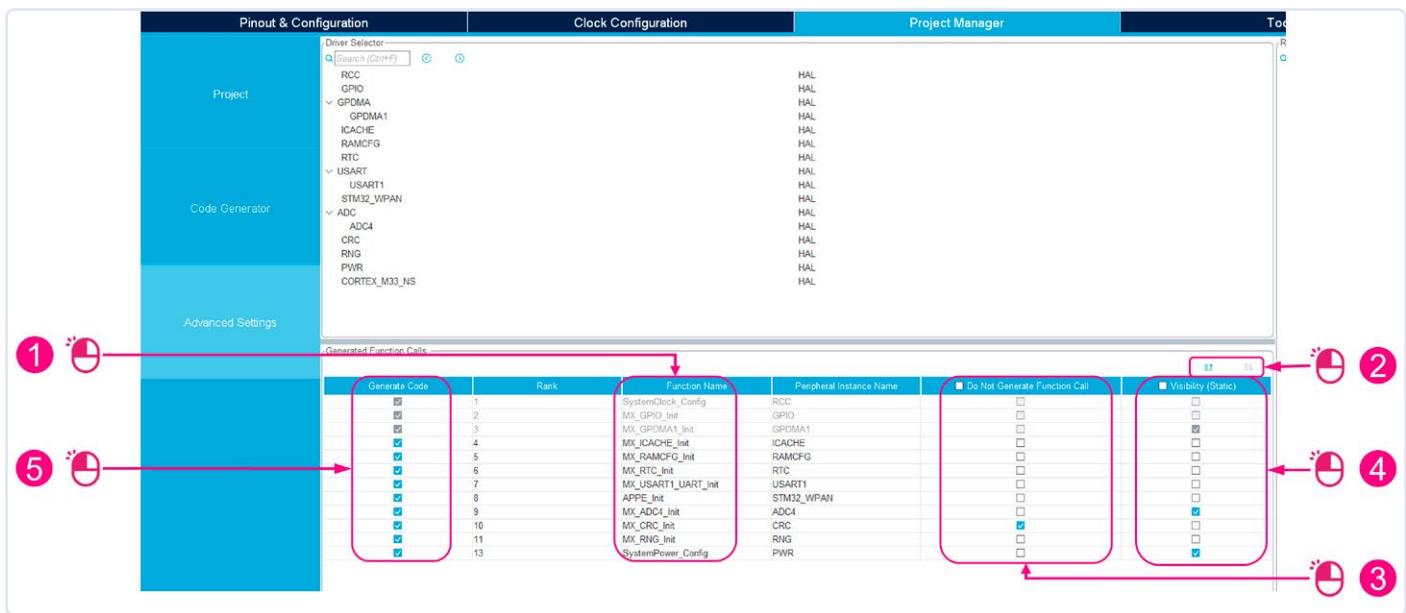


Figure 7. Ces réglages permettent d'atteindre l'objectif. (Source : STMicroelectronics [4])

```
/* USER CODE BEGIN APP_BLE_Init_3 */
tBleStatus ret =
  aci_hal_set_radio_activity_mask(0x0006);
if (ret != BLE_STATUS_SUCCESS)
{
  APP_DBG_MSG(« Fail : aci_hal_set_radio_activity_mask command, result: 0x%2X\n», ret);
}
else
{
  APP_DBG_MSG(« Success: aci_hal_set_radio_activity_mask command\n\r»);
}

/* Start to Advertise to accept a connection */
APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral
  (PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST);

/* USER CODE END APP_BLE_Init_3 */
```

Pour éviter que l'*Advertising* ne se désactive lors d'une déconnexion, vous devez ajouter le code suivant dans le fichier *app\_ble.c* :

```
SVCCTL_App_Notification - HCI_DISCONNECT_COMPLETE_
EVT_CODE
/* USER CODE BEGIN EVT_DISCONNECT_COMPLETE */

APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral(PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST);

/* USER CODE END EVT_DISCONNECT_COMPLETE */
```

Le plus important ici est d'appeler *APP\_BLE\_Procedure\_Gap\_Peripheral*(*PROC\_GAP\_PERIPH\_ADVERTISE\_START\_FAST*), qui demande à la pile Bluetooth d'activer la logique *Advertising*. Veuillez noter que ce

code n'est pas généré automatiquement par le configurateur STM32CubeIDE car il est considéré de la responsabilité du développeur. Le type de données *tBleStatus* est également intéressant : il s'agit d'un *typedef* destiné à renvoyer des informations sur l'état de Bluetooth LE. Notre application est à présent prête à flashée sur la carte. Nos efforts sont récompensés par l'apparition des fenêtres illustrées dans les figures 8 et 9ation.

## Analyse de la structure de l'application

Plus haut, dans la section *SERVICE1*, nous avons attribué la valeur *EMUL* comme *Service Short Name*. Cela conduit maintenant à l'apparition d'un groupe de fichiers supplémentaires dans le sous-dossier *app*, comme le montre la figure 10.

Le fichier *emul.c* est le pivot du « stockage » des valeurs ; la fonction *EMUL\_UpdateValue()* est particulièrement importante. Les premières lignes sont les suivantes :

```
tBleStatus EMUL_UpdateValue
  (EMUL_CharOpcode_t CharOpcode,
  EMUL_Data_t *pData)
{
  tBleStatus ret = BLE_STATUS_INVALID_PARAMS;

  /* USER CODE BEGIN Service1_App_Update_Char_1 */

  /* USER CODE END Service1_App_Update_Char_1 */

  switch(CharOpcode)
  {
    case EMUL_SONA1:
      ret = aci_gatt_update_char_value
        (EMUL_Context.EmulSvchdle,
        EMUL_Context.Sona1CharHdle,
        0, /* charValOffset */
        pData->Length, /* charValueLen */
        (uint8_t *)pData->p_Payload);
  }
```

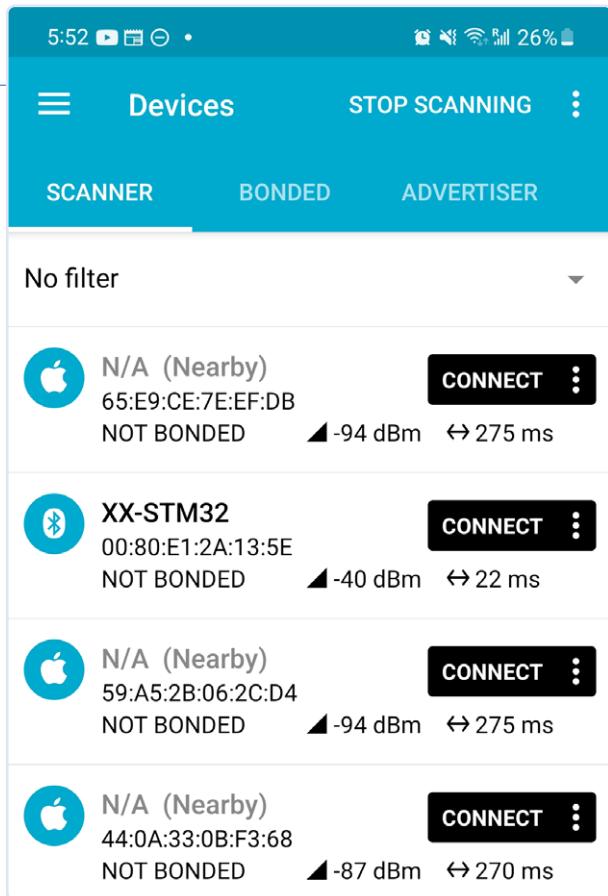


Figure 8. L'appareil est visible par le téléphone Samsung...

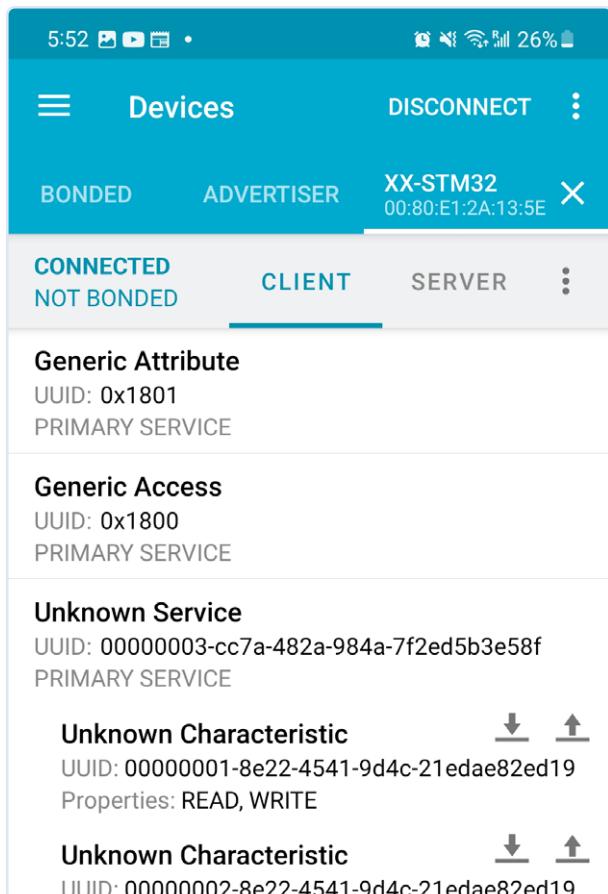


Figure 9. ...et expose les deux caractéristiques dans le service !

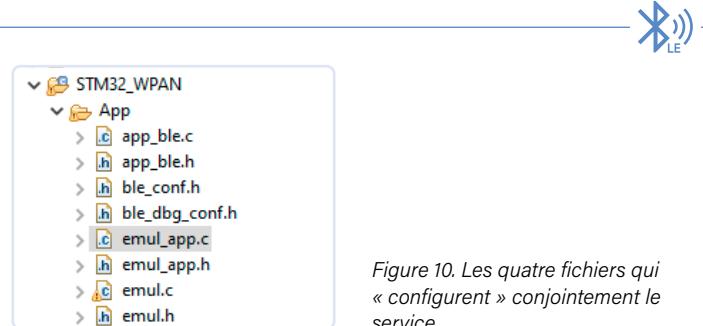


Figure 10. Les quatre fichiers qui « configurent » conjointement le service.

La fonction `aci_gatt_update_char_value()` est fournie par la pile Bluetooth qui écrit les informations fournies dans le cache. La pile prend le relais lorsque des demandes de lecture sont reçues d'appareils connectés à la puce.

Le traçage de la structure `EMUL_CharOpcode_t` conduit alors à la structure suivante – les entrées individuelles correspondent aux caractéristiques créées dans Cube ci-dessus ( SONA1 et SONA2 sont les noms des caractéristiques) :

```
typedef enum
{
    EMUL SONA1,
    EMUL SONA2,
    /* USER CODE BEGIN Service1_CharOpcode_t */

    /* USER CODE END Service1_CharOpcode_t */
    EMUL_CHAROPCODE_LAST
} EMUL_CharOpcode_t;
```

La structure `EMUL_Data_t` sert à l'écriture ou à la transmission des valeurs et se présente ainsi :

```
typedef struct
{
    uint8_t *p_Payload;
    uint8_t Length;

    /* USER CODE BEGIN Service1_Data_t */

    /* USER CODE END Service1_Data_t */
} EMUL_Data_t;
```

Si vous approfondissez la fonction, vous trouverez également des codes structurés selon le schéma suivant. Il est chargé de recevoir les informations destinées à la deuxième caractéristique.

```
case EMUL SONA2:
    ret = aci_gatt_update_char_value
    (EMUL_Context.EmulSvchdle,
    EMUL_Context.Sona2CharHdle,
    0, /* charValOffset */
    pData->Length, /* charValueLen */
    (uint8_t *)pData->p_Payload);
```

Forts de ces connaissances, nous pouvons revenir au fichier `main.c`, dans les inclusions duquel nous autorisons l'accès aux fichiers app de la première étape :

```

/* USER CODE BEGIN Includes */

#include <../../STM32_WPAN/App/emul.h>

/* USER CODE END Includes */

```

L'inclusion du fichier *common\_blesvc.h* est également nécessaire car c'est lui qui permet d'accéder aux différentes primitives de la pile Bluetooth utilisées dans le fichier *Emul.h*.

```

/* USER CODE BEGIN Includes */
#include <common_blesvc.h>
#include <../../STM32_WPAN/App/emul.h>

/* USER CODE END Includes */

```

Dans l'étape suivante, nous allons exploiter une partie de la puissance de calcul de la boucle principale pour incrémenter un compteur et écrire régulièrement les mises à jour à la pile Bluetooth. C'est le moyen le plus simple, même s'il faut noter qu'un résultat plus élégant pourrait être obtenu en utilisant l'utilitaire Timer Server. Note : si le code ne se trouve pas dans la section *USER CODE*, il sera supprimé lors de la régénération :

```

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
int aCounter = 0;
int32_t aValue = 0;
while (1)
{
    /* USER CODE END WHILE */
    MX_APPE_Process();

    /* USER CODE BEGIN 3 */
    aCounter++;
    if(aCounter>10000)
    {
        aCounter=0;
        aValue++;
        EMUL_Data_t pData;
        pData.Length=4;
        pData.p_Payload = malloc(4);
        memcpy(pData.p_Payload, &aValue, 4);
        EMUL_UpdateValue(EMUL SONA1, &pData);
        free(pData.p_Payload);
    }
    /* USER CODE END 3 */
}

```

Une remarque à propos de `malloc()` : Dans un système embarqué réel, il serait plus logique d'utiliser un tampon créé dans la pile, mais pour nos besoins de démonstration, cette procédure devrait être autorisée. Notez également que les appels à `EMUL_UpdateValue()` peuvent être très gourmands en énergie, en fonction de la configuration de la pile Bluetooth. En effet, selon la norme Bluetooth LE, les caractéristiques sont également capables d'envoyer des notifications. Dans ce cas,

tous les clients enregistrés reçoivent un message, ce qui entraîne une consommation d'énergie considérable.

À ce niveau, un test plus approfondi du programme serait pertinent – cependant, les tentatives de lecture dans le scanner échoueraient avec un dépassement de délai. La raison de ce comportement, qui semble indésirable à première vue, est que les commandes individuelles de lecture et/ou d'écriture sont activées dans la pile ST Bluetooth – si nous avions été plus attentifs lors de la compilation, des avertissements du type `#warning user shall call aci_gatt_allow_read() function if allowed` nous auraient alertés de ce problème.

Pour le résoudre, activez comme suit la commande de lecture, dans le fichier *emul.c* dans l'`EMUL_EventHandler` :

```

if (p_read_req->Attribute_Handle ==
    (EMUL_Context.Sona1CharHdle +
     CHARACTERISTIC_VALUE_ATTRIBUTE_OFFSET))
{
    return_value = SVCCTL_EvtAckFlowEnable;
    /*USER CODE BEGIN Service1_Char_1_ACI_
     GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_1 */
    /*USER CODE END Service1_Char_1_ACI_
     GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_1*/
    /*USER CODE BEGIN Service1_Char_1_ACI_
     GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_2 */

#warning user shall call aci_gatt_allow_read()
function if allowed
aci_gatt_allow_read
(p_read_req->Connection_Handle);
/*USER CODE END Service1_Char_1_ACI_
 GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_2*/
}
/* if(p_read_req->Attribute_Handle ==
(EMUL_Context.Sona1CharHdle +
 CHARACTERISTIC_VALUE_ATTRIBUTE_OFFSET)) */

```

Le paramètre à passer à la fonction `aci_gatt_allow_read()` est important – il s'agit du *Connection Handle*, et il peut être obtenu via `p_read_req->Connection_Handle`.

Cette version du programme est enfin prête à être exécutée. Les **figures 11 et 12** montrent que la valeur mesurée enregistrée dans la caractéristique augmente avec le temps.

### On suppose une connaissance préalable du BLE

Dans les étapes suivantes, l'auteur suppose que le lecteur a une connaissance préalable de l'utilisation de Bluetooth LE. Une brève introduction est disponible à l'adresse [3].

### Conclusion et perspectives

Les premiers pas avec la pile Bluetooth sont quelque peu laborieux, mais l'EDI STM32Cube contribue grandement à accélérer le processus de développement. En plus d'une consommation d'énergie extrêmement faible, la pile vous permet de contrôler finement ce qui se passe dans l'interface sans fil et dans le microcontrôleur.

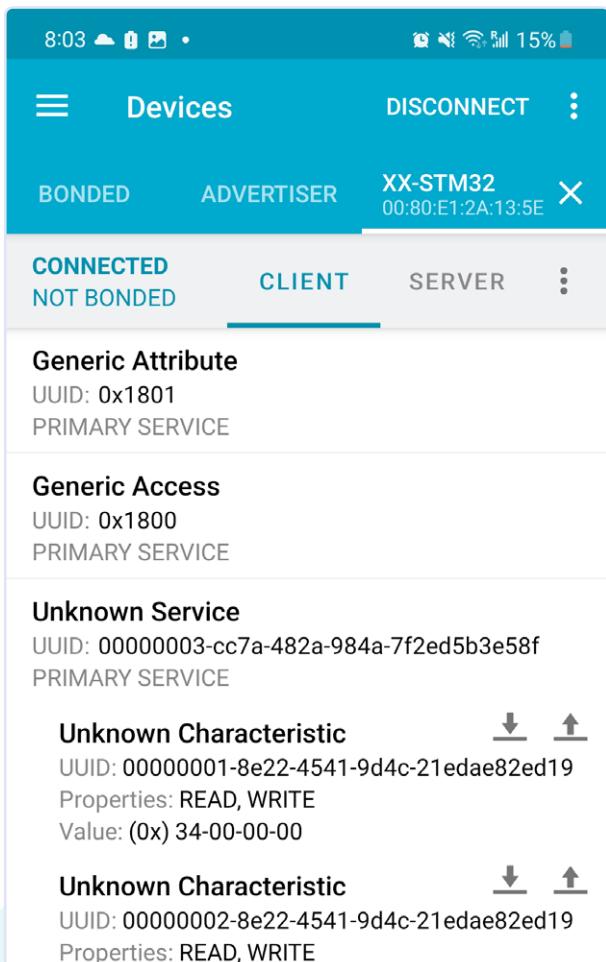


Figure 11. Comme du sable dans un sablier...

Bien entendu, la réalisation d'un véritable appareil de mesure qui envoie ses valeurs mesurées à un smartphone via BLE nécessiterait encore plus de travail : en plus d'un frontal analogique, il faudrait dans l'absolu une application d'accompagnement sur le téléphone, qui serait (idéalement) créée à l'aide de MAUI ou d'un cadre d'applications similaire indépendant de la plate-forme. Plus d'informations à ce sujet dans l'un des prochains numéros.

Nous espérons que ces premières étapes constitueront un bon guide pour travailler avec un système de développement Bluetooth fascinant ! 

VF : Denis Lafourcade – 230698-04

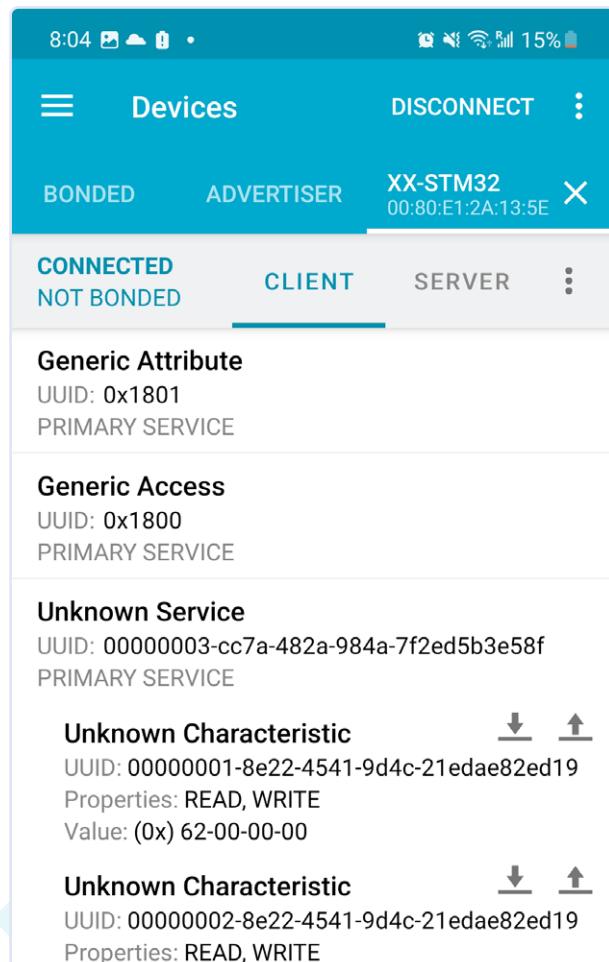


Figure 12. ...la valeur transmise est incrémentée.

### Questions ou commentaires ?

Vous avez des questions ou des commentaires sur cet article ? Envoyez un courriel à l'auteur à l'adresse tamhan@tamoggemon.com, ou contactez Elektor à l'adresse editor@elektor.com.

### À propos de l'auteur

En tant qu'ingénieur, Tam Hanna travaille avec l'électronique, les ordinateurs et les logiciels depuis plus de 20 ans. Il est concepteur indépendant, auteur de livres et journaliste (@tam.hanna sur Instagram). Pendant son temps libre, Tam conçoit et produit des solutions imprimées en 3D et, entre autres, se passionne pour le commerce et la dégustation de cigares haut de gamme.

### LIENS

- [1] STM32 Cube IDE : <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>
- [2] BLE sur le STM32WBA, premiers pas : [https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Connectivity:STM32WBA\\_BLE\\_STM32CubeMX](https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Connectivity:STM32WBA_BLE_STM32CubeMX)
- [3] Brève introduction à Bluetooth Low Energy (BLE) : <https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/ble/ble-overview>
- [4] Les paramètres dans STM32CubeIDE [capture d'écran] : <https://tinyurl.com/stm32cubeidesettingsjpg>
- [5] Renifleur Bluetooth® Low Energy basé sur le STM32 : [https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Connectivity:STM32\\_Sniffer\\_for\\_BLE](https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Connectivity:STM32_Sniffer_for_BLE)



# boîte de conservation intelligente centrée sur l'être humain

Maheshwaran Sadasivam et Vairamani Kanagavel (Inde)

Dites adieu aux difficultés liées aux courses grâce à ce système d'inventaire pour la cuisine. Gardez une trace de vos courses sans effort, avec des mises à jour en temps réel des niveaux de stock. Ce système utilise des éléments peu coûteux, comme un ESP32 d'Espressif, un capteur de pesée et un amplificateur HX711 de SparkFun. Grâce au fonctionnement sur batterie et au chargement par USB, vous gardez toujours le contrôle. Éliminez les approximations, évitez les erreurs humaines et prenez des décisions d'achat précises !

L'objectif premier de toute innovation ou de tout développement est d'améliorer la qualité de la vie humaine, grâce à ce que nous appelons des systèmes centrés sur l'homme. La forte croissance des technologies domestiques intelligentes ces dernières années, est largement attribuée à l'application de l'internet des objets (IdO) dans la domotique. Notre projet sert de système de gestion des stocks de produits d'épicerie dans la cuisine pour l'utilisateur.

Notre système offre des données d'inventaire en temps réel sur les produits alimentaires dans la cuisine par le biais d'un navigateur web. Nous utilisons un contenant équipé de capteurs pour collecter des données sur les niveaux des produits. Ces données sont ensuite transférées et stockées sur une plateforme en cloud via Wifi. Les utilisateurs peuvent accéder à ces informations pour prendre des décisions avisées sur les quantités qu'ils doivent acheter ou réapprovisionner. Le système est alimenté par une batterie et est doté d'une capacité de chargement USB de type B.

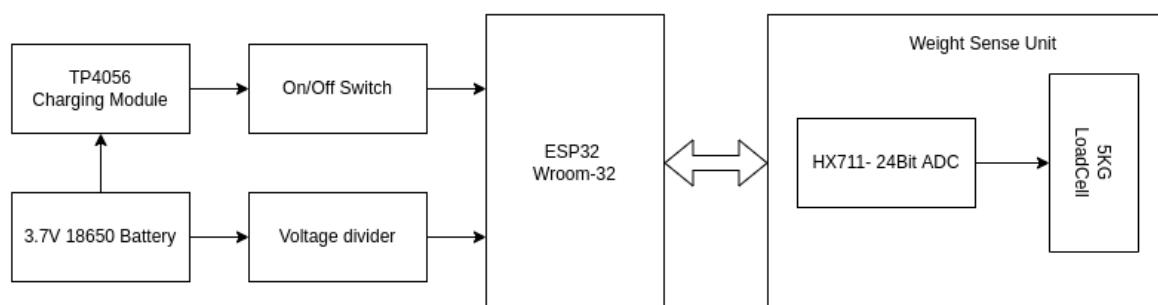


Figure 1. Schéma fonctionnel de la boîte à provisions centrée sur l'humain.

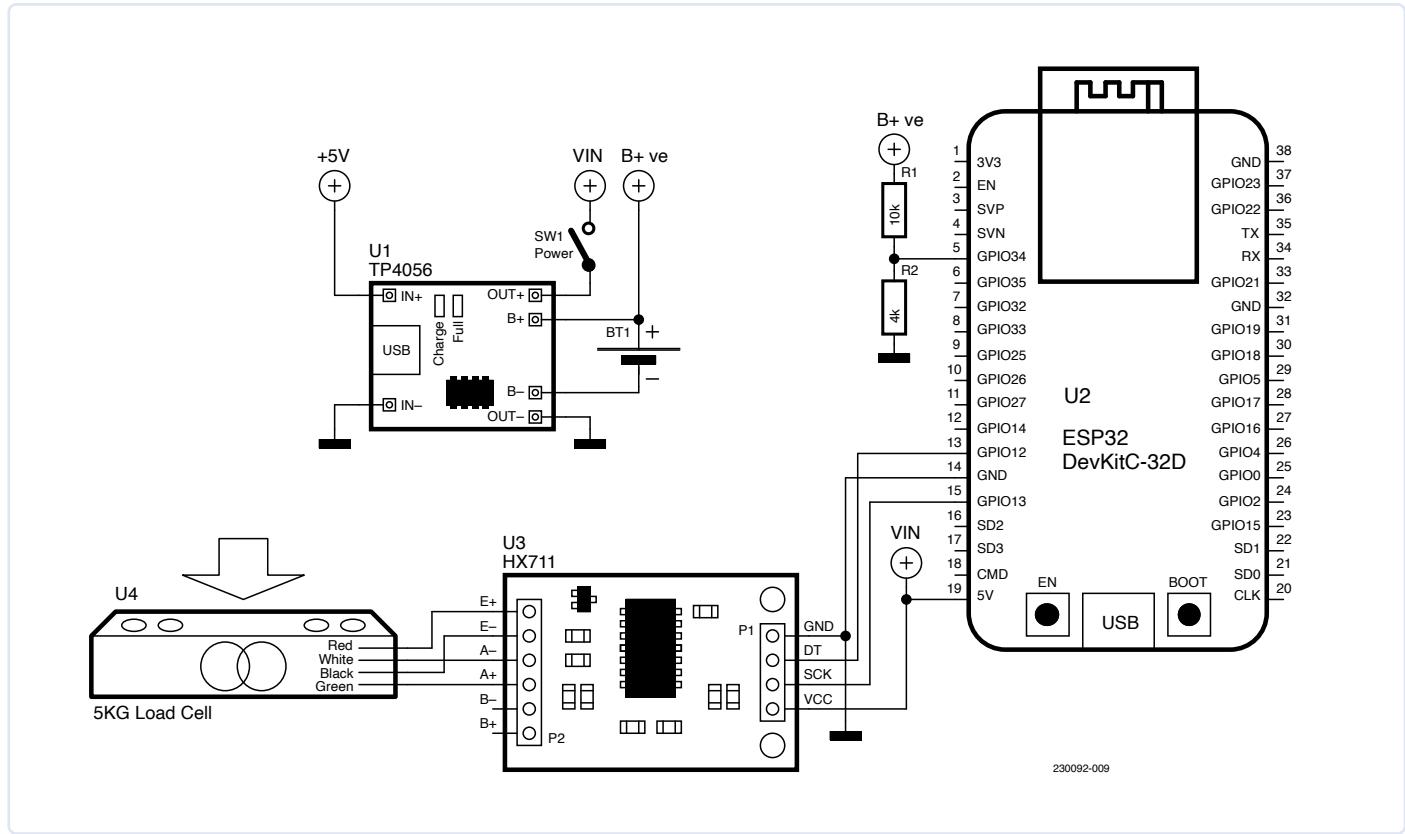


Figure 2. Schéma de principe du système.

## Description du matériel

La **figure 1** présente le schéma fonctionnel de notre système. Nous utilisons un capteur de pesage [1] comme capteur pour mesurer le poids des provisions, supportant des poids allant jusqu'à 5 kg. La sortie du capteur est une tension différentielle qui varie en fonction du poids appliqué. Ce signal analogique est converti en signal numérique via un module amplificateur SparkFun HX711 [2], équipé d'un CAN 24 bits. Un microcontrôleur Espressif ESP32 [3] traite les données du CAN et les télécharge vers la plateforme cloud Adafruit IO par Wifi, en utilisant le protocole MQTT. Les utilisateurs peuvent accéder à leurs informations d'inventaire via le tableau de bord Adafruit IO. Le système est alimenté par une batterie rechargeable lithium-ion de 3,7 V, qui peut être rechargée par un chargeur USB de 5 V grâce à un module de charge TP4056 [4].

La **figure 2** montre le circuit complet du système. Le capteur de pesage est équipé de quatre fils colorés : rouge, noir, blanc et vert. Ces fils sont connectés aux broches correspondantes du module amplificateur HX711 : Le rouge et le noir vont aux broches E+ et E- du HX711, tandis que le blanc et le vert vont respectivement aux broches A- et A+. Le GND et le VCC du HX711 sont connectés au 5 V et au GND du module ESP32, tandis que les broches DT et SCK vont respectivement aux GPIO 12 et GPIO 13. Les résistances R1 et R2 fonctionnent comme un diviseur de tension pour mesurer la tension de la batterie, qui est connectée à GPIO 34, le convertisseur analogique-numérique (CAN) de l'ESP32. Le module de charge TP4056 est utilisé pour la charge USB de type B. Voir l'encadré Liste des composants pour plus d'informations.

Le système a été testé avec différents produits d'épicerie, dont quelques-uns sont présentés dans le tableau ci-dessous à la **figure 3**.



Figure 3. Produits alimentaires testés (maïs, lentilles et riz).



Figure 4. Circuit à l'intérieur du conteneur (à gauche) et installation de chargement avec le récipient (à droite).

## Structure mécanique

La **figure 4a** montre les circuits à l'intérieur du prototype, tandis que la **figure 4b** montre la connexion du chargeur au prototype.

Le montage mécanique nécessaire pour fixer le capteur de pesage au récipient est le suivant :

1. Le capteur de pesage en aluminium doit comporter 4 trous taraudés et un marquage indiquant la direction de la force. Montez le côté sans le marquage sur la surface fixe et le côté avec le marquage sur la surface mobile. La flèche sur le côté marqué doit pointer vers le bas dans la direction dans laquelle la plate-forme se déplacera lorsqu'une charge est appliquée.
2. La plaque de montage et la plaque mobile doivent être aussi rigides que possible.
3. Veillez à placer des entretoises rigides entre les plaques de montage et le capteur de pesage, comme des entretoises ou des rondelles, qui conviennent parfaitement.

Nous avons utilisé un tube en PVC pour le cadre et une feuille de PVC de forme arrondie comme base pour placer des éléments dessus, en utilisant les écrous, boulons et rondelles nécessaires, car la cellule de charge se plie légèrement lorsqu'un poids est placé dessus. Le modèle CAO de l'installation mécanique et le dessin technique du prototype sont présentés à la **figure 5**.

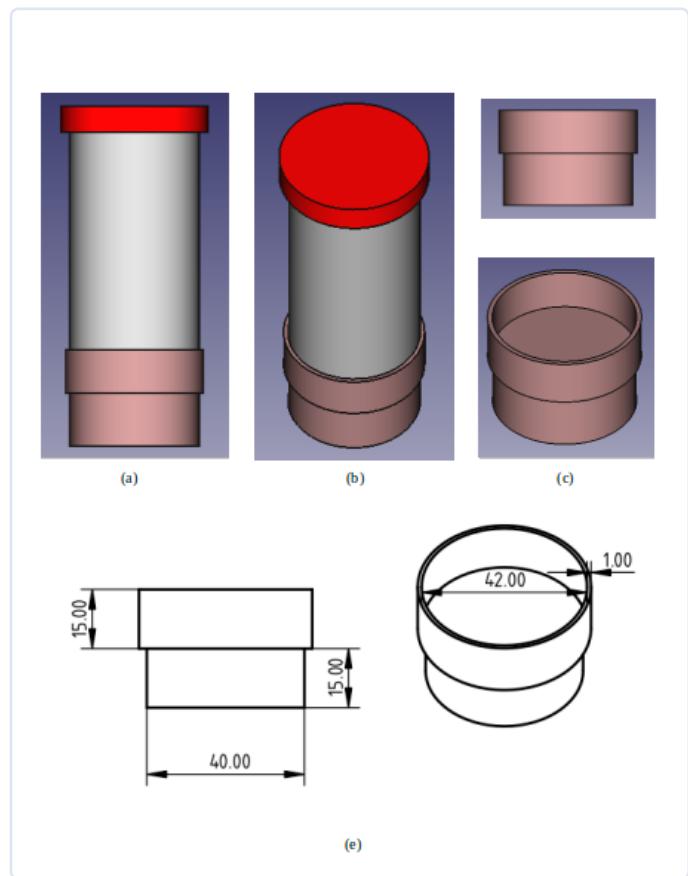


Figure 5. Modèle CAO du système et dessin technique.

## Description du micrologiciel

Le micrologiciel de ce système a été développé dans l'EDI Arduino en C embarqué. Les fichiers des bibliothèques *HX711*, *Adafruit IO*, et *Adafruit sensor* sont ajoutés dans l'EDI Arduino. Une fois le fichier de bibliothèque installé, connectez la carte de développement ESP32 à l'ordinateur avec un câble USB et téléchargez le code de ce système [5]. Remarque : remplacez votre SSID et votre mot de passe dans le code, puis compilez et téléverser le code sur l'ESP32.

Le flux global du micrologiciel est illustré à la **figure 6**. Le micrologiciel lance le Wifi pour obtenir une connexion Internet en fonction des informations d'identification. Ensuite, le CAN du module amplificateur HX711 est accessible via une interface à deux fils (horloge et données) pour mesurer le poids sur le capteur de pesage. La broche GPIO 34 du CAN de l'ESP32 est initialisée pour mesurer la tension de la batterie. Une fois l'initialisation terminée, l'ESP32 lit les données du capteur de pesage et la tension de la batterie. Les données de mesure sont transférées au tableau de bord Adafruit IO en utilisant le protocole MQTT à des intervalles définis, comme le montre la **figure 7**. Une fois le conteneur placé sur la cellule de charge, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton « tare » sur le tableau de bord, ce qui réinitialisera la valeur de mesure à un point de référence 0. Le code exécute alors la fonction de tarage.

Des conseils sur la création d'un tableau de bord Adafruit IO peuvent être trouvés à l'adresse suivante [6].

## Conclusion

Le système mis au point ici sera une aubaine pour les gens qui pourront obtenir des informations de n'importe où et à n'importe quel moment sur les niveaux de stock. Il élimine l'erreur humaine et enregistre automatiquement les détails de l'inventaire. L'utilisateur peut planifier le réapprovisionnement et l'achat des produits d'épicerie, sur la base des détails de l'inventaire, à partir de n'importe quel navigateur. Ce système permet d'accéder aux données d'inventaire et d'en rendre compte en temps réel. À l'avenir, ce système pourrait être connecté à un magasin d'alimentation, obtenir les détails des commandes et permettre la livraison de produits alimentaires à la demande. L'utilisation du même système dans l'industrie élimine l'intervention humaine dans la gestion des stocks et fournit un support de surveillance 24h/24 et 7 j/7.

VF : Laurent Raubet — 230092-01



## Liste des composants

### Résistances (résistance traversante 1/4 Watt)

R1 = 10 kΩ

R2 = 4 kΩ

### Divers

SW1 = SW\_SPST (interrupteur pour l'alimentation)

BT1 = Élément de batterie (batterie rechargeable 18650 3.7 V lithium-ion)

U1 = TP4056 sur un circuit imprimé

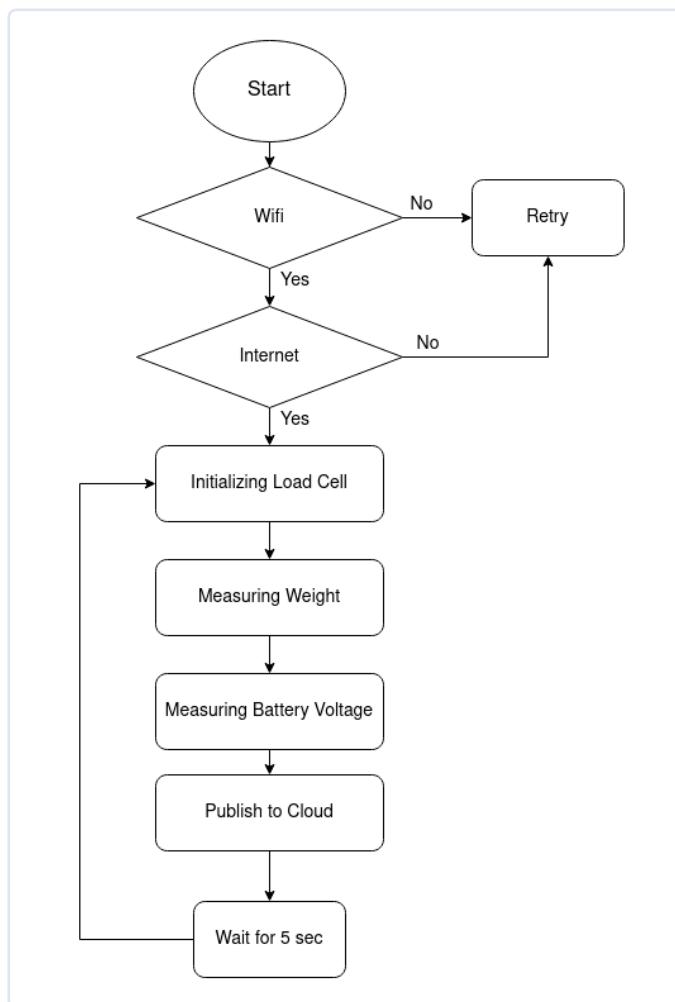
U2 = ESP32 DEVKITC-3D (carte de développement ESP32)

U3 = carte d'interface HX711

U4 = capteur de pesage (5 kg)



Figure 7. Mise à jour des valeurs de mesure dans le tableau de bord Adafruit IO.



### Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor e(redaction@elektor.fr).



### À propos des auteurs

Maheshwaran Sadasivam est un chercheur en électronique ayant obtenu une maîtrise en électronique au collège Saint Joseph, à Tiruchirappalli, dans l'État du Tamil Nadu, en Inde. Il s'intéresse aux systèmes d'automatisation centrés sur l'homme, aux systèmes embarqués et à la robotique.



Vairamani Kanagavel est un chercheur en électronique ayant une maîtrise en électronique du collège Saint Joseph, à Tiruchirappalli, dans l'État du Tamil Nadu, en Inde, et titulaire d'un doctorat en instrumentation de l'université Madurai Kamaraj, à Madurai, Tamil Nadu, Inde. Ses domaines d'intérêt sont les réseaux de capteurs sans fil et les systèmes d'automatisation centrés sur l'homme.



### Produit

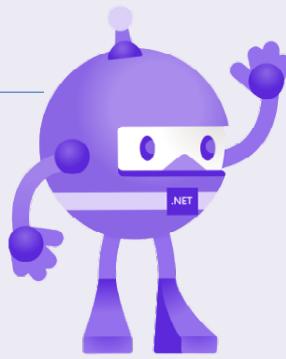
➤ **ESP32-DevKitC-32D**  
[www.elektor.fr/18701](http://www.elektor.fr/18701)



Figure 6. Organigramme du système.

### LIENS

- [1] Premiers pas avec les capteurs de pesage : <https://tinyurl.com/loadcellstart>
- [2] Fiche technique du HX711 par SparkFun Electronics : <https://tinyurl.com/sf hx711>
- [3] Fiche technique de la série ESP32 : <https://tinyurl.com/esp32datasheet>
- [4] Chargeur linéaire de batterie TP4056 : <https://tinyurl.com/tp4056liion>
- [5] Téléchargement du logiciel : <https://elektormagazine.fr/230092-04>
- [6] Commencer avec Adafruit IO : <https://learn.adafruit.com/adafruit-io/getting-started>



# MAUI

## programmation pour PC, tablettes et smartphones

le nouveau framework en théorie et en pratique

**Dr. Veikko Krypczyk (Allemagne)**

En développant une application PC, par exemple pour la simulation ou la capture de données, il est de plus en plus indispensable que l'application soit également disponible pour les appareils mobiles. Désormais, avec

.NET MAUI, nous disposons d'un outil de développement intéressant qui permet aux développeurs de combler les écarts entre les plates-formes de manière transparente.

Les électroniciens ont souvent besoin de programmer non seulement des microcontrôleurs, mais aussi des applications compagnons pour les PC ou les appareils mobiles. Un exemple courant est le développement d'une application mobile qui vous permet de contrôler du matériel à distance grâce à des données cellulaires ou à une connexion Bluetooth Low Energy (BLE). Par exemple, vous pouvez contrôler les lumières extérieures de votre propriété, qui sont équipées d'une interface basée sur un microcontrôleur. La communication entre l'interface et un smartphone peut se faire via BLE. Il vous suffit de développer une application programmée sur mesure pour l'exécuter sur votre smartphone. C'est précisément l'objet de cet article. Nous allons explorer un nouveau cadre avancé appelé .NET MAUI [1] pour créer des applications pour différents appareils et systèmes d'exploitation.

### Aperçu de .NET MAUI

Comme son nom l'indique, le cadre .NET MAUI repose sur le cadre .NET multiplateforme à partir de la version 6.0. Il permet de programmer sous Windows ou macOS en utilisant l'environnement de développement intégré Visual Studio. L'édition gratuite *Community Edition* répondra à nos besoins. Pour le développement sous Windows, vous viserez les systèmes Windows et Android. Pour

créer des applications pour iOS et macOS, l'accès à un PC Mac sera nécessaire pour générer les paquets d'applications finaux. Cette contrainte n'est pas spécifique à .NET MAUI, mais s'applique en général au développement d'applications pour l'environnement iOS et macOS. En revanche, si vous développez sous macOS (Visual Studio for Mac), vous pouvez créer directement des applications pour tous les systèmes, à l'exception de Windows. Nous expliquerons la configuration de l'environnement de développement, puis nous passerons en revue les étapes de la création d'un exemple d'application. Les applications pour tous les systèmes cibles sont générées à partir d'une base de code partagée, en C# pour la logique du programme et XAML pour l'interface utilisateur. Le cadre garantit que l'application fonctionne sur l'appareil correspondant et qu'elle soit adaptée, le cas échéant, à l'environnement du système (**figure 1**).

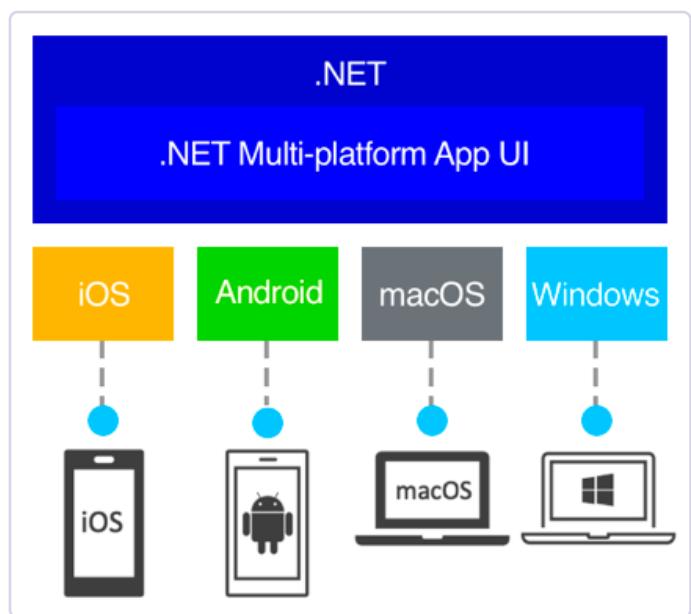


Figure 1. .NET MAUI génère une interface utilisateur multiplateforme (Source : Microsoft).

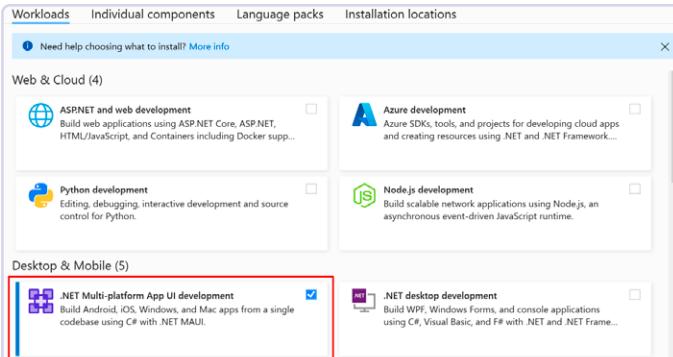


Figure 2. Sélectionnez le Workload .NET MAUI à installer.

Vous n'aurez pas à vous préoccuper (au moins au début) de l'aspect et du fonctionnement des interfaces utilisateur sous Windows, macOS ou Android. Au lieu de cela, vous définissez l'interface utilisateur à un niveau fondamental avec XAML, et MAUI se charge de restituer correctement le bouton, le champ de texte et d'autres éléments sur les systèmes cibles. Cela ne vous empêche pas de procéder à des modifications individuelles pour chaque plateforme cible, comme l'utilisation de couleurs, d'icônes, d'espacements différents, et ainsi de suite, si vous le souhaitez, mais dans l'idéal, ces personnalisations seront minimes, voire inutiles.

Le même principe s'applique à l'utilisation des caractéristiques du matériel et de l'appareil. En particulier sur les appareils mobiles, les données provenant d'un capteur tel qu'un appareil photo, un GPS, etc. peuvent souvent jouer un rôle important. Chaque système d'exploitation utilise ces fonctions système différemment, généralement grâce à des bibliothèques de programmes dédiées (API). .NET MAUI intègre également ces bibliothèques système et fournit une interface de programmation générique destinée à un large éventail de fonctionnalités du système et de l'appareil. Cela signifie que vous n'avez qu'à programmer en fonction de cette interface multiplateforme et que vous n'avez pas à vous préoccuper de la manière d'utiliser les capteurs et d'autres fonctionnalités sur chaque système cible spécifique. Si une telle interface de programmation générique n'existe pas (encore), vous pouvez également accéder aux API spécifiques de chaque système à l'aide d'un code propre à la plateforme. Toutefois, cette méthode devrait être l'exception plutôt que la norme.

Bien que .NET MAUI soit encore relativement nouveau (il est sorti pour la première fois fin 2022), il est le successeur technologique de Xamarin, qui a bénéficié du soutien d'une communauté en ligne importante et active. La communauté propose activement des composants et des bibliothèques pour l'expansion et fournit une assistance étendue sous forme de documentation, d'articles de blog, de forums de discussion, etc.

## Configuration de l'environnement de développement

La procédure est simple. Nous supposons que vous travaillez sous Microsoft Windows. Pour commencer, assurez-vous d'avoir installé les mises à jour les plus récentes de Windows 10 ou 11. Ensuite, installez Visual Studio [2]. Dans l'assistant d'installation, sélectionnez le Workload appelée .NET Multi-platform App UI development (figure 2).

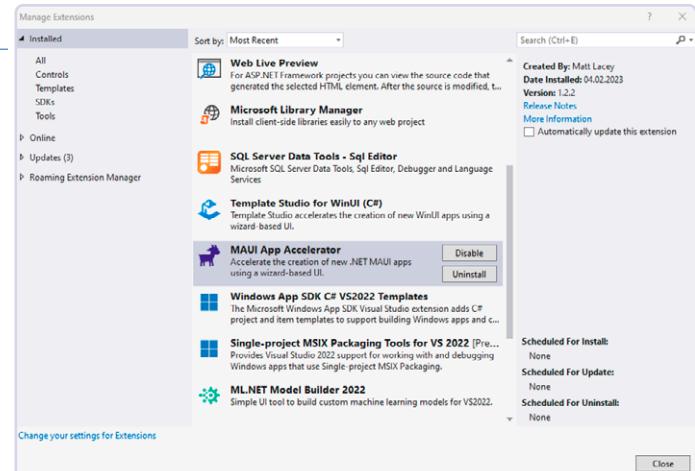


Figure 3. Installation de l'extension MAUI App Accelerator.

Vous pouvez accéder à l'assistant d'installation ultérieurement si vous avez besoin d'installer des composants supplémentaires. Nous disposons déjà d'exemples de projet pour développer une application .NET MAUI. Cependant, la création d'un nouveau projet est simplifiée grâce à une extension supplémentaire. Lancez Visual Studio et cliquez sur *Continuer sans code* en bas à droite de la boîte de dialogue de démarrage. Visual Studio démarre alors sans projet actif. Allez dans le menu *Extensions* et sélectionnez *Manage Extension*. Recherchez l'extension MAUI App Accelerator (figure 3) et installez-la.

Une fois l'installation terminée, Visual Studio doit être redémarré. Nous disposons à présent d'un assistant qui nous permet de créer la structure de base d'une application .NET MAUI en suivant un dialogue guidé. Nous pouvons le démontrer à l'aide d'un exemple spécifique.

## Téléchargement

Le code source complet et d'autres informations (captures d'écran, schémas de câblage) sont disponibles sur le dépôt GitHub de l'auteur [4].

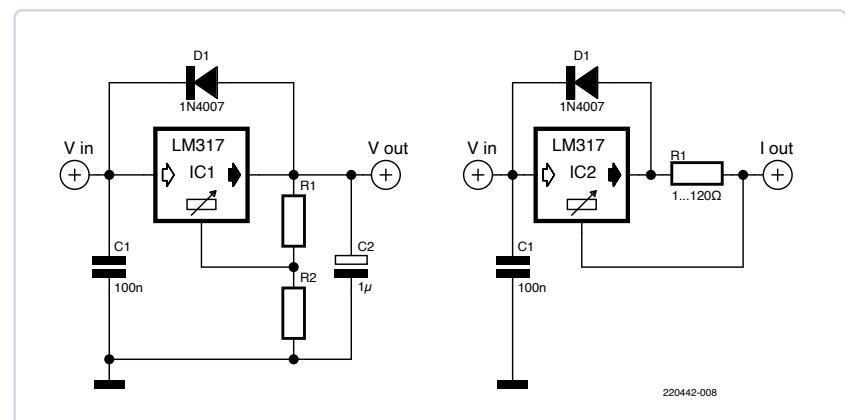


Figure 4. Schémas de circuit pour le régulateur de tension LM317.

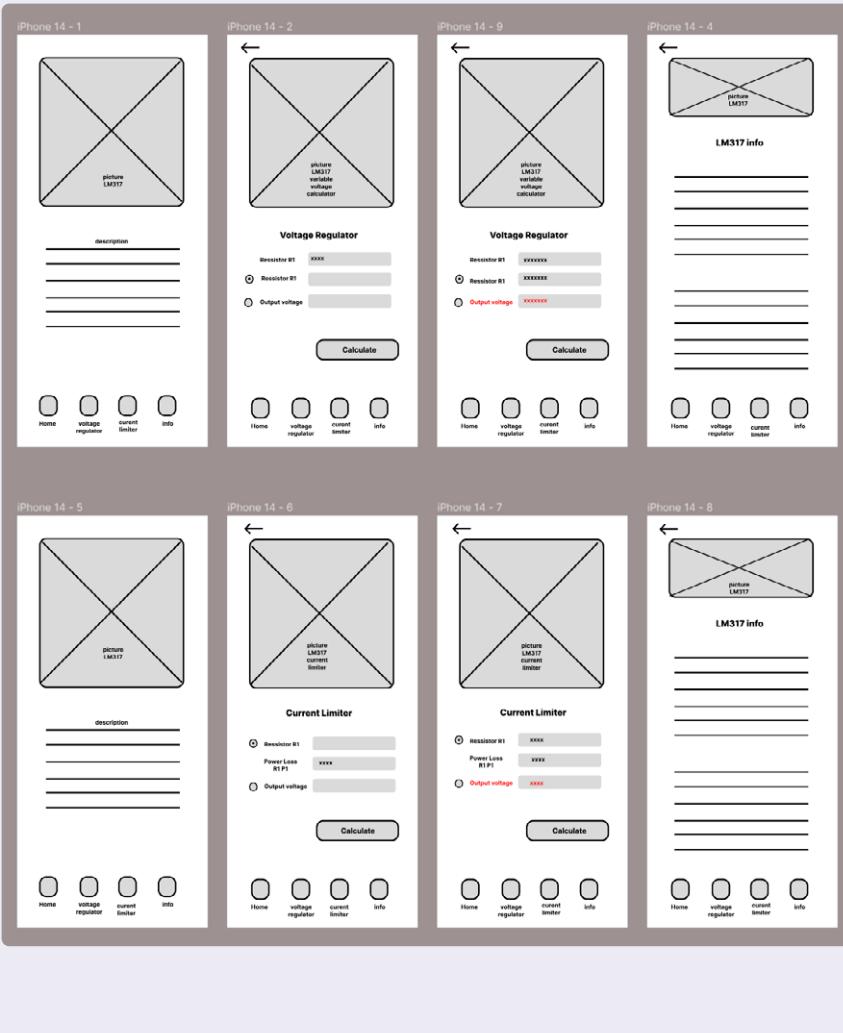


Figure 5. Wireframe pour l'application de calcul (iOS ou Android).

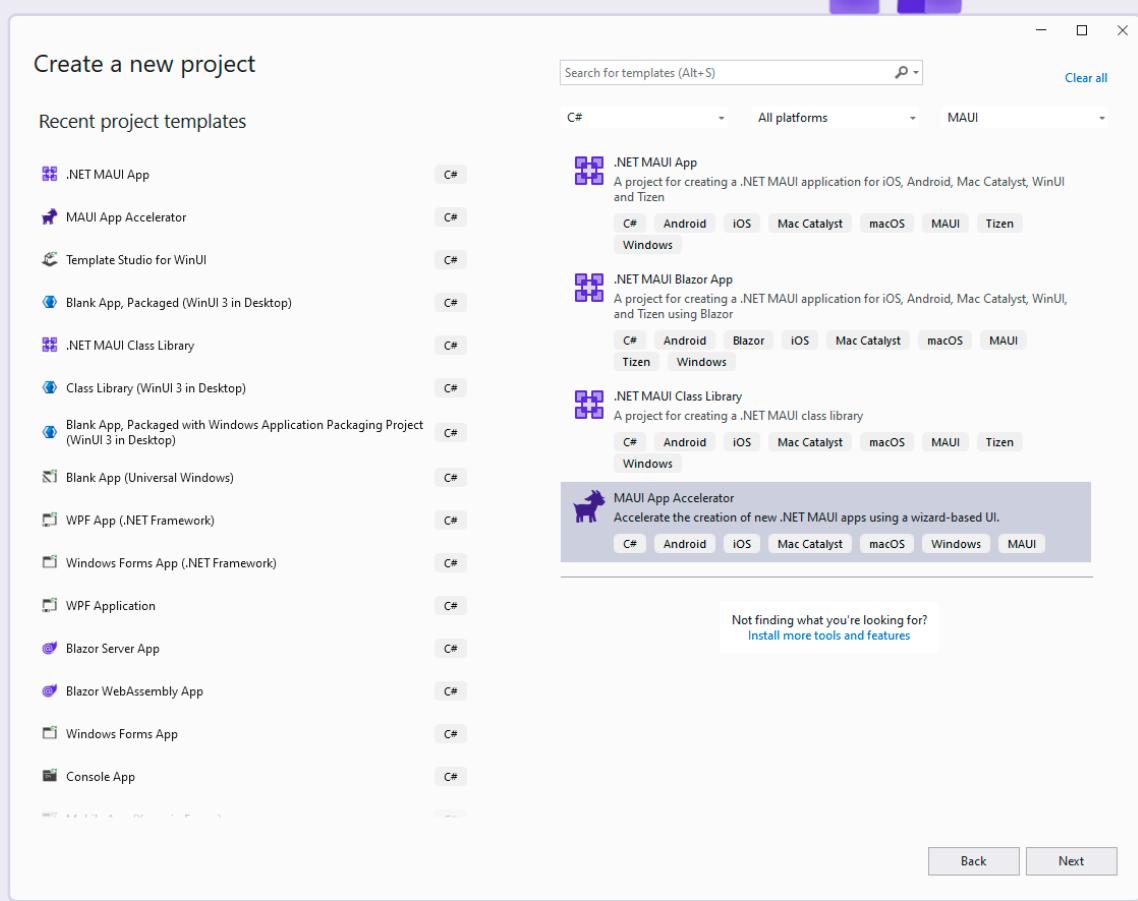
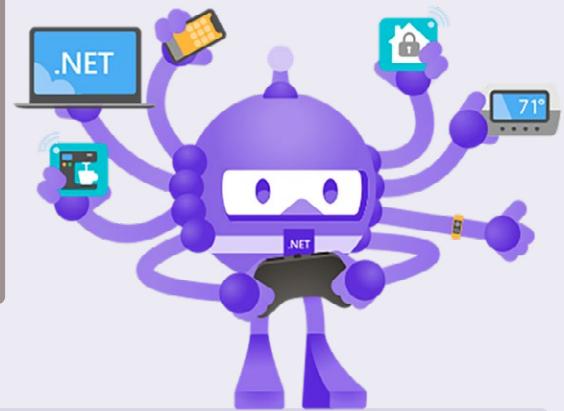


Figure 6. Sélectionnez le modèle MAUI App Accelerator pour le démarrage du projet.

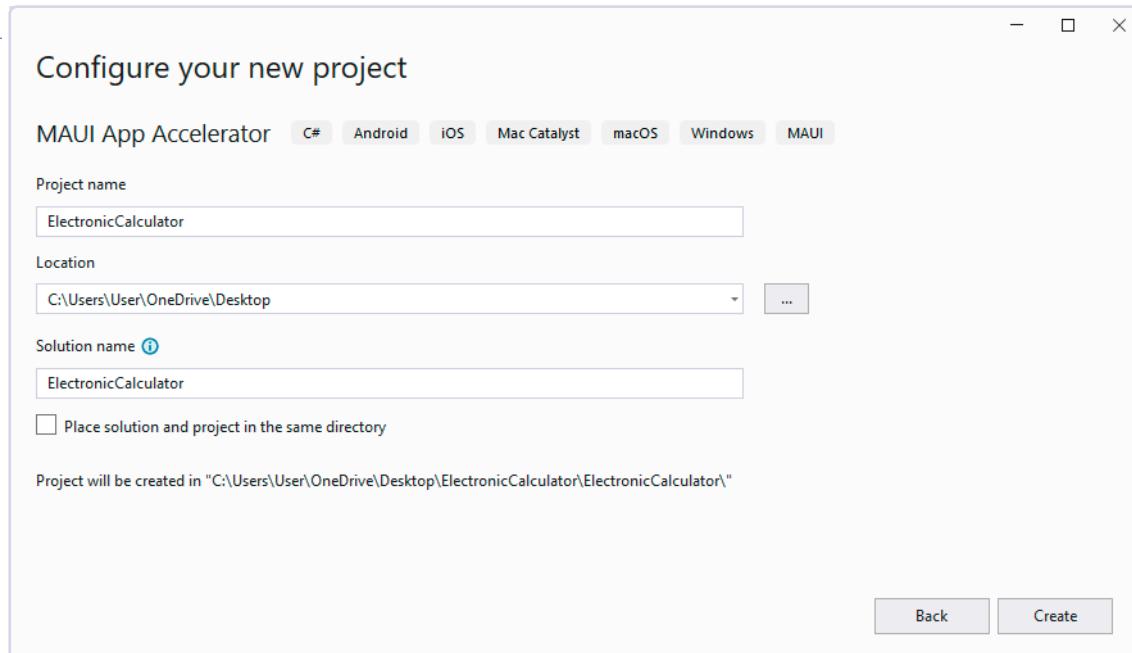


Figure 7. Saisissez le nom du projet et l'emplacement de stockage.

## Exemple

Nous souhaitons développer une application mobile pour Android et iOS. Nous allons créer une application de capture de données et de calcul pour le fameux régulateur de tension LM317. La plupart de nos lecteurs devraient être familiers avec le fonctionnement et l'utilisation du LM317. Nous pouvons utiliser ce régulateur de tension pour générer soit une tension de sortie constante, soit une source de courant constant (**figure 4**).

Pour calculer la tension de sortie générée, nous pouvons appliquer la formule pratique simplifiée suivante :

$$V_{\text{out}} = 1,25 \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Nous pouvons modifier cette équation pour calculer  $R_2$  et déterminer la valeur de la résistance permettant de fournir une tension de sortie spécifique. Selon la fiche technique du LM317, la valeur de la résistance  $R_1$  est de  $240 \Omega$ . Il est également possible d'utiliser ce circuit intégré régulateur pour créer une source de courant constant, avec la relation suivante :

$$I_{\text{out}} = \frac{1,25}{R_1}$$

Dans ce cas, la valeur de  $R_1$  doit être comprise dans l'intervalle  $1 \Omega \leq R_1 \leq 120 \Omega$ . Bien qu'il existe déjà de nombreux outils de calcul pour ce régulateur de tension, il est pratique d'en créer un ici comme démonstration de la fonctionnalité de construction d'applications avec .NET MAUI.

## Design

L'une des principales erreurs de débutant consiste à se lancer directement dans la programmation alors que l'on n'a pas encore défini de plan. Il est toujours utile d'avoir un prototype visuel, même s'il ne s'agit que d'un croquis, (**figure 5**).

Ce prototype représente une maquette pour une application mobile (iOS ou Android). Nous utiliserons quatre pages accessibles par des

onglets de navigation situés dans la partie inférieure des pages. Ces quatre pages devraient fournir le contenu suivant :

- **Accueil** : schéma du circuit et informations générales sur le régulateur de tension LM317.
- **Régulateur de tension** : schéma du circuit et champs de saisie pour les résistances  $R_1$  et  $R_2$ , ainsi que la tension de sortie souhaitée ( $U_{\text{out}}$ ). Des boutons radio permettent de choisir si le calcul doit être effectué pour  $R_2$  ou  $U_{\text{out}}$ . Un bouton permettant de lancer le calcul.
- **CCR = régulateur à courant constant** : pour un fonctionnement à courant constant, nous disposons de champs d'entrée pour la résistance  $R_1$  et le courant de sortie. Des boutons radio vous permettant de choisir de calculer la valeur de  $R_1$  ou de  $I_{\text{out}}$ . Un bouton permettant également d'exécuter le calcul.
- **Info** : nous affichons ici la fiche technique complète du régulateur de tension, par exemple, sur une page web.

Ce concept constitue la base de la mise en œuvre de l'application.

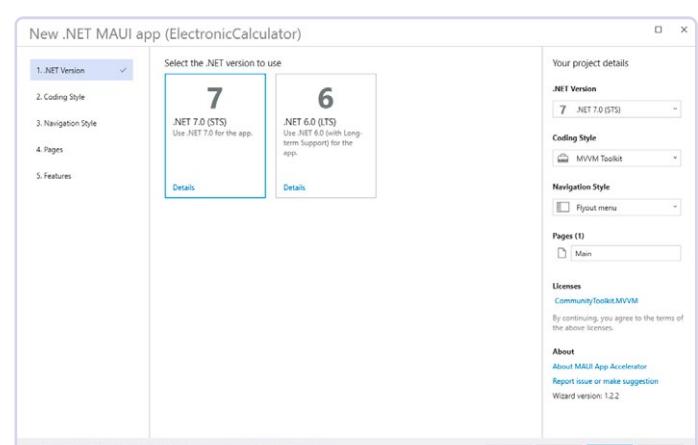


Figure 8. Sélectionnez la version .NET et la navigation.

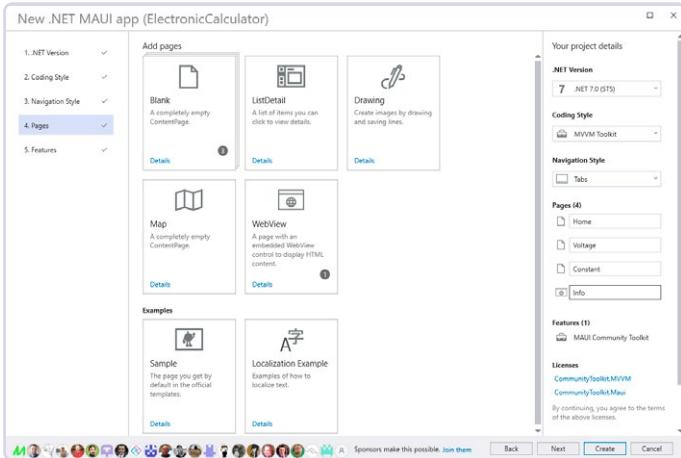


Figure 9. Définissez la structure et les pages de l'application.

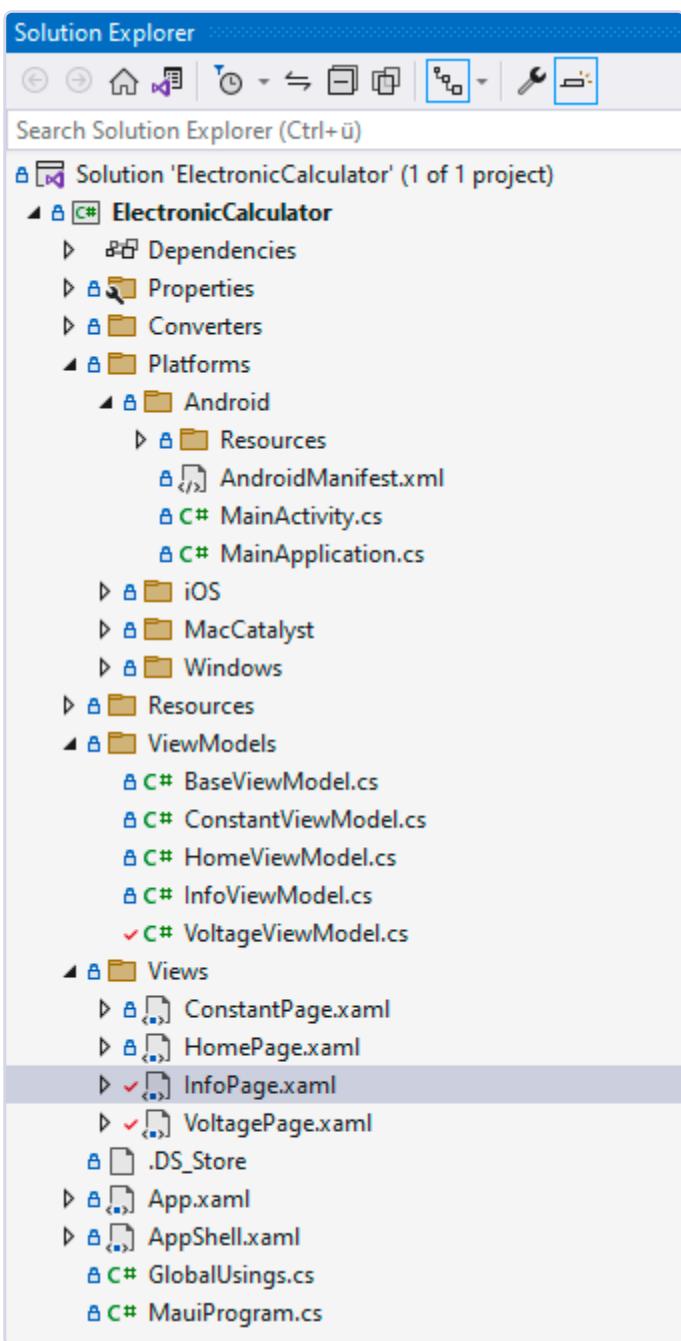


Figure 10. Structure du projet d'application MAUI.

## Commencer le projet

Après avoir redémarré Visual Studio, sélectionnez le modèle MAUI App Accelerator (**figure 6**). À l'étape suivante, vous devez spécifier le nom de l'application et son emplacement ; voir (**figure 7**). Ensuite, vous serez invité à choisir la version de .NET (framework) - utilisez la plus récente, .NET 7.0 au moment de la rédaction (**figure 8**). Dans l'étape suivante (**figure 9**), indiquez les informations suivantes :

- **Style de codage** : le modèle architectural de l'application est défini ici. Choisissez MVVM-Toolkit, ce qui signifie que vous intégrez une bibliothèque correspondante dans le projet et que vous utilisez le modèle architectural MVVM. Ce modèle garantit le découplage des couches (*Model, View, ModelView*) et est considéré comme la norme pour la mise en œuvre d'applications dont l'interface utilisateur est définie avec XAML. Vous pouvez trouver plus d'informations à ce sujet sur le site [3].
- **Style de navigation** : choisissez Tabs parmi les options disponibles pour utiliser des onglets pour la navigation.
- **Pages** : ici, vous pouvez ajouter trois pages de type Blank et les nommer *Home* (Accueil), *Voltage* (Tension) et *Constant* (Constante). De plus, ajoutez une page de *WebView* et nommez-la *Info*.

Une fois ces détails complétés, vous pouvez laisser Visual Studio créer l'application. Ce processus peut prendre un peu de temps. Ensuite, vous accédez à l'environnement de développement avec votre projet ouvert.

En examinant la structure du projet (**figure 10**), nous pouvons faire les observations suivantes :

- **Multi-Targeting** : il n'y a qu'un seul projet pour toutes les plateformes, avec un dossier distinct pour chaque système cible.
- **ViewModels** : contient les classes de la logique du programme et sert de lien avec l'interface utilisateur.
- **Views** : classes composées de fichiers C# et XAML pour l'interface utilisateur.
- **App.xaml, MauiProgram.cs** : points d'entrée pour l'interface utilisateur et l'exécution de l'application.
- **Resources** : contient des images et d'autres ressources pour l'application.

Sans plus de programmation, vous pouvez maintenant lancer l'application pour la première fois (**figure 11**). Si nécessaire, vous pouvez configurer un émulateur Android sur votre système pour le premier lancement.

## Créer l'interface utilisateur

L'interface utilisateur est déclarée en XAML, plus précisément dans les fichiers View. Prenons l'exemple de la page du deuxième onglet. Tout d'abord, il convient de définir la mise en page. Pour ce faire, il existe différents conteneurs de mise en page, tels que Grid, qui permet de définir les lignes et les colonnes. Dans une telle grille, les éléments individuels de l'interface utilisateur, tels qu'une image, un bouton ou une zone de texte, peuvent être placés dans des cellules. D'autres conteneurs de présentation permettent une disposition verticale ou horizontale des éléments. Le principe



consiste à utiliser autant que possible un positionnement et un espacement relatifs plutôt que des valeurs absolues. Cela est nécessaire pour garantir que l'interface utilisateur s'affiche correctement sur un maximum d'appareils ayant des tailles d'écran et des résolutions différentes.

Par exemple, notre page se compose d'une grille avec deux lignes au niveau supérieur, divisant la page en deux zones de taille égale (50:50). Dans la zone supérieure, nous plaçons le schéma du circuit (image). Dans la zone inférieure, nous plaçons les champs de texte pour la saisie, les champs d'étiquette pour les légendes, les boutons radio et un bouton dans une grille régulière. On peut adapter les différents éléments en termes de taille, d'alignement et de conception. Un extrait du code source de la page est présenté dans le **listage 1**.

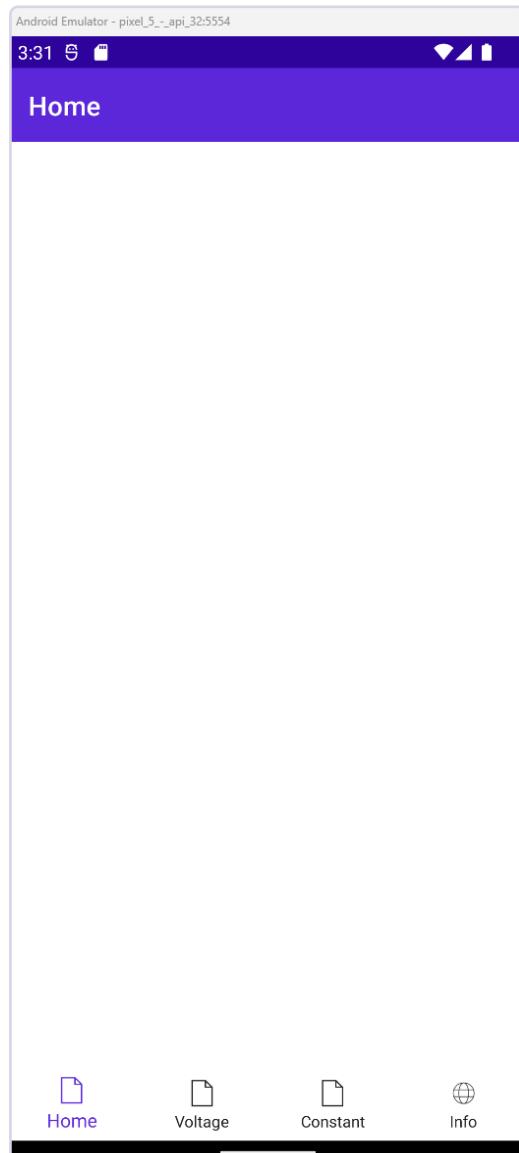


Figure 11. Premier lancement de l'application avec l'émulateur Android.



## Listage 1.

### Extrait du code source de la définition de la page.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<ContentPage
    <Grid BackgroundColor="LightGray">
        <Grid.RowDefinitions>
            <RowDefinition />
            <RowDefinition />
        </Grid.RowDefinitions>
        <VerticalStackLayout
            Grid.Row="1"
            HorizontalOptions="Center"
            VerticalOptions="Center">
            <Grid RowSpacing="20">
                <Grid.RowDefinitions>
                    <RowDefinition />
                    <RowDefinition />
                    <RowDefinition />
                    <RowDefinition />
                </Grid.RowDefinitions>
                <Grid.ColumnDefinitions>
                    <ColumnDefinition />
                    <ColumnDefinition />
                </Grid.ColumnDefinitions>
                <Label
                    Margin="30,0"
                    HorizontalOptions="Start"
                    MaximumWidthRequest="100"
                    Text="Resistor R1 (240 Ohm):"
                    VerticalOptions="Center" />
                <Entry
                    Grid.Column="1"
                    HorizontalTextAlignment="Center"
                    Text=""
                    VerticalOptions="Center" />
                ...
                <Button
                    Grid.Row="3"
                    Grid.Column="1"
                    Command=""
                    Text="Calculation" />
            </Grid>
        </VerticalStackLayout>
        <VerticalStackLayout Margin="20"
            VerticalOptions="Center">
            <Border>
                <Border.StrokeShape>
                    <RoundRectangle CornerRadius="20" />
                </Border.StrokeShape>
                <Image Aspect="AspectFit" Source="lm317c.jpg" />
            </Border>
        </VerticalStackLayout>
    </Grid>
</ContentPage>
```

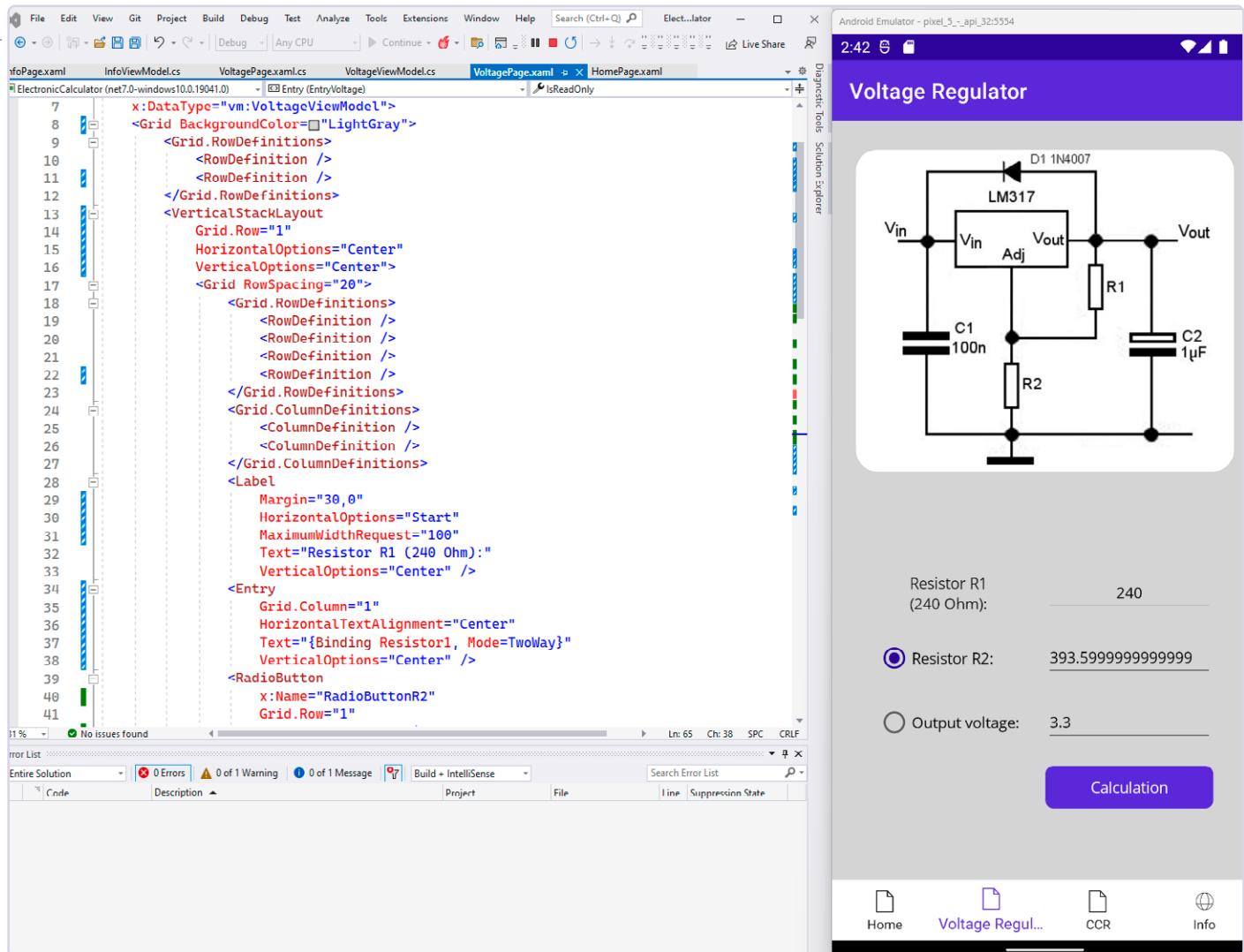


Figure 12. Le recharge à chaud est idéal pour une construction rapide de l'interface utilisateur.

Pour mieux comprendre, vous pouvez lancer l'application sur un émulateur et placer le code source de cette page dans Visual Studio, côté à côté sur l'écran. En mode Debug, la fonction Hot Reload permet d'apporter des modifications au code XAML, qui seront immédiatement appliquées à l'application en cours d'exécution, c'est-à-dire qu'elles seront appliquées après l'enregistrement, sans qu'il soit nécessaire de redémarrer (!). Cela fonctionne également sur un appareil mobile et remplace un concepteur graphique (**figure 12**). Ainsi, vous pouvez commenter des éléments ou ajuster des propriétés dans le code XAML et voir immédiatement les résultats dans l'application.

Toutes les pages de l'application ont été créées de cette façon. Vous pouvez examiner le code source des fichiers d'affichage (XAML) pour plus de détails. La page d'info ne contient qu'un élément WebView. Ici, nous pouvons afficher un fichier HTML. Nous avons établi un lien statique vers une page web où l'on peut consulter la fiche technique du régulateur de tension. Il aurait également été possible d'intégrer un contrôle permettant d'afficher un fichier PDF.

## Créer la logique du programme

Il s'agit des étapes ou des instructions qui dictent la manière dont les valeurs souhaitées pour la résistance et la tension de sortie sont calculées. Les concepts de base se composent des éléments suivants :

➤ **Variables :** les variables sont utilisées pour stocker et gérer les valeurs des données d'entrée. Cela se fait dans les fichiers ViewModel correspondants. Par exemple, dans le fichier *VoltageViewModel* :

```
[ObservableProperty]
private double voltage;
```

```
[ObservableProperty]
private double resistor1 = 240;
```

```
[ObservableProperty]
private double resistor2;
```

```
[ObservableProperty]
private bool voltageMode = true;
```

Les attributs de la variable indiquent sa visibilité (`private`), son type de données (`double`) et son nom (`resistor1`). En utilisant l'attribut `[ObservableProperty]`, l'environnement de développement est chargé de convertir automatiquement la variable locale en une caractéristique `public`. Cela permet également d'accéder à la valeur depuis l'extérieur de la classe.



➤ **Liaison des données :** les éléments des champs de l'interface utilisateur, tels que le champ de saisie des données (Entry), sont liés à des propriétés dans le code C#. Cela se fait directement dans le fichier XAML correspondant. En voici un exemple :

```
x:Name=>EntryR2<br/>Grid.Row=>1<br/>Grid.Column=>1<br/>MinimumWidthRequest=>150<br/>Text=>{Binding Resistor2, Mode=TwoWay}<br/>VerticalOptions=>Center </>
```

Il s'agit de la définition du champ de saisie de texte (Entry) pour la valeur de la résistance R2. La propriété `Text` est liée à la propriété définie (comme mentionné ci-dessus) avec la syntaxe de liaison. `Mode = TwoWay` indique que la liaison de données est bidirectionnelle, de sorte que les modifications apportées au champ de saisie (saisie de l'utilisateur) mettront à jour le code source sous-jacent et que les modifications apportées à la variable (après calcul) mettront également à jour la vue.

➤ **Commandes :** dans le code source, une méthode de calcul est définie, par exemple pour la tension de sortie ou la valeur de la résistance :

```
[RelayCommand]<br/>private void Calculate()<br/>{<br/>    if (voltageMode)<br/>    {<br/>        Voltage = 1.25 * (1 + Resistor2 / Resistor1);<br/>    }<br/>    else<br/>    {<br/>        Resistor2 = Resistor1 * (Voltage / 1.25 - 1);<br/>    }<br/>}<br/>}
```

L'ajout de l'attribut `[RelayCommand]` permet d'appeler la méthode en tant que commande directement à partir du fichier XAML, dans ce cas, avec le bouton. La propriété `Command` lui est liée.

```
Grid.Row=>3<br/>Grid.Column=>1<br/>Command=>{Binding CalculateCommand}<br/>Text=>Calculation </>
```

Ce sont les fonctions essentielles de l'application. Pour une meilleure compréhension, étudiez le code source dans Visual Studio et testez-le.

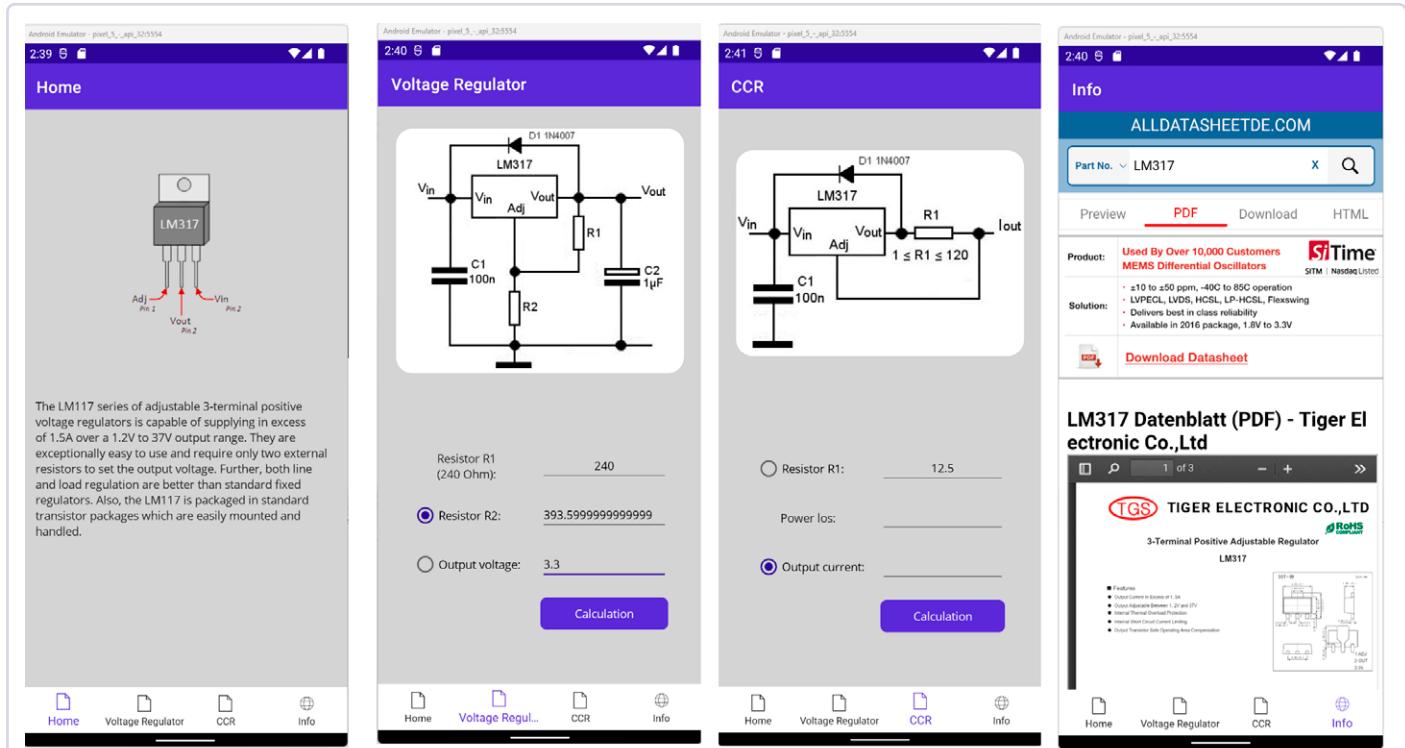


Figure 13. Première version de l'application avec la fonction de calcul représentée sur l'émulateur Android.

## Résultats

Le résultat est une application mobile, initialement conçue pour Android (**figure 13**). Nous pouvons utiliser les onglets pour naviguer entre les pages et voir les calculs. Il est également possible de consulter la fiche technique. L'application a été initialement visualisée avec un émulateur, mais on peut relier un appareil Android au PC de développement via le port USB ou wifi pour installer l'application sur l'appareil. L'appareil Android nécessite l'activation du mode développeur avant le téléchargement du fichier APK.

## Autres plateformes

Avec .NET MAUI, vous pouvez créer des applications natives pour différentes plateformes. L'exemple présenté ici est adapté à une application mobile (utilisant des onglets au contenu limité). Si vous codez sous Mac, avec la dernière version de l'environnement de développement Xcode, vous pouvez compiler l'application pour iOS directement depuis Visual Studio et l'exécuter sur un simulateur d'iPhone ou d'iOS. Des modifications mineures de la conception, telles que les couleurs, peuvent s'avérer nécessaires. Pour réduire les risques de problèmes de compatibilité, il est préférable de définir aussi peu d'éléments statiques et absolus que possible, en laissant le système se charger de l'alignement et de la conception conformément aux lignes directrices en la matière, ou de définir des caractéristiques spécifiques pour chaque système cible, le cas échéant. Si vous colorez explicitement l'arrière-plan d'une page et que vous y placez des champs de saisie de texte, cela peut sembler correct sur une plate-forme, mais le champ de texte peut avoir un style différent sur une autre, ce qui entraîne une mauvaise adaptation. La règle est donc la suivante : gardez la valeur par défaut ou procédez à des modifications pour les plates-formes sélectionnées. Toutefois, il est possible de partager l'intégralité du code source de l'interface utilisateur et de la logique de gestion ou de la fonctionnalité de base, ce qui vous épargne beaucoup de travail dans la plupart des cas.

## Modifications

L'application n'est qu'un prototype fonctionnel. Vous devez apporter les modifications suivantes avant de distribuer l'application aux utilisateurs :

- Remplacez tous les graphiques par des images au format .svg. Il s'agit de graphiques vectoriels qui se mettent automatiquement à l'échelle sans perte, en fonction du système cible.
- Déterminez toutes les icônes pour la barre d'onglets au bas de l'écran. Les graphiques nécessaires sont stockés dans le dossier *Resources/Images* et affectés au fichier *AppShell.xaml*.
- Validez la plage d'entrée des résistances, la tension de sortie, etc., pour assurer des valeurs raisonnables (plage de valeurs) et mettez en œuvre une gestion des erreurs en cas d'entrées incorrectes. Cela se fait dans les fichiers *ViewModel*.
- Effectuez des tests complets sur différents appareils avec des émulateurs et sur les appareils physiques.
- Créez des paquets d'applications pour les plateformes cibles, par exemple Android et iOS.
- Enregistrez les applications dans les magasins d'applications respectifs.

## Autres fonctions de .NET MAUI

Dans cet exemple, nous n'avons abordé qu'une petite partie des fonctionnalités offertes par .NET MAUI pour la création d'applications destinées à des plates-formes multiples. Il convient également de mentionner les fonctionnalités suivantes, qui présentent un intérêt particulier dans le contexte de la création d'applications pour les projets électroniques :

- **Accès aux fonctions de l'appareil et aux capteurs :** .NET MAUI offre un accès intégré à une variété de fonctions du matériel. Dans la plupart des cas, vous devez demander les autorisations nécessaires dans les fichiers de la plate-forme avant de pouvoir accéder aux fonctions de l'appareil via une interface universelle.
- **Bibliothèques pour les fonctions du système :** des fonctions supplémentaires peuvent être fournies par des bibliothèques externes pour .NET ; elles peuvent être utiles pour au matériel spécifique, à des capteurs, etc. Ces bibliothèques sont fournies par des fournisseurs tiers et par la communauté. Cela vaut la peine de les découvrir.
- **Composants d'interface utilisateur :** .NET MAUI offre déjà par défaut une gamme de composants visuels. La sélection est continuellement enrichie par des fournisseurs tiers et par la communauté.
- **Composants d'interface utilisateur :** .NET MAUI offre déjà par défaut une gamme de composants visuels. La sélection est continuellement enrichie par des fournisseurs tiers et par la communauté.
- **Déploiement d'applications :** aujourd'hui, les applications à usage général sont disponibles sur les boutiques Google Play ou Apple App, en fonction de la plateforme cible. Les paquets d'applications peuvent être créés directement à partir de Visual Studio. Notez que vous devez vous conformer aux politiques appropriées de l'entreprise et que l'application doit être correctement signée par un certificat numérique. Pour iOS et macOS, un Mac sera nécessaire à cette fin.

Le choix de .NET comme base de cette méthode de développement est également avantageux. De nombreux services, API et autres ressources nécessaires au développement de logiciels modernes prennent directement en charge .NET en fournissant leurs propres bibliothèques, connues sous le nom de kits de développement logiciel (SDK), pour ce cadre. Si vous souhaitez stocker vos données dans le cloud, par exemple, il est fort probable qu'une bibliothèque .NET soit déjà disponible pour ce faire.

## Conclusion

.NET MAUI offre une approche intéressante de création d'une application pour tous les systèmes cibles importants. Il en résulte des applications natives qui ne nécessitent pas de navigateur web pour fonctionner et qui permettent d'accéder aux fonctions du système. La combinaison du développement d'applications natives et de la programmation multiplateforme, à la fois pour les ordinateurs de bureau et les appareils mobiles, rend cette approche attrayante pour les projets électroniques. Il est toutefois un peu décevant



que .NET MAUI ne prenne pas actuellement en charge Linux, car il serait intéressant de pouvoir l'utiliser dans un environnement Raspberry Pi. Microsoft a confié la responsabilité de la prise en charge de Linux à la communauté. Il faudra peut-être attendre un peu avant qu'il ne soit disponible. Si cet article a suscité votre intérêt pour .NET MAUI, vous pouvez trouver une bonne introduction avec des tutoriels vidéo utiles sur [5] ! ↗

220442-04

### Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

### À propos de l'auteur

Veikko Krypczyk est développeur de logiciels, formateur et auteur technique, spécialisé dans des sujets tels que WinUI 3 et .NET MAUI (en savoir plus [6]). Pendant son temps libre, il se sert d'un fer à souder et s'amuse à construire divers projets électroniques. Il est fasciné par la combinaison de l'électronique et de la programmation qui, ensemble, permettent souvent de réaliser des solutions surprenantes.



### Produits

➤ **John Allwork, C# Programming for Windows and Android, Elektor 2015 (E-Book)**  
<https://elektor.fr/18220>

### LIENS

- [1] .NET MAUI : <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/maui>
- [2] Visual Studio : <https://visualstudio.microsoft.com/>
- [3] MVVM Toolkit : <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/maui/mvvm>
- [4] Dépôt GitHub de l'auteur de l'application ElectronicCalculator : <https://github.com/veikkoEF/ElectronicCalculator>
- [5] Tutoriels vidéo : .NET MAUI for Beginners by dotnet :  
<https://youtube.com/playlist?list=PLdo4fOcmZ0oUBAdL2NwBpDs32zwGqb9DY>
- [6] Site web de l'auteur : <https://larinet.com>

Rejoignez  
notre communauté

[www.elektormagazine.fr/community](http://www.elektormagazine.fr/community)

Elektor  
design > share > earn

# ChatMagLev

lévitation  
magnétique -  
version IA



Figure 1. Le matériel du projet MagLev.

**Peter Neufeld (Allemagne)**

Le nouvel outil précieux des amateurs de programmation est ChatGPT. Il permet non seulement d'écrire un nouveau code, mais aussi d'étendre et d'améliorer un programme existant. Dans cet article, Peter Neufeld, un auteur du magazine Elektor le teste et apporte plusieurs améliorations à son populaire projet de lévitation magnétique.

Quiconque connaît le monde des projets matériels et logiciels sait qu'ils ont tendance à se poursuivre longtemps après leur achèvement. Le processus de réalisation et de programmation peut être agréable, et le projet qui en résulte peut fonctionner bien. Pourtant, il y a souvent des fonctions que vous souhaitez

riez modifier ou ajouter au logiciel, et vous ne semblez jamais trouver le temps, à cause d'autres engagements.

C'était également le cas du code Arduino C++ que j'ai écrit pour mon projet, *lévitation magnétique- version numérique*, que j'ai décrit dans un article d'Elektor [1], sur la plateforme Elektor Labs [2], et sur mon propre site web [3]. Le matériel fonctionne bien, mais j'ai rapidement développé le code Arduino pour montrer que ce projet fonctionne en principe. Cependant, "fonctionnel" ne veut pas dire "parfait" !

Lorsque j'ai commencé à m'intéresser aux possibilités de l'IA, je me suis rapidement demandé si ChatGPT [4] pouvait m'aider dans mes projets logiciels de loisir.

Lors de mes premiers tests, j'ai pu très rapidement obtenir de petits extraits de code et des programmes Arduino C++ complets générés par ChatGPT qui correspondaient à mes spécifications formulées dans un langage technique simple.

Par conséquent, deux approches pour améliorer mes projets à l'aide de l'IA se sont concrétisées en fin de compte :

1. Extension de programmes existants : est-il possible d'étendre le code Arduino C++ déjà en cours d'exécution avec des fonctions logicielles supplémentaires en donnant le code existant et en posant des questions spécifiques à ChatGPT ?

2. Nouveau code : ChatGPT peut-il générer un nouveau programme Arduino C++ exécutable si je confie la tâche à l'IA sous la forme d'une description de fonction presque conversationnelle ?

J'ai testé les deux méthodes pour mon "projet de lévitation magnétique" basé sur l'ESP32. La **figure 1** montre la configuration matérielle et la **figure 2** le circuit actuel.

Pour anticiper mon résultat : en tant que programmeur amateur, certaines portes qui n'étaient auparavant qu'à moitié ouvertes, voire complètement fermées, s'ouvrent soudain. Cela fait presque oublier les aspects incontestablement sombres de l'utilisation des systèmes IA. Le système MagLev qui fonctionne bien et que l'on voit sur la photo d'introduction ci-dessus est un résultat visible du travail assisté par l'IA.

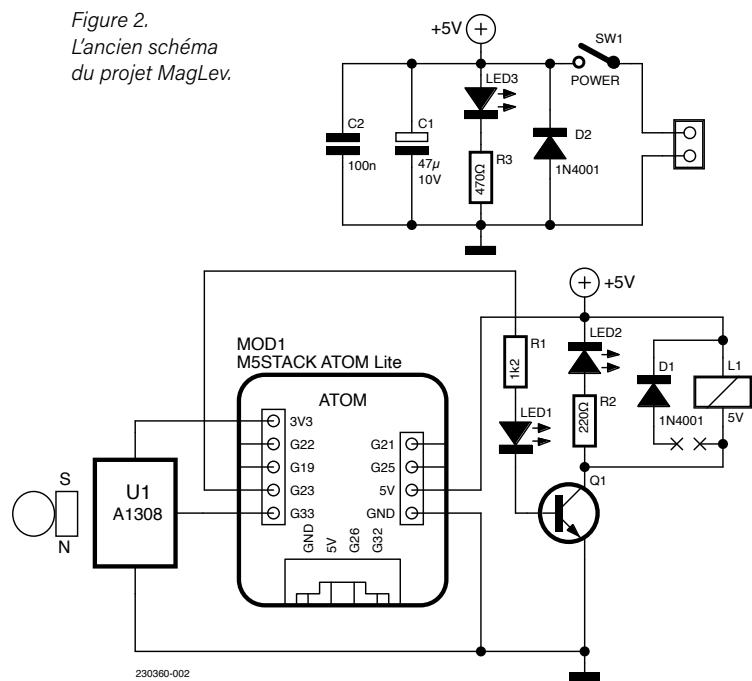
## Approche 1 : extensions de l'ancien code du programme

Mon ancien code était fonctionnel, mais n'était que le squelette d'un programme nécessitant des améliorations utiles. J'ai essayé de résumer mes pensées en une seule question et tâche. Mais, généralement, ChatGPT vous permet de développer une conversation, en gérant les questions de suivi.

Voici ma question plus ou moins complexe à ChatGPT :

Le code Arduino C++ suivant pour une ESP32 doit être complété. Les valeurs de déclenchement doivent maintenant être augmentées ou diminuées de 1 avec le caractère "T" ou "t" suivi de CR et LF sur la ligne série. Respectivement pour la valeur d'hystérésis. Une quatrième commande stocke toutes les valeurs actuelles dans la RAM. Elles sont utilisées au démarrage si elles sont présentes. Utilisez la bibliothèque `preferencec`. Les nouvelles valeurs sont affichées en série. Ajoutez le code de programme nécessaire et donnez le programme complet.

Figure 2.  
L'ancien schéma  
du projet MagLev.



```
*****  
Magnetic Levitation object:  
Lets a LEGO man, glued together with  
a neodymium magnet, float under a modified 5V relay  
- SoC:      ESP32, very good:  
M5Stack's ATOM LITE or ATOM MATRIX  
- Electromagnet: Modified 5V-Relais HW-482  
with 3V3/5V transistor input  
- Sensor:    HALL-sensor A1302 or A1308  
*****/
```

```

// int TRIGGER    = 2740;
// Triggerlevel is set to a level where
// weight of payload is equal to the force
// between magnet and electromagnet
int TRIGGER    = 2740;
// good for payload =
// 2 NeobdyM-Magnets and a LEGO-Man
int HYST      = 35;
// Hysterese for trigger level
int HALL_PIN   = 33;
// analog Signal from HALL-sensor at GPIO33
int HALL_VAL   = 0;
int RELAIS_PIN = 23;
// GPIO23 to drive the transistor input of
// the modified 5V-relais that is used as electromagnet
int X          = 0;

void setup(){
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAIS_PIN, OUTPUT);
  Serial.print("Magnetic Levitation: START ");
}

void loop(){
  HALL_VAL =analogRead(HALL_PIN);
  //read HALL-Sensor with
  //default 0-3.9V input >> 12bit
  if(HALL_VAL < (TRIGGER + X )) {
    digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH);
    // lift the payload
    X = HYST;
  }
  else{
    digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW);
    // drop the payload
    X = 0 - HYST;
  }
}

```

Vous pouvez voir mon ancien code et la réponse de ChatGPT avec le code amélioré dans le [listage 1](#).



## Listage 1. Extension of handwritten code.

Voici le code étendu du programme Arduino C++ que vous avez fourni :

```
#include <Preferences.h>
Preferences preferences;

int TRIGGER = 2740;
int HYST = 35;
int HALL_PIN = 33;
int HALL_VAL = 0;
int RELAIS_PIN = 23;
int X = 0;

void setup() {

    Serial.begin(115200);
    pinMode(RELAIS_PIN, OUTPUT);
    Serial.print("Magnetic Levitation: START ");

    // Load values from non-volatile RAM
    // Initialize preferences with a namespace
    preferences.begin("levitation", false);

    if (preferences.getBytesLength("config") > 0) {
        preferences.getBytes("config", &TRIGGER,
            sizeof(TRIGGER));
        preferences.getBytes("config", &HYST,
            sizeof(HYST));
    }

    preferences.end();
}

void loop() {

    if (Serial.available() >= 3) {
        String command = Serial.readStringUntil('\r');
        // Read the command until a
        // carriage return (\r) is encountered

        if (command.startsWith("T")) {
            TRIGGER++;
            Serial.println("Trigger increased: "
                + String(TRIGGER));
        }
        else if (command.startsWith("t")) {
            TRIGGER--;
            Serial.println("Trigger decreased: "
                + String(TRIGGER));
        }
        else if (command.startsWith("H")) {
            HYST++;
            Serial.println("Hysteresis increased: "
                + String(HYST));
        }
        else if (command.startsWith("h")) {
            HYST--;
            Serial.println("Hysteresis decreased: "
                + String(HYST));
        }
        else if (command.startsWith("S")) {
            // Store current values in non-volatile RAM
            // Initialize preferences with a namespace
            preferences.begin("levitation", false);
            preferences.putBytes("config", &TRIGGER,
                sizeof(TRIGGER));
            preferences.putBytes("config", &HYST,
                sizeof(HYST));
            preferences.end();
            Serial.println(
                "Values stored in non-volatile RAM.");
        }
    }

    HALL_VAL = analogRead(HALL_PIN);

    if (HALL_VAL < (TRIGGER + X)) {
        digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH);
        X = HYST;
    } else {
        digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW);
        X = 0 - HYST;
    }
}
```

```
    + String(HYST));
}

else if (command.startsWith("h")) {
    HYST--;
    Serial.println("Hysteresis decreased: "
        + String(HYST));
}

else if (command.startsWith("S")) {
    // Store current values in non-volatile RAM
    // Initialize preferences with a namespace
    preferences.begin("levitation", false);
    preferences.putBytes("config", &TRIGGER,
        sizeof(TRIGGER));
    preferences.putBytes("config", &HYST,
        sizeof(HYST));
    preferences.end();
    Serial.println(
        "Values stored in non-volatile RAM.");
}

HALL_VAL = analogRead(HALL_PIN);

if (HALL_VAL < (TRIGGER + X)) {
    digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH);
    X = HYST;
} else {
    digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW);
    X = 0 - HYST;
}
```

*In this code, the preferences library is used to store and load the trigger and hysteresis values in non-volatile RAM. The new commands 'T', 't', 'H', and 'h' are used to increase the trigger, decrease the trigger, increase the hysteresis, and decrease the hysteresis values, respectively. The command 'S' stores the current values in non-volatile RAM. These values will be used at startup if present. Please note that you need to install the "Preferences" library for this code to work correctly. You can find the library on the Arduino Library Manager or download it from the Arduino website.*

Ma première impression : ouah ! C'était facile ! Le code semble correct et logique. Il répond à mes exigences et fonctionne très bien lorsque je le teste ! J'aurais pu l'écrire de la même manière, mais seulement si j'étais plus expérimenté en programmation C++ et/ou si j'avais cherché et adapté d'autres exemples de code – et bien sûr, y consacrer du temps.

Laissons de côté l'ancien code et reprenons depuis le début avec quelques phrases claires.

## Approche 2 : un nouveau code Arduino C++

Motivée, je me suis alors lancée dans une description conversationnelle de mon montage de lévitation nécessitant des améliorations et plus de fonctions logicielles... et j'ai été très étonnée de la qualité du résultat. Voici ma conversation avec ChatGPT :

*Le système de lévitation magnétique suivant doit être contrôlé par un ESP32 et un programme Arduino C++. La broche 23 contrôle un électroaimant avec un noyau de fer, la broche 33 est l'entrée CAN à laquelle un capteur à effet Hall analogique est connecté. Le capteur analogique à effet Hall se trouve sous l'électroaimant. Un aimant permanent s'approche de l'électroaimant et de son noyau de fer, ainsi que du capteur de Hall. L'aimant est attiré par le noyau. Il doit cependant être maintenu en suspension. Pour ce faire, l'électroaimant doit être brièvement mis hors tension.*

*Le capteur à effet Hall génère une tension d'environ 2,4 V à l'état flottant et d'environ 1,5 V sans l'aimant permanent. Si l'aimant s'approche du capteur, la tension augmente jusqu'à un maximum de 3 V.*

*Pendant l'exécution du programme, la valeur de déclenchement pour l'état flottant doit être légèrement augmentée via l'interface série (115200Baud, 8N1) à la réception d'un "T". À la réception d'un "t", elle est diminuée.*

*De plus, comme la valeur de déclenchement, une valeur d'hystérésis d'environ 50 mV doit également être réglée et corrigée en conséquence par des commandes au clavier.*

*Les valeurs de déclenchement et d'hystérésis corrigées manuellement doivent être éditées si elles ont été modifiées. Les deux valeurs doivent être enregistrées en toute sécurité dans la mémoire non volatile de l'ESP32 lors de la saisie de "S" ou "s". Ce n'est que s'il existe déjà d'anciennes valeurs dans la mémoire non volatile qu'elles doivent être utilisées comme valeurs initiales du programme. Une brève description de l'opération doit être affichée au démarrage. Écrivez le programme Arduino de manière très compacte et avec un nombre raisonnablement réduit de commentaires, de sorte qu'il puisse être édité entièrement dans la réponse.*

Dans le **listage 2**, vous pouvez voir la réponse de ChatGPT, qui m'étonne encore et me fait même un peu peur.



### Listage 2. Code et réponse générés par ChatGPT.

```
#include <EEPROM.h>
```

```
const int magnetPin = 23;
const int hallSensorPin = 33;
const int triggerAddr = 0;
const int hysteresisAddr = 1;

float triggerValue = 2.4;
float hysteresisValue = 0.05;
```

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(magnetPin, OUTPUT);
  pinMode(hallSensorPin, INPUT);

  // Load trigger and hysteresis values
  // from EEPROM if available
  EEPROM.begin(2);
  float storedTriggerValue =
    EEPROM.readFloat(triggerAddr);
  float storedHysteresisValue =
    EEPROM.readFloat(hysteresisAddr);

  if (storedTriggerValue != 0x00)
    triggerValue = storedTriggerValue;

  if (storedHysteresisValue != 0x00)
    hysteresisValue = storedHysteresisValue;

  Serial.println("Magnetic Levitation Setup");
  Serial.println("Commands:");
  Serial.println("T - Increase trigger value");
  Serial.println("t - Decrease trigger value");
  Serial.println("H - Increase hysteresis value");
  Serial.println("h - Decrease hysteresis value");
  Serial.println(
    "S or s - Save trigger and hysteresis values");
  Serial.println();
  Serial.print("Trigger Value: ");
  Serial.println(triggerValue);
  Serial.print("Hysteresis Value: ");
  Serial.println(hysteresisValue);
}

void loop() {
  // Read the analog value from the Hall sensor
  int hallSensorValue = analogRead(hallSensorPin);

  // Check if magnet is close to the sensor
  if (hallSensorValue >
    (triggerValue + hysteresisValue) * 1023) {
    // Magnet is close, turn off the electromagnet
    digitalWrite(magnetPin, LOW);
  }
  else {
    // Magnet is far, turn on the electromagnet
    digitalWrite(magnetPin, HIGH);
  }

  // Check for serial input
  if (Serial.available() > 0) {
    char command = Serial.read();
    if (command == 'T') {
      triggerValue += 0.01;
    }
  }
}
```

```

else if (command == 't') {
    triggerValue -= 0.01;
}
else if (command == 'H') {
    hysteresisValue += 0.01;
}
else if (command == 'h') {
    hysteresisValue -= 0.01;
}
else if (command == 'S' || command == 's') {
    // Save trigger and hysteresis values
    // to EEPROM
    EEPROM.writeFloat(triggerAddr, triggerValue);
    EEPROM.writeFloat(hysteresisAddr,
                      hysteresisValue);
    EEPROM.commit();
    Serial.println(
        "Trigger and hysteresis values saved.");
}

// Output trigger and hysteresis values
Serial.print("Trigger Value: ");
Serial.println(triggerValue);
Serial.print("Hysteresis Value: ");
Serial.println(hysteresisValue);
}
}

```

*Note: This is a compact version of the code without extensive comments. It assumes you have the necessary libraries installed, including the EEPROM library. Make sure to include that library in your Arduino IDE if you don't have it already.*

Ensuite, j'ai demandé au bot de donner une brève description du code à des fins de documentation.

ChatGPT a répondu :

*Le code fourni est un programme Arduino compact écrit en C++ pour contrôler un circuit de lévitation magnétique avec un microcontrôleur ESP32. La configuration comprend un électroaimant avec un noyau en fer et un capteur à effet Hall analogique.*

*Au démarrage, le programme initialise la communication série avec un débit de bauds de 115 200. La broche 23 est utilisée pour commander l'électroaimant, et la broche 33 est configurée en tant qu'entrée analogique pour lire la tension de sortie du capteur à effet Hall.*

*Le programme récupère les valeurs de déclenchement et d'hystérésis de la mémoire non volatile (EEPROM) s'ils ont été précédemment enregistrés. Si aucune valeur n'est trouvée, il utilise des valeurs par défaut. La valeur de déclenchement représente le seuil de tension pour éteindre l'électroaimant, et la valeur d'hystérésis définit la plage de tension dans laquelle l'électroaimant reste éteint même si l'aimant est légèrement éloigné du capteur.*

*Le programme affiche ensuite une brève description de l'opération et des commandes disponibles sur le moniteur série. Les commandes permettent d'ajuster les valeurs de déclenchement et d'hystérésis*

*en les incrémentant ou en les décrémentant. Les valeurs mises à jour sont immédiatement affichées sur le moniteur série. Pour enregistrer les valeurs de déclenchement et d'hystérésis dans la mémoire non volatile, l'utilisateur peut entrer la commande "S" ou "s". Dans la boucle main, le programme lit la valeur analogique du capteur de Hall et la compare à la valeur de déclenchement plus la valeur d'hystérésis. Si la lecture du capteur est supérieure à ce seuil, ce qui indique que l'aimant est proche, l'électroaimant est éteint en mettant la broche 23 à un niveau bas. Sinon, si l'aimant est éloigné, l'électroaimant est activé en mettant la broche 23 à un niveau haut.*

*Le programme vérifie continuellement les commandes reçues depuis le moniteur série. Si une commande est reçue, il ajuste la valeur de déclenchement ou d'hystérésis en conséquence. Si la commande "S" ou "s" est entrée, les valeurs de déclenchement et d'hystérésis sont enregistrées dans la mémoire non volatile.*

*Les valeurs actuelles de déclenchement et d'hystérésis sont affichées sur le moniteur série chaque fois qu'elles sont modifiées ou au démarrage du programme.*

*Ce programme fournit une solution simple et compacte pour contrôler une configuration de lévitation magnétique à l'aide d'un microcontrôleur ESP32.*

## Amélioration

Jusqu'à présent, tout va bien, mais tout peut toujours être optimisé. J'ai demandé au bot de me donner trois brèves suggestions pour améliorer la boucle de régulation.

ChatGPT m'a donné ces suggestions en retour :

- 1. Implémentez une régulation PID : considérez l'implémentation d'une boucle de régulation PID (Proportionnel-Integral-Dérivé) pour améliorer la stabilité et la réactivité du système de lévitation magnétique. En utilisant la rétroaction du capteur de Hall et en appliquant les gains de contrôle appropriés, le régulateur PID peut ajuster dynamiquement la puissance de l'électroaimant pour maintenir la distance de lévitation souhaitée. Cela améliorera la capacité du système à gérer les perturbations et à fournir un contrôle plus fluide.*
- 2. Utilisez un filtre de moyenne mobile : pour réduire le bruit et les fluctuations dans les lectures du capteur à effet Hall, appliquez un filtre de moyenne mobile. Au lieu de vous fier uniquement aux lectures individuelles, calculez la valeur moyenne sur un petit intervalle de lectures récentes. Cela contribuera à fournir une mesure plus stable et fiable pour déterminer la position de l'aimant et ajuster en conséquence la puissance de l'électroaimant.*
- 3. Intégrez une fonction de délai de sécurité : ajoutez un mécanisme de délai de sécurité à la boucle de régulation pour vous assurer que l'électroaimant n'est pas alimenté en continu si l'aimant ou le capteur est absent ou en panne. Si le système ne reçoit pas une lecture valide du capteur de Hall dans un délai spécifié, il peut supposer qu'il y a un problème et prendre les mesures appropriées, telles que l'extinction de l'électroaimant ou le déclenchement d'une condition d'erreur.*

*En implémentant ces suggestions, vous pouvez améliorer les performances de la boucle de régulation, l'immunité au bruit et les fonctionnalités de sécurité, ce qui se traduira par un contrôle de lévitation magnétique plus précis et fiable.*

J'admet que j'ai posé mes questions initiales après de longues discussions au cours desquelles j'ai dû apprendre à formuler mes questions d'une manière adaptée à l'IA de ChatGPT.

D'ailleurs, les réponses de ChatGPT étaient souvent interrompues brusquement. Lorsque je lui ai demandé de limiter la longueur de sa réponse, il m'a répondu par un "Oui plus 2048 caractères". C'est pourquoi j'ai également inclus dans ma requête des indices permettant de raccourcir la réponse de manière appropriée.

Toutefois, si l'on s'est un peu familiarisés avec les réactions du système, les résultats sont également très bons après avec des questions, des exigences et des instructions un peu plus complexes. Des demandes ciblées permettent d'ajouter d'autres fonctions plus détaillées.

Si le résultat semble incorrect d'un point de vue technique, il est intéressant de constater que la même question répétée plusieurs fois reçoit une réponse différente à chaque fois, ce qui se traduit par un code dont la structure est parfois complètement différente, mais qui est le plus souvent fonctionnel. Il est alors très utile, voire indispensable, d'au moins bien lire le code généré et de vérifier que toutes les exigences sont respectées. ChatGPT a vite fait d'omettre l'un ou l'autre aspect ! Vous pouvez remettre en question les suggestions de l'IA qui contredisent votre propre expertise technique et vos connaissances. Cela peut aussi vous permettre d'acquérir de nouvelles connaissances techniques. En résumé, l'utilisation de ChatGPT pour créer un programme basé sur la description d'un problème en langage naturel s'est avérée très utile dans ce cas. Il s'agit d'un outil réglable et contrôlable.

Même un développeur C++ peu expérimenté comme moi peut maintenant créer rapidement des parties de programmes plus complexes qui m'auraient pris beaucoup plus de temps auparavant. La documentation est désormais très simple. On peut même s'attendre à une sorte d'approfondissement du problème posé, qui ouvre l'horizon à des domaines relatifs inattendus, techniquement bien fondés et détaillés. Cependant : actuellement, l'IA, en particulier ChatGPT, est un outil utile, mais en aucun cas infaillible, pour le développeur amateur, et il a toujours besoin d'une intervention humaine ! Je suis très enthousiaste à l'idée de réaliser d'autres projets avec ce nouveau jeu de tournevis dans ma boîte à outils.

## Résoudre certains problèmes

Comme si mes conclusions avaient besoin d'une preuve supplémentaire : en testant le code généré, j'ai remarqué qu'il y avait deux problèmes dans le code. OK... demandons au service ce qu'il en pense !

### Corrigez deux problèmes.

1. *La valeur du capteur à effet Hall est toujours comparée à une valeur fixe sans hystérésis.*
2. *Ce code ne stocke pas correctement les valeurs dans le nv-ram de mon ESP32. Utilisez une autre méthode pour le stockage et la lecture.*

*Réécrivez le code ci-dessus de manière très compacte et en réduisant le nombre de commentaires, afin qu'il puisse être édité intégralement dans la réponse.*

ChatGPT a répondu "Apologies for the oversight" (!) et m'a renvoyé le code du **listage 3**.



### Listage 3. Code amélioré.

```
#include <Preferences.h>

const int magnetPin = 23;
const int hallSensorPin = 33;
const char* prefNamespace = "levitation";
const char* triggerKey = "trigger";
const char* hysteresisKey = "hysteresis";

float triggerValue = 2.4;
float hysteresisValue = 0.05;

Preferences preferences;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(magnetPin, OUTPUT);
    pinMode(hallSensorPin, INPUT);

    preferences.begin(prefNamespace, false);
    if (preferences.getBool("initialized", false)) {
        triggerValue =
            preferences.
        getFloat(triggerKey, triggerValue);
        hysteresisValue =
            preferences.getFloat(hysteresisKey,
                hysteresisValue);
    }
    else {
        preferences.putBool("initialized", true);
    }

    Serial.println("Magnetic Levitation Setup");
    Serial.println("Commands:");
    Serial.println("T - Increase trigger value");
    Serial.println("t - Decrease trigger value");
    Serial.println("H - Increase hysteresis value");
    Serial.println("h - Decrease hysteresis value");
    Serial.println(
        "S or s - Save trigger and hysteresis values");
    Serial.println();
    Serial.print("Trigger Value: ");
    Serial.println(triggerValue);
    Serial.print("Hysteresis Value: ");
    Serial.println(hysteresisValue);
}

void loop() {
    int hallSensorValue = analogRead(hallSensorPin);

    if (hallSensorValue > (triggerValue * 1023) &&
        digitalRead(magnetPin) == HIGH) {
        digitalWrite(magnetPin, LOW);
    }
}
```

```

else if (hallSensorValue <
    ((triggerValue - hysteresisValue) *
    1023) && digitalRead(magnetPin) == LOW)
{
    digitalWrite(magnetPin, HIGH);
}

if (Serial.available() > 0) {
    char command = Serial.read();
    if (command == 'T') {
        triggerValue += 0.01;
    } else if (command == 't') {
        triggerValue -= 0.01;
    } else if (command == 'H') {
        hysteresisValue += 0.01;
    } else if (command == 'h') {
        hysteresisValue -= 0.01;
    } else if (command == 'S' || command == 's') {
        preferences.putFloat(triggerKey,
            triggerValue);
        preferences.putFloat(hysteresisKey,
            hysteresisValue);
        preferences.end();
        Serial.println(
            "Trigger and hysteresis values saved.");
    }

    Serial.print("Trigger Value: ");
    Serial.println(triggerValue);
    Serial.print("Hysteresis Value: ");
    Serial.println(hysteresisValue);
}
}

```

*This version addresses the two issues mentioned:*

*The code now includes hysteresis in the comparison by checking the magnetPin state in both conditions. If the electromagnet is already in the desired state, the condition for turning it on or off is not evaluated.*

*Instead of using the EEPROM library, this code uses the Preferences library provided by the ESP32 core. The preferences are stored in the non-volatile memory of the ESP32 using the Preferences API. The values are saved when the 'S' or 's' command is received and are read from the memory during setup. The preferences namespace and keys are specified for the levitation setup to avoid conflicts with other preferences.*

Eh bien, cela fonctionne très bien maintenant. Pendant les tests, cependant, j'ai découvert un autre petit problème ! Mais maintenant, dans ce stade amélioré, j'en suis venu à la conclusion que ce projet de logiciel devrait également rester inachevé. J'ai donc mis fin à la discussion et j'ai pris un café avec ma femme. ↗

230360-04



### À propos de l'auteur

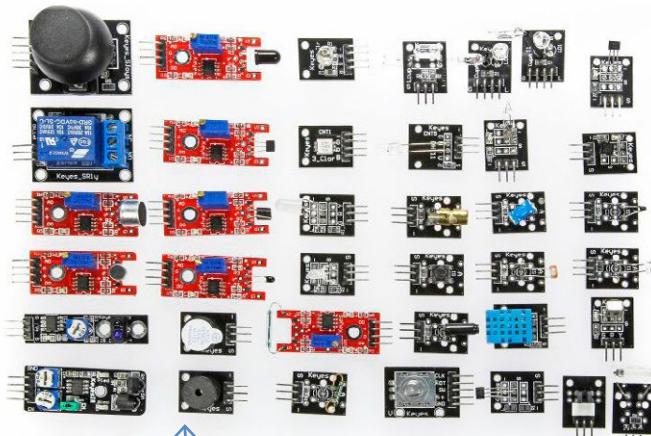
Pendant plus de 40 ans, Peter Neufeld a été chargé de superviser les systèmes informatiques, électriques, de contrôle des bâtiments, et des systèmes de communication d'autres personnes.

Aujourd'hui, il consacre du temps à réaliser des applications pratiques de l'électronique classique et des projets avec des microcontrôleurs modernes.

Il a décrit certains de ces projets sur la plateforme Elektor Labs ou sur son blog.

### Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

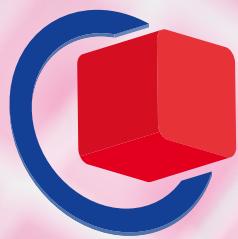


### Produit

➤ 37-en-1 capteurs d'Elektor  
[www.elektor.fr/16843](http://www.elektor.fr/16843)

## LIENS

- [1] Peter Neufeld, " lévitation magnétique, version numérique " Elektor 9-10/2021 :  
<https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-184/59887>
- [2] "Magnetic Levitation - The Digital Way," Elektor Labs : <https://elektormagazine.fr/labs/magnetic-levitation-the-digital-way>
- [3] MagLev sur PeterNeufeld.wordpress.com : <https://peterneufeld.wordpress.com/category/magnetic-levitation>
- [4] ChatGPT : <https://chat.openai.com>



# embeddedworld

Exhibition & Conference



CONNECTING THE  
EMBEDDED COMMUNITY  
9–11.4.2024

Get your  
free ticket now!

[embedded-world.de/codes](https://embedded-world.de/codes)  
Use the voucher code **ew24ELE**



#### Media partners

Markt&Technik

Elektronik  
automotive

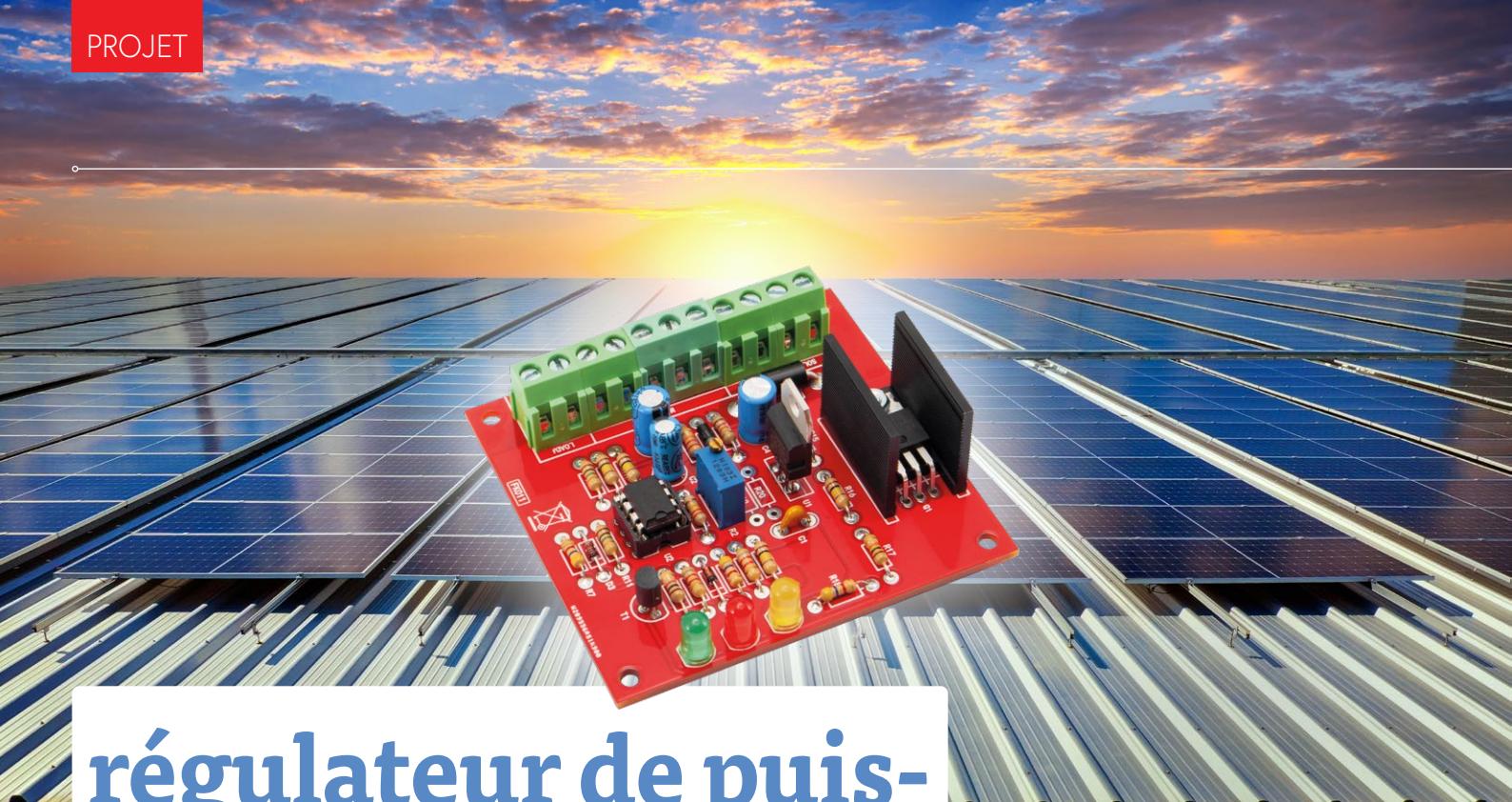
Elektronik

Elektronik  
medical

computer &  
automation

elektroniknet.de

NÜRNBERG MESSE



Source : Freepik/tawatchai07

# régulateur de puissance PV simple

Réalisez votre premier système de gestion de l'énergie photovoltaïque entièrement fonctionnel

**Boris Landoni (Italie)**

Vous souhaitez depuis longtemps vous lancer dans un système complet de gestion de l'énergie, mais comme vous hésitez devant la complexité des conceptions existantes, en voici une pour commencer : simple, mais complète avec tout le nécessaire. On y trouve un contrôleur de charge de batterie et un régulateur de tension du côté de la charge.

Pour réaliser un bon système électrique solaire, il ne suffit pas d'un panneau photovoltaïque (PV) avec ou sans régulateur de tension, il faut aussi une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie pendant les heures de clarté et la restituer lorsqu'il n'y a plus assez de luminosité, voire plus du tout à la tombée de la nuit. La plupart des appareils alimentés par des panneaux PV doivent pouvoir fonctionner de manière stable, indépendamment de la présence de la lumière du soleil et du niveau d'irradiation, de sorte que la batterie (que nous appelons aujourd'hui « accumulateur ») est

évidemment nécessaire pour fournir de l'énergie lorsque le panneau n'en fournit plus. En outre, les batteries sont souvent indispensables pour une raison un peu moins intuitive mais réelle : comme elles peuvent stocker une certaine quantité d'énergie, plus ou moins grande selon leurs caractéristiques, elles peuvent fournir des courants bien plus élevés que ceux demandés aux panneaux solaires, tout en étant chargées par ces derniers. Pour donner un exemple, un panneau solaire capable de fournir un courant de 1 A ne pourra pas, à lui seul, alimenter un appareil

**Elettronica In**  
ELETTRONICA APPLICATA

qui consomme un courant plus élevé, par ex. 2 A. Toutefois, si une batterie de secours capable de fournir des courants plus élevés est connectée à ce circuit, le problème ne se pose pas : le panneau PV fournira toujours un courant de 1 A, tandis que la batterie fournira (pendant la décharge) les 1 A « manquants », si bien que la charge connectée sera alimentée correctement à 2 A. Il est clair que, dans ce cas, on ne peut pas s'attendre à ce que le dispositif alimenté fonctionne indéfiniment, puisque le courant fourni par le panneau solaire est inférieur au courant consommé par la charge. Par conséquent, dans ces conditions, l'autonomie du système dépendra de la capacité de la batterie. Pour revenir à l'exemple précédent, dans les conditions de fonctionnement décrites, une batterie de 13 Ah permettra au système de fonctionner pendant une durée (théorique) de 13 heures. En fin de compte, pour qu'un tel système soit stable et capable d'alimenter une charge en permanence, la taille du panneau PV, la capacité de la batterie et la charge prélevée devront être soigneusement évaluées au stade de la conception.

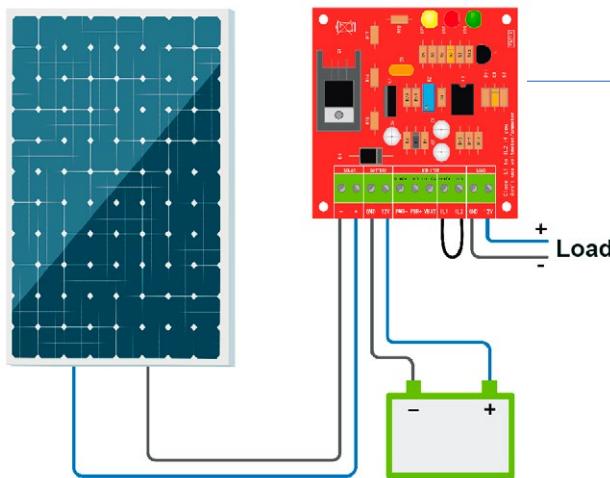


Figure 1. Câblage global du régulateur de puissance PV. Le régulateur arrête la charge lorsque la batterie est complètement chargée.

Ce projet, dont la **figure 1** illustre le schéma de câblage de base, ne se contente pas de réguler la charge de la batterie, en la maintenant lorsqu'elle atteint sa tension limite, mais gère également la charge, en connectant la batterie lorsque sa tension est suffisamment élevée pour faire fonctionner la charge en aval, et en la déconnectant lorsque sa tension devient trop faible. En résumé, notre

régulateur de charge est un gestionnaire de puissance complet pour le fonctionnement d'un système de panneaux solaires PV, et peut fonctionner en commandant des charges dont le courant total ne dépasse pas 5 A, valeur qu'il est possible d'augmenter en remplaçant simplement la diode D4 par un autre type de diode avec des courants nominaux plus élevés.

La conception du circuit, illustrée à la **figure 2**, consiste, en résumé, en un régulateur de courant composé d'un circuit comparateur et d'un MOSFET (Q1) qui absorbe le courant excédentaire ; en complément, un comparateur permet de connecter ou déconnecter le panneau et la batterie lorsque cette dernière a atteint sa pleine charge.

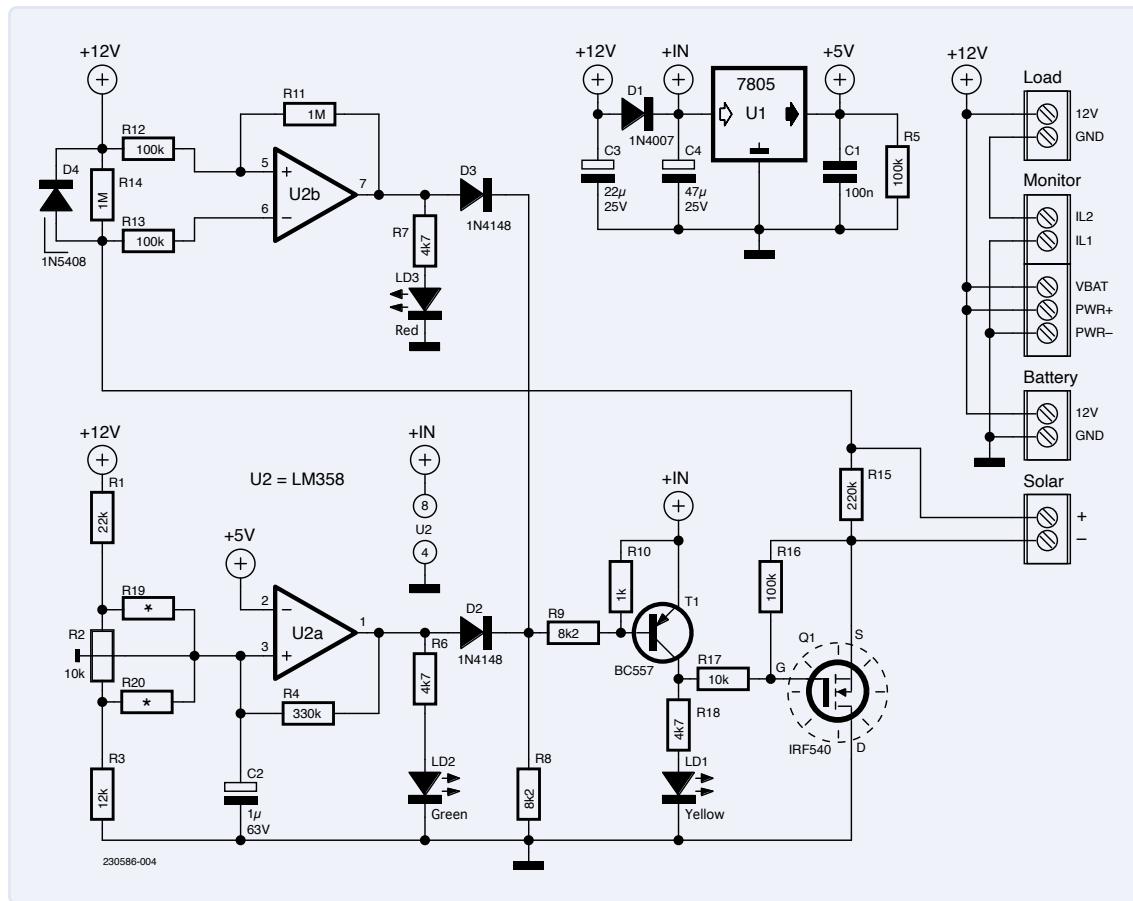


Figure 2.  
Schéma du circuit.

## Schéma du circuit

Pour que le MOSFET conduise, il faut appliquer une tension positive à sa grille, c'est-à-dire faire conduire le transistor T1 qui, à son tour, commande Q1. Lorsque T1 et le MOSFET sont conducteurs, la LED jaune LD1 s'allume, ce qui indique que le panneau solaire charge la batterie. Le transistor T1 (un BC557 de type PNP) est normalement ON car sa base est reliée à la masse via les résistances R8 et R9. Pour arrêter la conduction, il faut que l'une des sorties des deux amplificateurs opérationnels soit au niveau haut, niveau alors appliquée à la base de T1 par l'intermédiaire des diodes D2 et D3. Voyons à quel moment cela se produit en étudiant d'abord le circuit relatif au premier ampli-op (U2a). La tension de 5 V fournie par le régulateur U1 est appliquée à l'entrée inverseuse (broche 2) de cet ampli-op, tandis qu'une partie de la tension présente aux bornes de la batterie est appliquée à l'entrée non inverseuse (broche 3) par l'intermédiaire du trimmer R2. Lorsque cette tension dépasse celle appliquée sur la broche 2, la sortie de l'ampli-op (normalement au niveau bas) passe au niveau haut, amenant T1 à l'état OFF et bloquant le MOSFET, activant en même temps la LED verte LD2. Le trimmer R2 doit bien sûr être réglé de manière à provoquer la commutation lorsque la tension de la batterie atteint un niveau de 14,2...14,4 V (typique d'une batterie au plomb entièrement chargée).

La résistance R4 introduit une légère hystérésis, pour modifier le seuil de commutation et éviter que l'ampli-op ne se mette à osciller. En pratique, pour que l'ampli-op passe du niveau bas au niveau haut, il faut que la batterie atteigne une tension de 14,4 V, alors qu'elle doit redescendre à 13,5 V pour que l'ampli-op repasse du niveau haut au niveau bas. Cet étage arrête donc le flux de courant lorsque la batterie est complètement chargée. Voyons maintenant ce qui se passe du côté de l'autre ampli-op, dont la sortie est haute lorsque la tension du panneau PV est inférieure à celle de la batterie ; dans ce cas, la LED rouge LD3 s'éclaire et le MOSFET se bloque. Inversement, lorsque le panneau PV est touché par la lumière du soleil et que sa tension est suffisamment élevée pour charger la batterie, la LED est éteinte et le MOSFET est activé.

En résumé, la LED jaune (LD1) indique que le panneau PV charge la batterie, la LED rouge (LD3) signale que l'ensoleillement est insuffisant pour activer le circuit de charge, et enfin la LED verte (LD2) signale que la batterie est

entièrement chargée. Ce régulateur de charge peut être utilisé avec des panneaux PV qui délivrent un courant maximum de 3 à 5 A. On peut augmenter la gamme en montant pour D4 une diode de courant direct plus élevé, jusqu'à 10 ou 20 A. Le régulateur à trois bornes U1, assisté par le condensateur de filtrage C1 et la diode de protection D1, permet de fournir une tension stabilisée à la broche d'entrée inverseuse de l'ampli-op U2a ; la partie du circuit qui doit se charger de la détection de l'état de charge de la batterie, en revanche, est alimentée en amont, c'est-à-dire par la tension entre la cathode de la diode D1 et la masse. À ce stade, il convient d'expliquer la fonction du bornier MONITOR que vous voyez sur le côté droit du schéma : il a été prévu pour permettre l'insertion dans le circuit d'un compteur d'énergie du commerce, afin d'afficher sur un écran la tension et le courant fournis par la batterie à la charge. Dans ce cas précis, après plusieurs essais, nous avons opté pour le produit EPT33V3AOLED [1], un petit compteur à panneau avec un écran OLED bleu. Il est capable d'afficher un certain nombre de paramètres électriques, tels que la tension, le courant, la puissance, la consommation électrique, la capacité, la température ambiante et l'heure. Ce module est fourni avec les fils déjà insérés dans les connecteurs de son PCB visibles à l'arrière, et dont l'affectation est détaillée dans le **tableau 1**.

L'ajout de ce dispositif de mesure n'est pas strictement indispensable, mais c'est un accessoire utile. Selon qu'il est branché ou non, les connexions du bornier MONITOR changent. Si vous le branchez dans le circuit, connectez les contacts du bornier MONITOR ainsi :

- 2 : (PWR+) au fil rouge fin (+Vcc) du compteur
- 3 : (VBAT, qui est connecté à PWR+) au fil jaune du compteur

- 4 : (IL1) au fil noir épais du compteur (shunt)
- 5 : (IL2) au fil rouge épais du compteur (shunt)

Le tout selon le schéma de connexion que propose la figure 2. Si, en revanche, vous ne souhaitez pas ajouter ce compteur, il faut utiliser le schéma de connexion de la figure 1, qui représente l'installation de base du système ; vous devez alors ponter les bornes IL1 et IL2 pour fermer le circuit d'alimentation de la charge (sortie LOAD) du côté de la terre. Comme alternative à l'instrument proposé ici, vous pouvez toujours utiliser n'importe quel module de mesure de l'énergie en courant continu disponible dans le commerce.

## Réalisation pratique

Nous passons maintenant à la construction du circuit, pour lequel un PCB particulièrement petit a été conçu et dont les fichiers peuvent être téléchargés à partir de [1]. Lorsque vous l'avez, montez-y les résistances et les diodes. En insérant les diodes, n'oubliez pas que la borne située près de la bande colorée est la cathode. Installez et soudez le support à 8 broches pour le double ampli-op, puis les deux trimmers et le transistor T1, en n'oubliant pas d'orienter ce dernier (son côté plat doit être face à la résistance R10) conformément au plan de montage visible sur ces pages. C'est ensuite au tour des condensateurs, en commençant par les non polarisés et en respectant la polarité indiquée pour les condensateurs électrolytiques. Montez le MOSFET de puissance, dont la face métallique doit s'appuyer sur un petit dissipateur thermique en U assez courant de type ML-026 - après avoir appliqué de la pâte thermique à base de silicium - et en le fixant au dissipateur thermique au moyen d'une vis M3 et de son écrou. Le régulateur U1, quant à lui, doit être monté vertical, avec la face métallique tournée

**Tableau 1. Câblage du module d'affichage du compteur d'énergie.**

Fil	Bornier à vis du circuit imprimé	Fonction
Rouge (fin)	+Vcc	Alimentation positive du module
Noir (fin)	GND	Alimentation négative du module
Jaune	Vin	Entrée de mesure de tension
Rouge (épais)	I+	Entrée de mesure de courant
Noir (épais)	I-	Sortie de mesure de courant

## Dimensionnement du système

Lorsque les panneaux solaires et les batteries doivent être adaptés au circuit, il faut prendre en compte certaines considérations. Tout d'abord, il est nécessaire de connaître la consommation globale de la charge. Pour donner un exemple, supposons que nous éclairons une pièce avec quatre lampes LED de 12 V / 10 W avec un fonctionnement continu de 4 heures, ce qui signifie une puissance instantanée de 40 W et une consommation d'énergie de 0,16 kWh en 4 heures. À ce stade, nous pouvons dimensionner la batterie de 12 V qui, dans ce cas, devrait avoir une capacité d'au moins  $160 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 13,3 \text{ Ah}$ . En pratique, pour disposer d'une réserve de puissance, il est conseillé d'utiliser une batterie d'une capacité au moins deux fois supérieure.

Il faut maintenant choisir le type de panneau nécessaire pour recharger la batterie : c'est là qu'entre en jeu un paramètre appelé ESH (Equivalent Sun Hours). Ce paramètre indique quel est, en moyenne, le nombre d'heures d'ensoleillement au cours desquelles l'irradiation maximale est atteinte, pour chaque zone de notre pays. En général, ce chiffre se réfère à la période hivernale : celui de l'été est obtenu en le doublant. Dans le cas de l'Italie, la valeur ESH se situe entre 1,5 et 3 ; cela signifie que dans le nord de l'Italie, nos panneaux fonctionneront à pleine puissance en moyenne pendant 1,5 heure par jour en hiver et 3 heures en été, tandis que dans le sud, nous aurons 3 heures de fonctionnement à puissance maximale en hiver et 6 heures en été. En considérant une valeur moyenne de 3 heures pour sept jours et en tenant compte du fait que nous aurons besoin d'environ 180 Wh pour chaque week-end, notre panneau devrait pouvoir fournir une puissance maximale d'environ 8,5 W (180 Wh : 7 jours x 3 heures d'ESH). En raison des considérations ci-dessus, il est conseillé d'envisager une puissance maximale au moins deux fois plus élevée. Dans notre cas, nous avons utilisé deux panneaux de 12 W chacun pour un total de 24 W.

Il ne reste plus qu'à choisir le type de panneau PV parmi ceux disponibles dans le commerce : amorphe ou cristallin. Les panneaux du premier type ont un rendement nettement inférieur (environ 5...6 %) mais fonctionnent bien même en cas de faible luminosité, tandis que les panneaux cristallins, s'ils ne sont pas bien éclairés, ne délivrent pas même un seul mA ! Le coût/W étant très similaire, il est conseillé d'utiliser des panneaux du premier type dans le Nord, tandis que dans le Sud, les panneaux monocristallins ou polycristallins donnent de bien meilleurs résultats. Ces derniers, qui présentent un meilleur rendement, sont également indiqués en cas de problèmes d'encombrement.

En mettant en pratique ces concepts simples, nous serons en mesure de modifier les caractéristiques du système à volonté. À ce stade, après les panneaux et la batterie, nous devons consacrer quelques mots à un autre composant indispensable à la réalisation d'un véritable système : le régulateur de charge. Ce circuit surveille le niveau de charge de la batterie et, lorsque celle-ci est complètement chargée, il coupe la connexion avec les panneaux. Cela permet d'éviter la surchauffe de l'accumulateur et la réduction conséquente du nombre de ses cycles de travail. Bien entendu, dès que le niveau de la batterie descend en dessous d'une valeur déterminée, le circuit rétablit la connexion avec les panneaux.

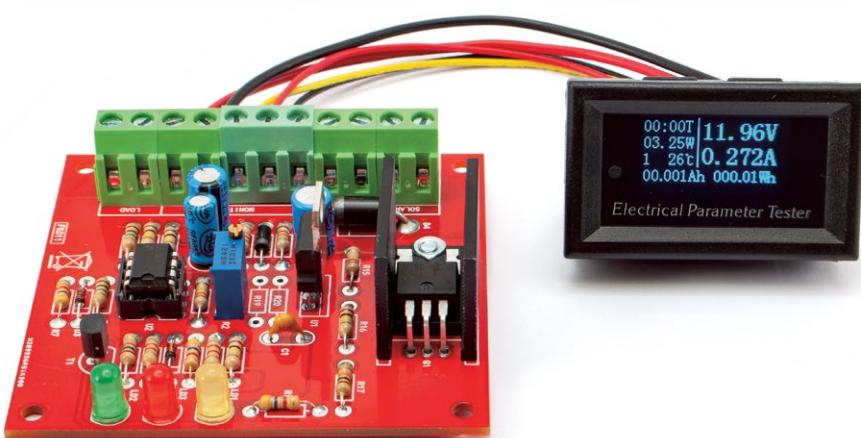


Figure 3. Le prototype équipé du compteur d'énergie.

vers le dissipateur de chaleur du MOSFET. Ceci fait, le circuit est prêt ; montez le circuit intégré U2 dans son socle, en prenant soin de l'introduire avec le repère du côté indiqué dans le plan de montage, et vérifiez qu'aucune broche n'a été pliée pendant l'opération, puis jetez un coup d'œil général sur le circuit pour vérifier si tout est en ordre. L'appareil est alors prêt à l'emploi (**figure 3**). La carte comporte un bornier vers lequel convergent toutes les connexions ; vous devrez utiliser des cosses solides qu'il faudra souder aux points marqués SOLAR+ et -, BATTERY+ et -(12 V), et LOAD+ et -. Aux bornes SOLAIRE+ et -, il faut connecter respectivement les bornes positives et négatives du panneau solaire, en utilisant un fil de calibre approprié (en moyenne 1 mm<sup>2</sup> pour 2,5 A) ; l'accumulateur doit être connecté aux contacts BATTERIE + et -, en respectant la polarité indiquée et en utilisant un fil de 1 mm<sup>2</sup> pour chaque 2,5 A de courant. Les mêmes considérations s'appliquent aux fils électriques que vous devez utiliser pour connecter l'appareil souhaité aux points LOAD + et - de la carte électronique. La **figure 4** montre le câblage complet du système.

La vérification du fonctionnement et de l'étalonnage du circuit peut se faire sur le banc. Pour ce faire, sans connecter ni la batterie ni le(s) panneau(x) PV, connectez une alimentation capable de délivrer une tension continue d'exactement 14,4 V, à la place de la batterie. Dans cet état, la LED rouge LD3 doit être allumée, car la tension du panneau (qui n'existe pas) est nulle. L'étage correspondant inhibe le fonctionnement du MOSFET, de sorte que la LED jaune LD1 est forcément éteinte. En revanche, la LED verte peut être allumée ou éteinte, selon le réglage du trimmer R2. Si la LED est allumée, tournez le curseur à vis du trimmer R2 jusqu'à ce que la LED s'éteigne, puis tournez lentement le curseur dans la direction opposée jusqu'à ce qu'elle se rallume. Si en revanche la LED est déjà éteinte, tournez la vis R2 jusqu'à ce qu'elle s'allume. Branchez maintenant la batterie et utilisez le bloc d'alimentation au lieu du panneau solaire, en connectant le positif et le négatif aux bornes SOLAR + et -, respectivement. Augmentez progressivement la tension jusqu'à ce que la LED rouge s'éteigne et que la LED jaune s'allume. Cette dernière ne s'allumera pas si la LED verte est aussi allumée. L'alimentation utilisée pour ce test doit être équipée d'une protection de courant afin d'éviter un courant de charge excessif (la protection doit

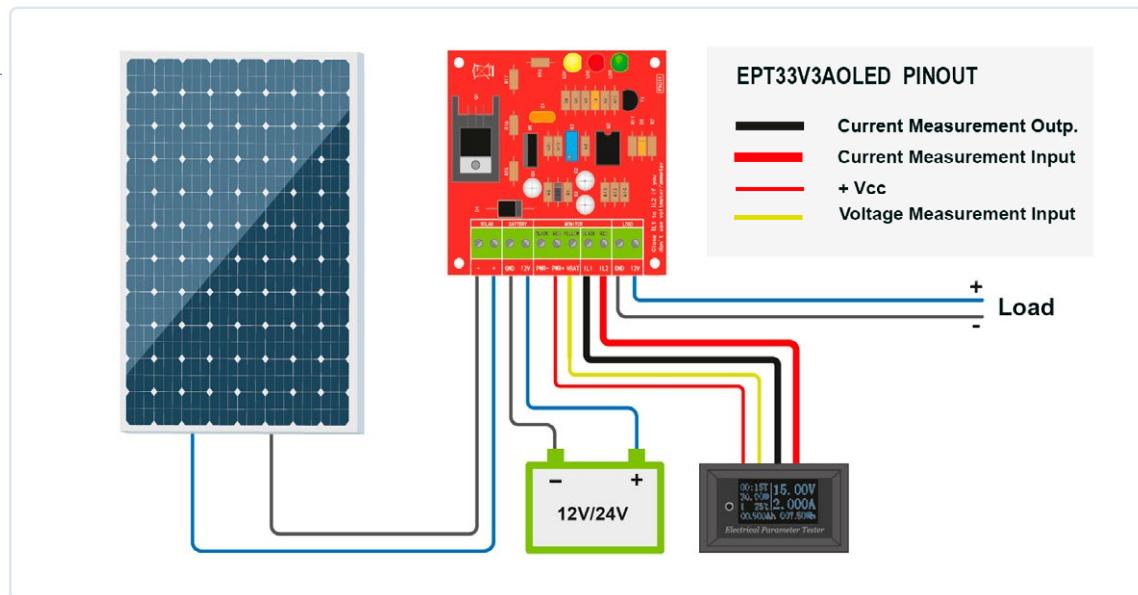
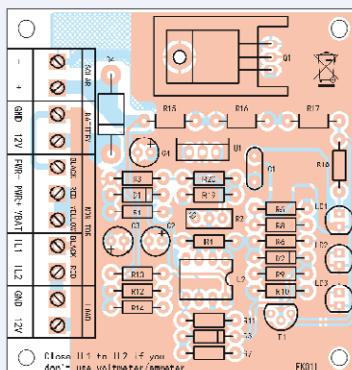
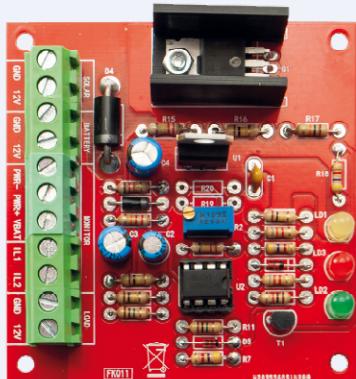


Figure 4.  
Câblage du régulateur de puissance PV avec le compteur d'énergie.



## Liste des composants



### Résistances

R1 = 22 kΩ  
 R2 = 10 kΩ trimmer multitour  
 R3 = 12 kΩ  
 R4 = 330 kΩ  
 R5, R12, R13, R16 = 100 kΩ  
 R6, R7, R18 = 4,7 kΩ  
 R8, R9 = 8,2 kΩ  
 R10 = 1 kΩ  
 R11, R14 = 1 MΩ  
 R15 = 220 kΩ  
 R17 = 10 kΩ  
 R19, R20 = Voir le texte.

### Condensateurs

C1 = 100 nF, céramique  
 C2 = 1 µF, 63 V, électrolytique  
 C3 = 22 µF, 25 V, électrolytique  
 C4 = 47 µF, 25 V, électrolytique

### Semi-conducteurs

D1 = 1N4007  
 D2, D3 = 1N4148  
 D4 = 1N5408  
 LD1 = LED, jaune, 5 mm  
 LD2 = LED, verte, 5 mm  
 LD3 = LED, rouge, 5 mm  
 U1 = 7805  
 U2 = LM358  
 T1 = BC557  
 Q1 = IRF540

### Divers

Support IC DIL à 4+4 broches  
 Dissipateur ML26  
 1x vis M3 x 10 mm  
 1x écrou M3  
 4x Bornier à vis, 2 pôles, pas de 5 mm  
 1x bornier à vis, 3 pôles, pas de 5 mm  
 PCB (69x72 mm)

être réglée sur 1-2 A). Enfin, n'oubliez pas d'utiliser des câbles d'un diamètre adéquat pour les courants en jeu, afin de minimiser les pertes dues au câblage électrique.

Cette conception peut gérer la charge d'un panneau PV et alimenter directement tous les appareils fonctionnant en 12 V CC. Dans le cas d'un équipement fonctionnant en 230 V CA, il faudra utiliser des onduleurs qui fourniront à partir du 12 V CC un courant alternatif propre à alimenter des appareils électriques destinés à fonctionner à partir de la tension du réseau. Si vos appareils sont sensibles à la forme d'onde ou aux interférences radio, nous vous conseillons de choisir des onduleurs à onde sinusoïdale pure, plutôt que les onduleurs traditionnels (et aujourd'hui quelque peu dépassés) à simple onde carrée.

Rappelons que les tensions de la batterie et du panneau solaire doivent être compatibles. En clair, si le panneau fournit 12...20 V (l'excursion typique d'un panneau nominal de 12 V), il faut utiliser une batterie de 12 V ; la capacité doit être en rapport avec le courant que le panneau peut fournir et le temps pendant lequel il pourra le faire, car il ne sert à rien de prendre des batteries de grande capacité si elles ne seront jamais complètement chargées en cours d'utilisation.

### Quelques conseils finaux

Le projet proposé ici est un système complet de gestion de l'énergie pour un petit système PV, avec stockage de l'énergie au moyen d'une batterie de 12 V. Associé à un ou plusieurs panneaux PV et à une batterie, il permet d'assurer l'autonomie énergétique d'un système électrique de petite puissance en

courant continu ou, en ajoutant un onduleur 12 V CC / 230 V CA, en courant alternatif. Quant à la possibilité de connecter deux ou plusieurs panneaux solaires en parallèle, signalons que pour compenser les différences de tension entre eux, il est conseillé de placer une diode de puissance en série avec chaque panneau, capable de supporter une valeur de

courant ( $I_f$ ) supérieure à la valeur maximale pouvant être fournie par chaque panneau. Nous suggérons de connecter la diode sur le fil positif de chaque panneau, avec l'anode vers le fil + et la cathode sur la borne SOLAR +. Les fils négatifs doivent être connectés en parallèle sur la borne SOLAR -. 

VF : Denis Lafourcade — 230586-04

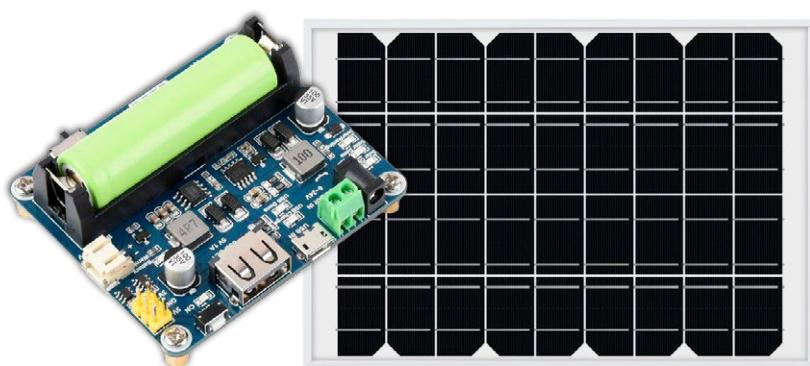
## Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



### À propos de l'auteur

Boris Landoni est un expert en électronique et un véritable passionné dans ce domaine. Sa passion l'a conduit à devenir directeur général d'*Elettronica In*, le magazine d'électronique le plus populaire d'Italie. Il est également le commissaire d'open-electronics.org, une plateforme dédiée aux projets open-source qui réunit des passionnés et des professionnels. Il est également directeur technique de Futura Elettronica, une entreprise leader dans la fourniture de composants électroniques pour le monde des makers et des professionnels.



### Produits

➤ Panneau solaire Waveshare en polysilicium (18 V, 10 W) (SKU 20489) [www.elektor.fr/20489](http://www.elektor.fr/20489)

➤ Module de gestion de l'énergie solaire Waveshare (SKU 20488) [www.elektor.fr/20488](http://www.elektor.fr/20488)

### LIEN

[1] Téléchargements pour cet article : <https://elektormagazine.fr/230586-04>



**WÜRTH  
ELEKTRONIK**  
MORE THAN  
YOU EXPECT

**WE are here for you!**

Join our free webinars on:  
[www.we-online.com/webinars](http://www.we-online.com/webinars)

**Adrastea-I is a Cellular Module with High Performance, Ultra-Low Power Consumption, Multi-Band LTE-M and NB-IoT Module.**

Despite its compact size, the module has integrated GNSS, integrated ARM Cortex M4 and 1MB Flash reserved for user application development. The module is based on the high-performance Sony Altair ALT1250 chipset. The Adrastea-I module, certified by Deutsche Telekom, enables rapid integration into end products without additional industry-specific certification (GCF) or operator approval. Provided that a Deutsche Telekom IoT connectivity (SIM card) is used. For all other operators the module offers the industry-specific certification (GCF) already.

[www.we-online.com/gocellular](http://www.we-online.com/gocellular)

- Small form factor
- Security and encryption
- Long range/wordwide coverage
- Multi-band support

#GOCELLULAR



# les composants à cathode froide

David Ashton (Australie)

Les composants à cathode froide constituent un type de composant à décharge qui utilise un gaz à basse pression pour produire de la lumière. Le composant à cathode froide le plus simple est la lampe au néon, souvent utilisée comme voyant lumineux. Parmi les autres composants à cathode froide courants, on peut citer les enseignes au néon, les tubes régulateurs de tension et les suppresseurs de surtension à décharge.

Lorsque deux électrodes sont placées dans un tube en verre remplie de néon à basse pression ou d'un autre gaz, et qu'une tension suffisante est appliquée aux électrodes, le gaz s'ionise à un moment donné et le gaz autour de l'électrode négative (ou cathode) s'illumine. Ce sera en orange pour le néon et en d'autres couleurs pour d'autres gaz. Ces composants sont appelés "cathodes froides" parce que la cathode n'est pas chauffée, contrairement aux tubes à vide ("Mais, c'est quoi un tube à vide ?"). Une multitude d'appareils ont été conçus à partir de cet effet, et j'en citerai quelques-uns ici.

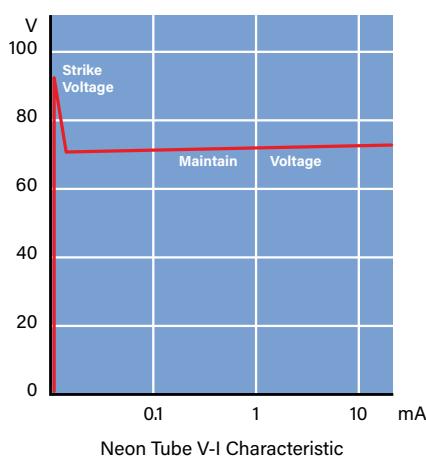


Figure 1. Caractéristiques typiques d'un tube au néon V-I.

Le composant à cathode froide le plus simple est la lampe au néon. Ces lampes (et les ampoules à incandescence pour les tensions plus faibles) étaient utilisées massivement à l'époque où les LED n'existaient pas encore. Elles s'ionisent à une tension d'environ 90 V (tension d'"amorçage" ou de "déclenchement") et, une fois ionisées, continuent de briller à une tension d'environ 65 V (tension de "maintien"). Cette différence implique une région de résistance négative dans la courbe du dispositif (figure 1) et on peut construire un oscillateur de relaxation avec une lampe au néon, une résistance et un condensateur (figure 2). De plus, en raison de la caractéristique de résistance négative, si vous voulez utiliser une lampe au néon comme voyant de puissance du secteur, vous devez mettre une

résistance en série avec elle – généralement 220 kΩ est utilisé à 220 V CA - si le courant n'est pas limité, la lampe aura une durée de vie très courte. Les lampes au néon ont des électrodes symétriques et, lorsque vous les utilisez en courant alternatif, les deux électrodes s'allument (figure 3).

Les fameux enseignes au néon, que l'on voit dans des endroits tels que Piccadilly Circus et Times Square, utilisent le même effet. Un tube façonné contenant du néon ou un autre gaz est utilisé, parfois avec une petite quantité de mercure, et diverses couleurs peuvent être produites. Il est possible d'obtenir encore plus de couleurs en appliquant une couche de phosphore fluorescent à l'intérieur du verre. Ces longs tubes ont besoin d'environ 30 000 V pour s'allumer.

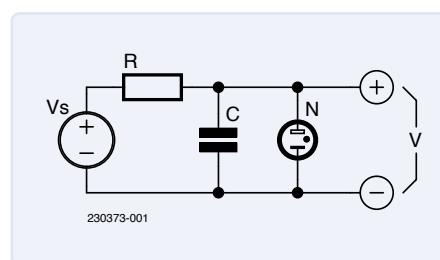


Figure 2. Oscillateur de relaxation avec une lampe au néon.



Figure 3. Lampes au néon alimentées en courant continu en inversant les polarités, et en courant alternatif CA, respectivement. Source : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neonlamp3.JPG>, "Neonlamp3," <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



Figure 4. Tube Nixie avec la cathode « 4 » allumée. Généralement, un filtre rouge ou orange est utilisé pour améliorer le contraste. Source : Georg-Johann Lay with a slight edit by Richard Bartz ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZM1210-operating\\_edit2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZM1210-operating_edit2.jpg)), "ZM1210-operating edit2," <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



Figure 5. Tube à éclats. L'électrode de déclenchement est le fil du milieu, relié à deux bandes situées à l'extérieur du verre. Source : Jaycar Electronics (Australia). Utilisé avec permission.

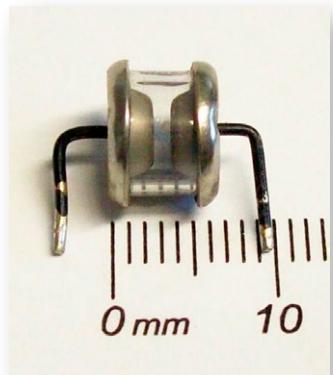


Figure 6. Limiteur de surtension à décharge de gaz. Source : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gasableiter.jpg>

Les tubes régulateurs de tension datent également de l'époque des anciens tubes à vide. Il s'agissait de tubes au néon spécialement construits (généralement avec d'autres gaz) qui maintenaient une tension très constante à travers eux une fois qu'ils avaient été "amorcés". Les modèles les plus répandus étaient les OA2 (150 V), OB2 (106 V) et 85A2 (85 V). Ces composants étaient les équivalents des diodes Zener de l'ère des tubes à vide. Les courants de fonctionnement variaient de 1 à environ 40 mA. Les tubes Nixie (figure 4) sont encore très populaires de nos jours. Ces précurseurs des afficheurs à sept segments aujourd'hui omniprésents n'étaient que des tubes au néon réhabilités, mais, avec dix cathodes, chacune ayant la forme d'un chiffre. Ils donnaient des affichages très naturels, et certains (y compris moi) les trouvent beaux et préférables aux afficheurs modernes.

Les tubes à éclats (figure 5), utilisés dans les flashes des appareils photo et les lampes stroboscopiques, sont encore très répandus aujourd'hui. Ils sont principalement remplis de gaz xénon. Ils comportent deux électrodes principales et une électrode de déclenchement plus petite, située à proximité de l'une des électrodes principales ou des deux. Si

l'on applique quelques centaines de volts aux électrodes principales, une impulsion haute tension appliquée à l'électrode de déclenchement provoque l'ionisation du gaz entre les deux électrodes principales, ce qui produit le flash blanc lumineux que nous connaissons et aimons tous...

Le limiteur de surtension à décharge de gaz est un autre composant largement utilisé (figure 6). Il s'agit de composants à deux ou trois bornes, chacun consistant en un tube de verre ou de céramique avec une électrode à chaque extrémité et une au milieu. L'électrode centrale est généralement mise à la masse, et les deux électrodes extérieures sont connectées, par exemple, à une ligne téléphonique. Toute tension supérieure à la tension de claquage provoque le déclenchement du composant et limite la tension en cas de surtension.

Il existe des multitudes d'autres composants à cathode froide. Les lampes fluorescentes utilisent généralement une cathode chauffée, bien qu'il existe des types à cathodes froides, notamment celles utilisées pour le rétroéclairage des écrans de téléphone. Autrefois, on utilisait des redresseurs à arc de mercure pour le redressement du courant alternatif, et les thyratrons sont le précurseur des thyristors d'aujourd'hui. Les dékatrons étaient des tubes de comptage utilisés pour le comptage par dix, bien avant que les 7490 et 4017 ne soient que des faibles lueurs dans les yeux de leurs inventeurs respectifs. Mais ces composants pourraient faire l'objet d'un article à part entière (espérons-le). 

230373-04

## À propos de l'auteur

David Ashton est né à Londres, a grandi en Rhodésie (aujourd'hui Zimbabwe), a vécu et travaillé au Zimbabwe et vit aujourd'hui en Australie. Il s'intéresse à l'électronique depuis qu'il est haut comme trois pommes. La Rhodésie n'étant pas le centre du monde de l'électronique, l'adaptation, la substitution et la recherche de composants ont été des compétences qu'il a acquises très tôt (et dont il est toujours fier). Il a dirigé un labo d'électronique, tout en travaillant principalement dans le domaine des télécommunications.

## Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

## zone D

Astuces, bonnes pratiques et autres informations pertinentes

# sur le vif

nostalgie

Ilse Joostens (Belgique)



Jack Thayer, rescapé du Titanic, se désespérait de vivre dans un monde qui évoluait de plus en plus vite mais n'apportait pas plus de paix, de satisfaction et de bonheur à l'humanité. Un siècle plus tard, le gigantesque mixeur dans lequel notre société semble plongée paraît lui aussi tourner de plus en plus vite. Nous travaillons dur, sommes plus productifs et visons la réussite. Vous n'êtes pas surbooké ? Vous êtes soit paresseux, soit suspect, voire les deux. C'est la course au « toujours plus » – et elle tend à nous rendre moins fraternels.



Source : Shutterstock /  
Miljan Zivkovic

Il m'arrive heureusement de tomber sur des lieux où le temps semble s'être arrêté. Ces endroits me reposent du remue-ménage ambiant et, prise de nostalgie, je me remémore alors le passé, même s'il ne reflétait pas forcément une époque meilleure.

### Nostalgie en boîte

Je suis un jour tombée sur une annonce en ligne proposant un lot de tubes Nixie. Le vendeur n'avait guère confiance dans le service postal, aussi avions-nous convenu que je viendrais en personne récupérer les tubes. Ce n'était pas à côté, et le trajet fut fatigant. L'homme qui m'ouvrit la porte, appelons-le Robert [1], était un monsieur âgé. Lui et son épouse m'invitèrent en toute simplicité à entrer chez eux et à partager un café et quelques biscuits traditionnels. La décoration intérieure était typique des années 1980. Nous bavardâmes un moment, jusqu'à ce que, je ne sais trop comment, apparaissent deux boîtes de biscuits sur la table. Robert les ouvrit, et je vis qu'elles étaient emplies à ras bord de tubes Nixie japonais. Tous étaient emballés dans des sacs en plastiques dûment étiquetés – un vrai trésor aux yeux de tout amateur d'électronique *vintage*. Autre surprise, le brochage de certains tubes était inscrit au dos de publicités pour de la pierre à sel. Robert m'avoua que des problèmes de vue l'empêchait désormais de poursuivre son hobby, raison pour laquelle il se séparait de ses tubes.

Il me conduisit ensuite à son labo, installé dans un abri de jardin construit derrière la maison – la Belgique est le pays des abris de jardin et du pot-au-feu [2]. S'y trouvait un meuble contenant des instruments de mesure conçus par Robert, des rayonnages logeant plusieurs volumes annuels d'*Elektuur* et d'*Elex*, et, bien sûr, des boîtes de biscuits renfermant toutes sortes de composants. Nulle trace toutefois de microcontrôleurs ou autres CMS modernes dans ces boîtes. Quant aux circuits imprimés, Robert les avait gravés à la main à l'aide de films transparents imprimés, comme je le faisais moi-même il y a une trentaine d'années. Le temps semblait s'être arrêté au seuil de ce labo. Robert me montra non sans fierté un fréquencemètre qu'il avait lui-même assemblé. Il l'alluma, et aussitôt des zéros s'affichèrent sur l'écran composé de – devinez

$$dW = \left[ \psi(x_0, y_0, z_0) \right] dV = 4\pi dV$$

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

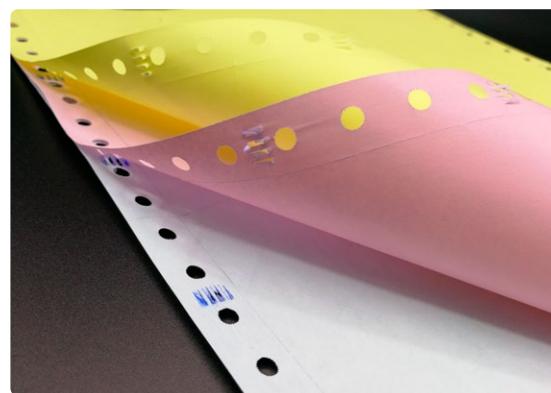
$$F(h, k, l)$$

– plusieurs tubes Nixie japonais. « Laissez-moi vous montrer quelque chose », me dit-il avant d'enfoncer un morceau de fil dans le connecteur BNC de l'instrument. Je vis alors les tubes Nixie afficher joyeusement les valeurs aléatoires du bruit provoqué par la présence du fil. Robert avait construit deux autres instruments semblables pour des amis, mais tenait à conserver celui-ci. Il me donna deux autres boîtes de biscuits contenant des afficheurs à sept segments, ainsi que plusieurs cartons emplis de tubes. Au moment de partir, sa femme me confia que son mari passait ses journées dans son labo, et je devinai au ton de sa voix qu'elle n'appréciait pas vraiment ce passe-temps.

### Nostalgie en tiroir

Les rares magasins d'électronique restants vendent de moins en moins de composants à l'unité, et de plus en plus d'articles tout prêts. D'où ma surprise le jour où, préparant un colis pour un client habitant la Slovaquie, je découvris sur *Google Maps* que le magasin dudit client comprenait un mur couvert de centaines de petits tiroirs de rangement. La photo me rappela un magasin de ma ville natale que j'avais fréquenté régulièrement jusque fin 2011, juste avant qu'il ne soit repris, déplacé et modernisé. Ici aussi le temps semblait s'être arrêté. La décoration évoquait les années 1970, et la méthode de travail était singulière. L'employé regardait votre liste, puis allait ouvrir les tiroirs correspondants – sans jamais se tromper. Il notait au passage la référence du composant sur votre liste, et pour finir glissait votre commande dans des petits sachets qu'il agrafait. Ces sachets étaient fabriqués à partir de coussins d'air d'emballage ; difficile de faire mieux pour ce qui est du recyclage. Il saisissait ensuite les références dans un ordinateur, puis les imprimait sur du papier autocopiant que dépliait une imprimante matricielle [3].

L'original était soigneusement rangé dans un vieux classeur usé, tandis que le client recevait la copie rose en guise de reçu. Le magasin ignorait bien sûr jusqu'à l'existence du paiement électronique, et vous deviez donc



Source : Shutterstock / YoONSpY

payer en espèces. Tout cela prenait un temps fou, ce qui se traduisait souvent par une longue file d'attente derrière ou devant vous. Le petit magasin d'une ville voisine jouissait d'un service encore plus lent. Son propriétaire, un homme d'un certain âge, adorait donner des conseils que personne ne lui demandait. Je me souviens qu'un jour il passa une demi-heure à m'expliquer la technique des condensateurs à film de polystyrène. Je suppose que ce brave homme avait parfois besoin de discuter avec quelqu'un...

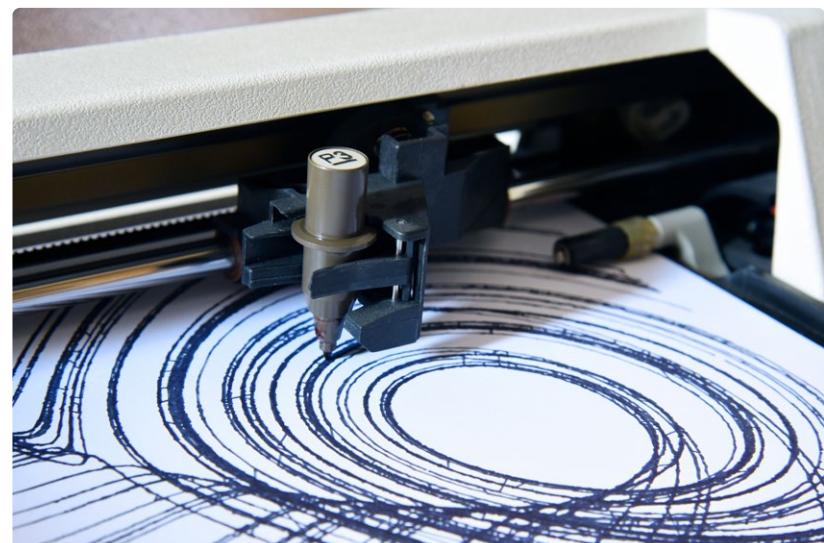
### Nostalgie sur table

L'art génératif figure au menu de mes loisirs, et j'avais plusieurs fois tenté de m'y essayer avec un vieux traceur à plume que j'avais conservé. Hélas, je me heurtais chaque fois à un problème de logiciel auquel je n'avais guère de temps à consacrer. Je l'ai finalement résolu récemment grâce à un programme bien fait et abordable [4] et au soudage d'un câble RS-232. Après trente ans d'inactivité, les plumes de mon antique table traçante se sont de nouveau déplacées, me ramenant avec elles au cœur des années 1990.

Et, heureusement, tout cela sans que ma rêverie ne soit troublée par les anciennes tracasseries liées aux inverseurs de connexion, adaptateurs DB9/DB25, commutateurs de données et interfaces RS-232. ↗

Photo : Ilse Joostens

VF : Hervé Moreau — 230532-04



### LIENS

[1] Seinfeld: Rabbi with loose lips : <https://youtu.be/szAjGEoPtY4>

[2] Les jardins belges selon Bert Kruismans (en flamand) : <https://tinyurl.com/berkruismans>

[3] Imprimante matricielle Epson Action T-1000 : <https://youtu.be/qIeUrEVqDbo>

[4] DrawingBotV3 – logiciel de dessin open source pour table traçante : <https://drawingbotv3.com>



# démarrer en électronique

...Les FET

Eric Bogers (Elektor)

Aujourd’hui, la plupart des électroniciens ont recourt à un microcontrôleur pour réaliser les tâches les plus complexes, et la plupart d’entre nous n’utilisent plus de transistors discrets. Dans le cas où cela est possible, nous utilisons des amplificateurs opérationnels (ampli-op), et ce pour de bonnes raisons : les ampli-op modernes offrent des caractéristiques inégalées. C’est pourquoi, dans cet article, nous vous proposons une brève introduction à ce nouveau composant électronique. Toutefois, nous jetons d’abord un dernier coup d’œil aux transistors FET, après un bref suivi de l’épisode précédent.

Commençons d’abord par un petit complément à l’article paru dans le numéro de septembre/octobre de cette année [1]. Nous écrivions sous le paragraphe “Montage émetteur” : “il est possible d’amplifier un signal avec ce montage encore plus, mais dans ce cas, il faut choisir une résistance d’émetteur moins élevée et/ou une tension d’alimentation plus élevée.”. C’est vrai, mais ce n’est pas tout à fait exact. Si vous connectez un condensateur en parallèle avec la résistance d’émetteur dans ce circuit, le gain en courant continu de l’étage à transistors ne varie pas, mais l’impédance du réseau parallèle diminue pour les signaux en courant alternatif. Cela signifie que le gain est plus élevé pour les signaux alternatifs. Nous vous laissons le soin d’effectuer les calculs nécessaires. Nous remercions Dogan Ibrahim, lecteur (et auteur) d’Elektor, de nous avoir signalé cette omission.

## Transistor à effet de champ (FET)

Contrairement au transistor bipolaire, qui a occupé une place importante dans nos précédents articles, le transistor à effet de champ est commandé par une tension et non par un courant. L’impédance d’entrée d’un FET est particulièrement élevée, de sorte qu’il faut une faible tension pour le commander (du moins en tension continue). Cependant, lorsque la fréquence augmente, la capacité interne d’un FET devient de plus en plus élevée. Les FET ne sont pas couramment utilisés dans les circuits destinés aux théâtres et aux événements publics. En effet, les circuits utilisés dans ces applications sont caractérisés par une faible impédance pour avoir un meilleur facteur de bruit. Toutefois, les MOSFET de puissance sont souvent utilisés dans ces applications, mais uniquement dans les étages de sortie des amplificateurs de puissance. La **figure 1** montre le symbole d’un FET à canal dopé N. Si la flèche du symbole pointe dans l’autre sens, le composant associé est un FET à canal P, polarisé en inverse. Les trois bornes sont appelées la grille, la source et le drain. En termes de fonctions, elles correspondent presque à la base, à l’émetteur et au collecteur d’un transistor bipolaire.

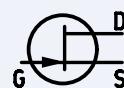


Figure 1. Symbole d’un JFET à canal N.

Le suiveur de source est le montage à FET équivalent d’un suiveur-émetteur et a donc un gain de tension de 1.

Dans le montage présenté à la **figure 2**, la grille est simplement connectée à la masse par une résistance de grande valeur. Si on utilise un FET BF245, le courant de drain résultant est d’environ 4 mA, avec un point de fonctionnement correspondant d’environ 4 V. Comme la grille a une impédance particulièrement élevée, les courants à travers la source et le drain sont presque égaux, et l’impédance d’entrée est déterminée par la

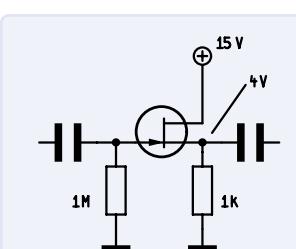


Figure 2. Suiveur de source.

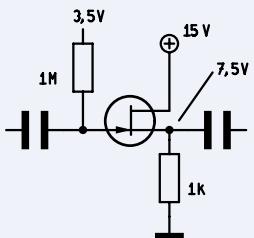


Figure 3. Montage pour un point de fonctionnement optimal.

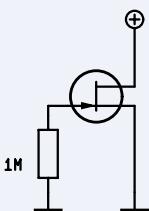


Figure 4. Source de courant constant à FET.

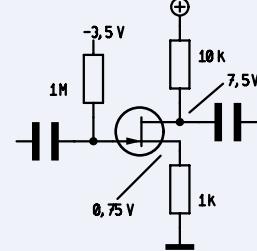


Figure 6. Montage à source commune.

valeur de la résistance entre la grille et la masse. Il est possible de calculer la valeur du condensateur de couplage d'entrée à partir de la basse fréquence de coude souhaitée. Elle peut être relativement faible par rapport au montage d'un suiveur-émetteur utilisant un transistor bipolaire.

Un inconvénient du montage de la figure 2 est que le point de fonctionnement ne correspond pas à la moitié de la tension d'alimentation, de sorte que l'amplitude du signal de sortie du circuit est limitée. Pour y remédier, il suffit de polariser la grille avec la tension appropriée, comme le montre la **figure 3**. Un simple diviseur de tension peut fournir cette tension de polarisation.

Il est également facile de concevoir une bonne source de courant constant avec un transistor à effet de champ (voir **figure 4**). Si vous examinez la courbe de la **figure 5**, vous remarquerez que dans ce cas, un FET est plus performant qu'un transistor bipolaire. Les sources de courant comme celle-ci sont souvent utilisées pour fournir des courants constants aux LED.

### Montage à source commune

Si vous connectez un FET de la manière appropriée, vous pouvez bien sûr l'utiliser pour amplifier la tension. Le montage utilisé à cet effet est très similaire au montage à émetteur commun d'un transistor bipolaire. Dans le cas du circuit à FET, le gain est également déterminé par le rapport entre les résistances du drain et de la source.

Cependant, le suiveur de source présenté dans la **figure 6** présente un inconvénient : nous avons besoin d'une tension négative pour régler le point de fonctionnement à une valeur acceptable. Pour cette raison, on utilise rarement les FET pour l'amplification de la tension. Au lieu de cela, les amplificateurs à FET ne sont utilisés que dans l'étage d'entrée des amplificateurs à plusieurs étages, et les transistors bipolaires ordinaires sont utilisés pour l'amplification supplémentaire du signal.

Cette approche est également utilisée dans les doubles ampli-op TL072 (deux ampli-op dans le même boîtier) et les quad ampli-op TL074 couramment utilisés dans les applications audio. Un étage d'entrée FET fournit une impédance d'entrée très élevée ( $10^{12} \Omega$ ), tandis que le bruit est limité par l'utilisation de transistors bipolaires pour le traitement ultérieur du signal.

### Amplificateurs opérationnels

Le terme "opérationnel" n'a rien à voir avec les opérations chirurgicales, mais est étroitement lié aux opérations mathématiques. Dans un passé pas si lointain, lorsque la technologie numérique n'était pas encore suffisamment avancée pour permettre d'effectuer des calculs mathématiques complexes, on utilisait des ordinateurs analogiques pour effectuer des calculs d'intégral et de différentiel. Les ordinateurs analogiques sont basés sur des circuits analogiques ou, plus précisément, sur des amplificateurs opérationnels.

La dérive en température est l'un des problèmes les plus fréquents des circuits à transistors classiques : si le point de fonctionnement change constamment, la précision des circuits destinés à effectuer des opérations complexes n'est pas très bonne. À l'époque, pour cette raison, les concepteurs ont commencé à utiliser des amplificateurs différentiels : lorsque le point de fonctionnement d'une entrée (par exemple l'entrée non inverseuse) change, le point de fonctionnement de l'autre entrée change en conséquence, de sorte que les erreurs s'annulent.

La combinaison d'un amplificateur différentiel et d'un gain en boucle ouverte très élevé a permis d'obtenir un circuit très polyvalent nommé amplificateur opérationnel (ampli-op).

Au début, les ampli-op étaient construits avec des transistors discrets. Cependant, on s'est rapidement rendu compte que l'utilisation de circuits intégrés permettait d'économiser beaucoup de temps et d'efforts.

Comme les caractéristiques de bruit des anciens circuits intégrés n'étaient pas particulièrement optimales, les ampli-op discrets ont encore été utilisés dans les équipements audio pendant plusieurs années, mais cette époque est bien loin derrière nous. De nombreux ampli-op modernes offrent des caractéristiques exceptionnelles en audio et ont trouvé leur place dans le domaine de l'électronique à petits signaux.

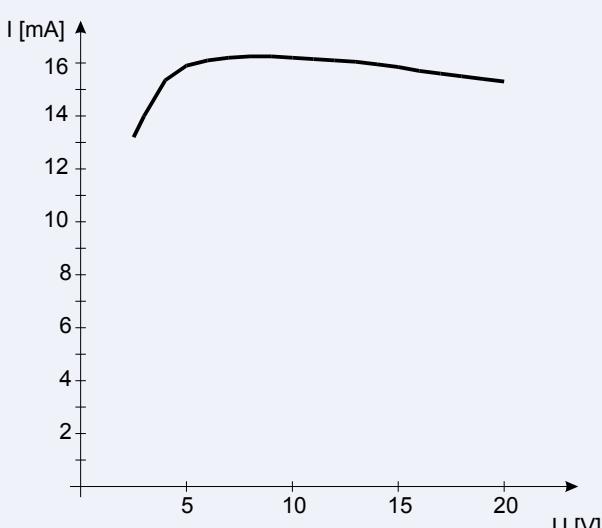


Figure 5. Courbe caractéristique d'une source de courant constant à FET.



## Structure interne d'un ampli-op

Le nombre exact de transistors dans un circuit intégré n'affecte pas significativement le coût de fabrication, de sorte que les circuits d'ampli-op constitués de 40 à 50 transistors sont maintenant très répandus. Le circuit interne d'un ampli-op typique est cependant trop compliqué, c'est pourquoi nous examinons ici un circuit d'ampli-op très simplifié (**figure 7**). Bien entendu, ce circuit ne se trouve réellement dans aucun ampli-op, mais vous pouvez le construire vous-même (bien que le coût des composants nécessaires soit probablement plus élevé que celui d'un circuit intégré correspondant).

Ici, les transistors T1 et T2 forment un amplificateur différentiel, comme décrit dans l'un des épisodes précédents. Dans ce cas, nous avons omis les résistances d'émetteur, car elles ne sont en fait pas importantes pour le fonctionnement du circuit. Le transistor T3 et les composants associés forment une source de courant constant. Les transistors T5 et T6 servent d'étage de sortie push-pull de classe B. La sortie est à l'abri des courts-circuits, grâce aux valeurs relativement élevées de la résistance d'émetteur. Ceci est possible parce que la rétroaction négative - lorsque le circuit est utilisé comme un ampli-op - réduit fortement l'impédance de sortie, de sorte que les valeurs des résistances d'émetteur ne sont pas grandes. La rétroaction négative minimise également la distorsion de croisement typique d'un amplificateur de classe B, de sorte que nous n'avons pas à nous préoccuper du courant de repos.

Le transistor T4, en tant qu'amplificateur à émetteur commun, sert d'étage de commande pour les transistors de sortie. Malgré tous nos avertissements précédents, il n'y a pas de résistance d'émetteur ici, car les ampli-op sont stabilisés grâce à une rétroaction négative globale (de la sortie vers l'entrée). Cela signifie que la maximisation du gain en boucle ouverte est plus importante que l'emplacement exact du point de fonctionnement d'un étage d'amplification interne.

C'en est assez pour cet épisode - nous avons eu un premier aperçu des ampli-op et, la prochaine fois, nous les utiliserons pour réaliser des circuits d'amplification.

Translated by Kenneth Cox — 230608-01

Note de la rédaction : la série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basiskurs Elektronik » de Michael Ebner, publié par Elektor.

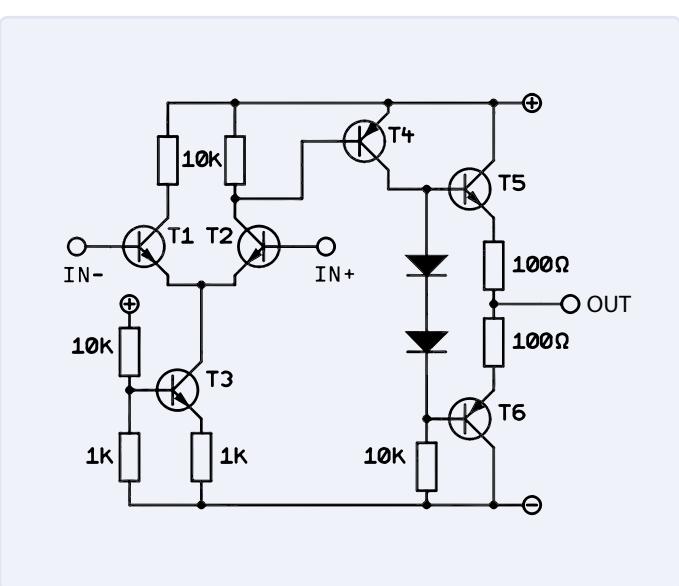


Figure 7. Version très simplifiée de la structure interne d'un amplificateur opérationnel.

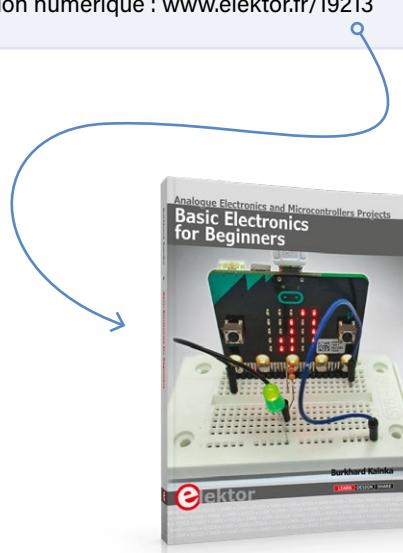
## Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



## Produit

► **B. Kainka, Basic Electronics for Beginners (Elektor, 2020)**  
version papier : [www.elektor.fr/19212](http://www.elektor.fr/19212)  
version numérique : [www.elektor.fr/19213](http://www.elektor.fr/19213)



## LIEN

[1] " démarrer en électronique ...amplificateur de tension ", Elektor 9-10/2023 :  
<https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-315/62219>

# tutoriel bus CAN pour l'Arduino UNO R4

deux UNO R4 connectés au bus

Dogan Ibrahim (Royaume-Uni)

L'Arduino UNO R4, sorti en deux versions l'année dernière, prend en charge le bus CAN au niveau matériel et logiciel. Dans cet article, nous examinons quelques modules CAN pratiques, une configuration expérimentale et les bases pour afficher le trafic entre les nœuds CAN dans le moniteur série d'Arduino.

**Note de l'éditeur.** Cet article est un extrait du livre de 326 pages *Mastering the Arduino Uno R4* (Elektor 2023), formaté et légèrement modifié pour correspondre aux normes éditoriales et à la mise en page du magazine Elektor. L'auteur et l'éditeur ont fait de leur mieux pour l'éviter et seront heureux de répondre aux questions. Pour les contacter, voir l'encadré « **Questions ou commentaires ?** ».

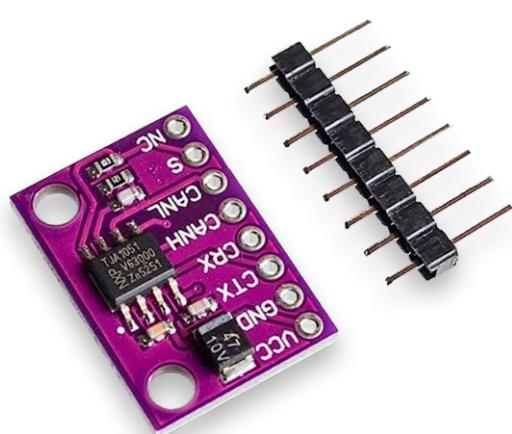
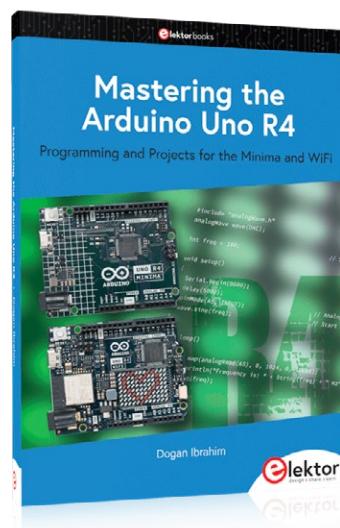


Figure 1. Le module émetteur-récepteur TJA1051.



L'Arduino UNO R4 Minima possède les deux broches suivantes que vous pouvez utiliser avec l'interface du bus CAN (Controller Area Network) : D5 (RX) et D4 (TX). Sur la version R4 WiFi, les broches du bus CAN sont D13 (RX) et D10 (TX). Bien qu'il existe des signaux d'interface de bus CAN de base, il est nécessaire de connecter des modules émetteurs-récepteurs à ces broches avant de les connecter au bus CAN.

## Émetteurs-récepteurs du bus CAN

Un module émetteur-récepteur de bus CAN est une interface matérielle entre les broches du bus CAN de l'Arduino UNO R4 et le câble du bus CAN. Il existe plusieurs modules émetteurs-récepteurs disponibles sur le marché. Dans le livre mentionné ci-dessus, on utilise le TJA1051 (**figure 1**), un module émetteur-récepteur CAN à grande vitesse qui fournit une interface entre un contrôleur de protocole CAN et le bus CAN bifilaire.

Les caractéristiques de base du TJA1051 sont :

- Tension d'alimentation 4,5 à 5,5 V
- Conforme aux normes ISO 11898-2:2016 et SAE J2284-1 à SAE J2284-5
- Compatible avec les systèmes 12 V et 24 V
- Faible émission électromagnétique
- Courant d'alimentation : 1 mA en mode silencieux ; 5 mA en mode bus récessif ; 50 mA en mode bus dominant.

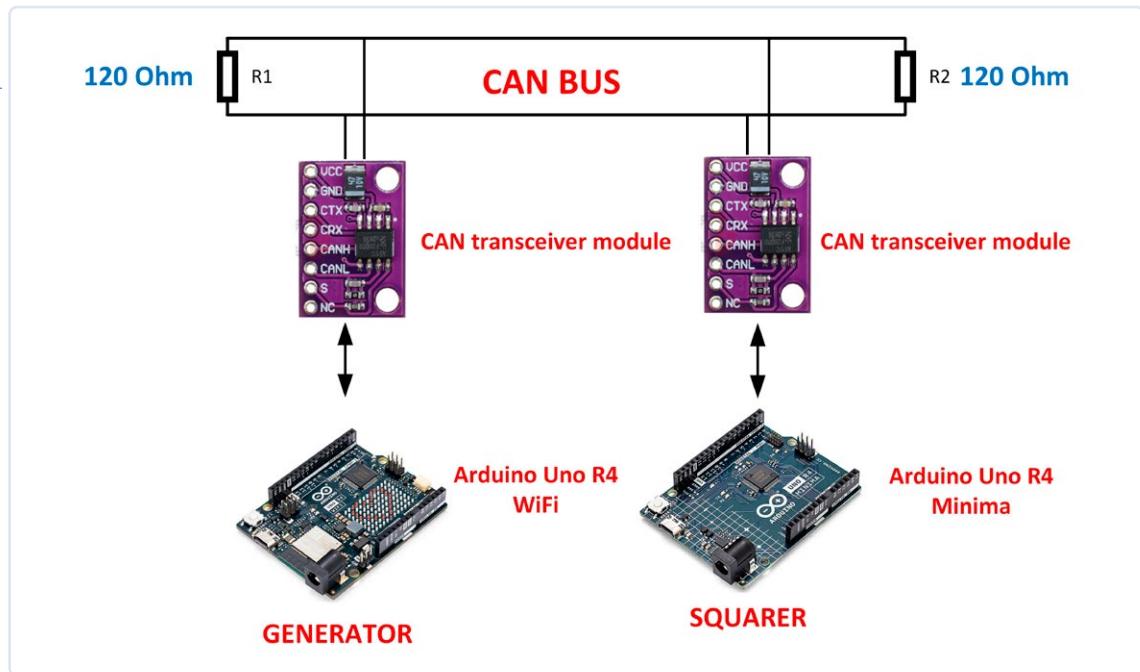


Figure 2. Schéma fonctionnel du projet de démonstration.

Le module émetteur-récepteur TJA1052 est doté des broches suivantes :

- › CANH CAN\_H : interface de bus
- › CANL CAN\_L : interface de bus
- › VCC : +5 V
- › GND : masse
- › CTX : transmission des données d'entrée
- › CRX : réception de données de sortie (lecture de données sur le bus)
- › S : contrôle du mode silencieux (BAS en mode normal, HAUT en mode silencieux).

Dans la section suivante, nous présentons un projet de démonstration basé sur le bus CAN afin de montrer comment la fonction bus CAN de l'Arduino UNO R4 peut être utilisée. La bibliothèque

Arduino\_CAN intégrée est utilisée pour communiquer avec d'autres périphériques CAN.

### Communication du bus CAN : UNO R4 WiFi à UNO R4 Minima

Pour réaliser ce projet, vous aurez besoin de deux cartes Arduino UNO R4. La carte Arduino UNO R4 WiFi est appelée le GENERATOR, tandis que la carte Arduino UNO R4 Minima est appelée le SQUARER. Les deux cartes sont connectées sur un bus CAN, ce qui signifie qu'il y a deux nœuds, appelés GENERATOR et SQUARER. Le nœud GENERATOR est programmé pour générer des nombres entiers aléatoires entre 1 et 20 et les envoyer au nœud SQUARER, où les nombres reçus sont élevés au carré et affichés sur le moniteur série de l'EDI. Cette opération est répétée après un délai de 3 secondes. Le but de ce projet est de montrer comment on peut connecter deux Arduino UNO R4 et les faire communiquer sur un bus CAN.

La **figure 2** montre le schéma fonctionnel du projet. Ici, le nœud GENERATOR est un Arduino UNO R4 WiFi, et le nœud SQUARER est un Arduino UNO R4 Minima. La figure montre également deux modules émetteurs-récepteurs de bus CAN et le câblage du bus CAN.

**Remarque :** l'offre groupée d'Elektor comprend le livre et une carte de développement Arduino R4 Minima. Vous pouvez vous procurer séparément du CI TJA1051, des modules émetteurs-récepteurs du bus CAN et des résistances de terminaison.

La **figure 3** montre le schéma de circuit du projet. Remarquez que le câble de bus est terminé par deux résistances de 120  $\Omega$ . Les bornes CANH et CANL des deux émetteurs-récepteurs sont connectées au câble de bus. Les broches CTX et CRX du module sont connectées aux broches D10 et D4 respectivement.

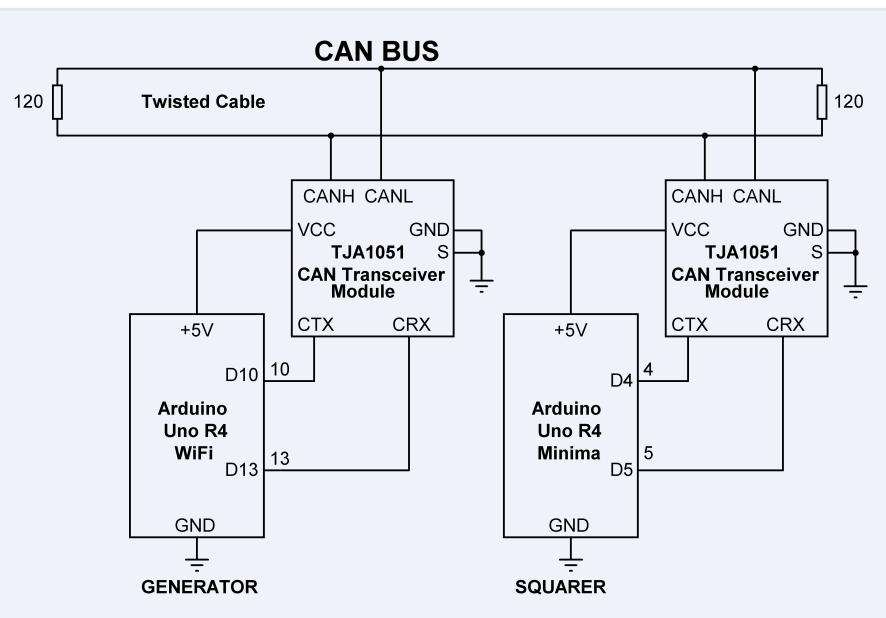


Figure 3. Schéma du circuit du projet de démonstration.



## Listage 1. Programme pour le nœud GENERATOR.

```
-----  
// CAN BUS PROGRAM  
=====  
  
// This program generates random numbers between 1 and 20 and sends them  
// over the CAN bus to a node called SQUARER. The SQUARER node takes the  
// square of these numbers and displays them on the Serial Monitor. CAN  
// baud rate is set to 250 K. The process is repeated every 3 seconds  
  
// Author: Dogan Ibrahim  
// File : GENERATOR  
// Date : July, 2023  
-----  
#include <Arduino_CAN.h>  
static uint32_t const CAN_ID = 0x20;  
uint8_t RandomNumber;  
uint8_t msg_data[8];  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600);  
    delay(5000);  
    if (!CAN.begin(CanBitRate::BR_250k))  
    {  
        Serial.println("CAN begin failed...");  
        while(1);  
    }  
    else  
        Serial.println("CAN begin success...");  
}  
void loop()  
{  
    RandomNumber = random(1, 21); // Random number  
    Serial.print("Random number is: ");  
    Serial.println(RandomNumber);  
    msg_data[0] = RandomNumber;  
    msg_data[1] = 0x00;  
    msg_data[2] = 0x00;  
    msg_data[3] = 0x00;  
    msg_data[4] = 0x00;  
    msg_data[5] = 0x00;  
    msg_data[6] = 0x00;  
    msg_data[7] = 0x00;  
    CanMsg msg(CAN_ID, sizeof(msg_data), msg_data);  
    int const rc = CAN.write(msg);  
    if(rc < 0)  
    {  
        Serial.print("CAN write failed. Error code is: ");  
        Serial.println(rc);  
        while(1);  
    }  
    delay(3000); // Wait 3 secs and repeat  
}
```



## Listage 2. Programme pour le nœud SQUARER.

```
-----  
// CAN BUS PROGRAM  
=====  
  
// This program receives random numbers between 1 and 20 over the CAN bus  
// and takes the square of these numbers and then displays the numbers on  
// the Serial monitor  
  
// Author: Dogan Ibrahim  
// File : SQUARER  
// Date : July, 2023  
-----  
#include <Arduino_CAN.h>  
static uint32_t const CAN_ID = 0x20;  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600);  
    delay(5000);  
    if (!CAN.begin(CanBitRate::BR_250k))  
    {  
        Serial.println("CAN begin failed...");  
        while(1);  
    }  
    else  
        Serial.println("CAN begin success...");  
}  
  
void loop()  
{  
    if(CAN.available())  
}
```

et D13 de l'Arduino UNO R4 WiFi. De même, les broches CTX et CRX de l'autre émetteur-récepteur sont connectées aux broches D4 et D5 de l'Arduino UNO R4 Minima, respectivement. Dans ce projet, on a utilisé un câble à paires torsadées d'environ un mètre pour faire office de câble de bus CAN.

La bibliothèque `Arduino_CAN` prend en charge les constantes de vitesse de transmission suivantes : `BR_125k`, `BR_250k`, `BR_500k`, `BR_1000k`. Le débit en bauds requis doit être spécifié lors de l'initialisation. Par exemple, pour le débit de 250 kbit/s, on doit appeler la fonction suivante : `CAN.begin(CanBitRate::BR_250k)`.

Envoi de données : un objet message `CanMsg` est créé avec l'identifiant CAN\_ID, la taille et les données, et est envoyé via le bus avec la fonction `CAN.write()`.

Réception de données : `CAN.available()` est utilisé pour vérifier la présence de données, puis si des données sont disponibles, elles sont lues avec la fonction `CAN.read()`.

Le **Listage 1** montre le code du programme GENERATOR. Au début du programme, nous incluons les fichiers d'en-tête nécessaires.

Ensuite, le tableau `msg_data` est initialisé avec huit éléments. Ce tableau stockera les données à envoyer sur le bus CAN. L'identifiant CAN\_ID est fixé à 0x20. Dans la fonction `setup()`, la vitesse de transmission du bus CAN est fixée à 250 kbit/s et la communication sur le bus CAN est effectivement lancée.

Dans la boucle main, un nombre aléatoire compris entre 1 et 20 est d'abord généré, puis envoyé sur le bus CAN. Notez que seul le premier octet du tableau de données de 8 octets `msg_data` est initialisé. Ce processus est répété après un délai de trois secondes, lorsqu'un nouveau nombre aléatoire est généré et envoyé au nœud SQUARER.

Le **Listage 2** montre le code du programme SQUARER. Le début et la fonction `setup()` de ce programme sont similaires aux code présenté dans le listage 1. Dans la boucle main, le programme vérifie s'il y a des messages sur le bus CAN et lit ensuite ces messages. Dans ce programme, un message consiste en un nombre entier compris entre 1 et 20. Le nombre reçu est stocké dans la variable `Num`, et son carré est affiché dans le moniteur série.

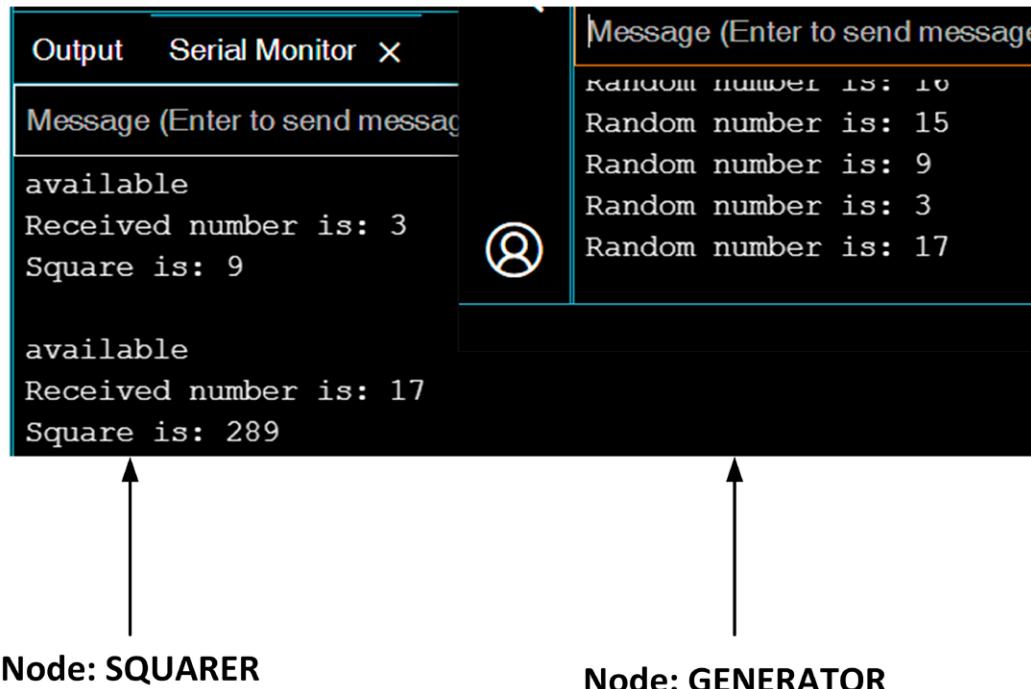


Figure 4.  
Exemple de données de sortie affiché dans le moniteur série.

Les deux programmes présentés ici sont inclus dans l'archive logicielle publiée à l'appui du livre " Mastering the Arduino R4 ". L'archive est disponible en téléchargement gratuit dans la section " Livres " du site de l'e-choppe Elektor [1]. Une fois sur la page web, faites défiler jusqu'à Téléchargements et cherchez le fichier *Software\_Mastering the Arduino UNO R4 (161.84 MB Zip file)*, téléchargez-le, puis et sauvegardez-le sur votre système. Décompressez le fichier d'archive et localisez les fichiers du programme d'exemple correspondant au chapitre 18 du livre.

### Tester le projet

Montez le projet comme indiqué dans le schéma du circuit et alimentez les deux Arduino UNO R4s. Lancez le moniteur série sur le noeud SQUARER, et vous devriez voir les nombres reçus et leurs carrés affichés toutes les trois secondes. L'exemple de sortie est montré dans la **figure 4**. Vous voyez une image similaire ? Félicitations ! Vous êtes sur le bon bus , et en bonne compagnie ! 

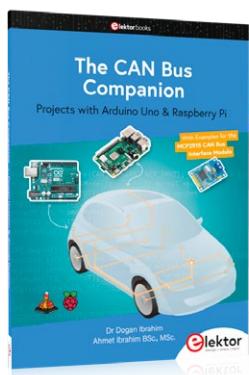
230622-04

### Questions ou commentaires ?

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

### À propos de l'auteur

Dogan Ibrahim est titulaire d'une licence (avec mention) en ingénierie électronique, d'un MSc en automatisation et ingénierie de contrôle et d'un doctorat en traitement des signaux numériques et microprocesseurs. Dogan a travaillé dans de nombreuses organisations et est membre de l'Institution of Engineering and Technology (IET) au Royaume-Uni et ingénieur électrique agréé. Dogan est l'auteur de plus de 100 livres techniques et de plus de 200 articles techniques sur l'électronique, les microprocesseurs, les microcontrôleurs et les domaines connexes. Dogan est un professionnel certifié d'Arduino et a de nombreuses années d'expérience avec presque tous les types de microprocesseurs et de microcontrôleurs.



### Produits

- **Mastering the Arduino Uno R4 - offre groupée**  
Livre + carte Arduino Uno R4 Minima : [www.elektor.fr/20649](http://www.elektor.fr/20649)
- **The CAN Bus Companion (+ Module de bus CAN gratuit)**  
Livre + module MCP2515 : [www.elektor.fr/20405](http://www.elektor.fr/20405)  
Livre numérique : [www.elektor.fr/20406](http://www.elektor.fr/20406)

### LIEN

[1] Téléchargements de logiciels du livre : Mastering the Arduino Uno R4 : <https://elektor.fr/mastering-the-arduino-uno-r4>

# Le marché de l'électronique de puissance : un paysage en expansion

Les choses ont certainement changé dans l'industrie de l'électronique de puissance au fil des ans, car la poussée de l'énergie verte et la recherche d'une meilleure efficacité ne sont plus à ignorer. En 2022, le marché global de l'électronique de puissance a atteint 20,9 milliards de dollars, en considérant à la fois les composants discrets et les modules. Et, devinez quoi ? Il est en passe de maintenir un taux de croissance jusqu'en 2028, date à laquelle il devrait atteindre la somme colossale de 33,3 milliards de dollars.



## 4,4% CAGR

des segments du marché des composants discrets. [1]

## 8,1% CAGR

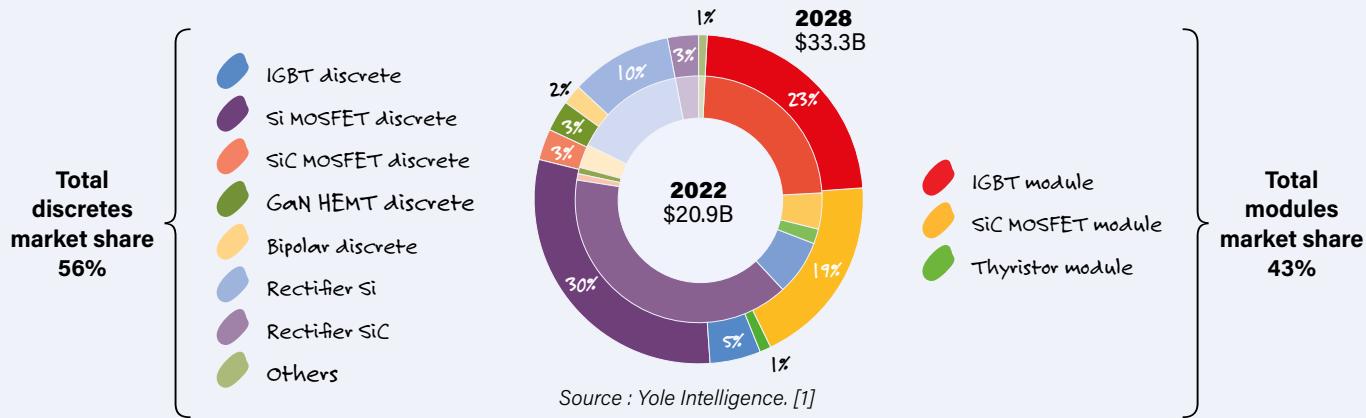
entre 2022 et 2028. [1]

## 14,4% CAGR

des segments du marché des modules. [1]

Selon Ana Villamor, responsable de l'équipe d'analystes en électronique de puissance chez Yole Intelligence [1], lorsqu'on parle de composants de puissance, on parle de trois principaux éléments dans le marché des matériaux : le silicium, le carbure de silicium (SiC) et le nitride de gallium (GaN). Le silicium reste la référence sur ce marché, mais le SiC prend de la place, notamment en raison de la demande croissante de modules pour les véhicules électriques. Quant au GaN, il est surtout présent dans le monde des alimentations électriques pour nous, les consommateurs ordinaires.

2022-2028 Power Electronics Market in Revenue - Discretes & Modules Split by Component Type



# Besoins en électricité : des mesures seront prises

Au cours de la prochaine décennie, malgré les risques économiques, l'électrification pourrait dépasser les gains d'efficacité énergétique. L'achat d'une seule voiture électrique par ménage peut entraîner une augmentation de la demande d'électricité plus importante que le remplacement de réfrigérateurs par plusieurs familles. L'intérêt croissant pour l'hydrogène, qui pourrait remplacer les combustibles fossiles

dans les poids lourds et les systèmes de chauffage, pourrait renforcer l'impact de l'électrification. Le plan européen pour l'hydrogène, qui vise à produire 10 millions de tonnes d'ici à 2030, nécessite plus de 10 % de l'électricité actuelle, ce qui correspond à la croissance enregistrée entre 2000 et 2010, malgré la stagnation de la consommation électrique constatée dernièrement. [6]

# Perspectives de la consommation d'énergie : nous sommes encore loin du compte ?

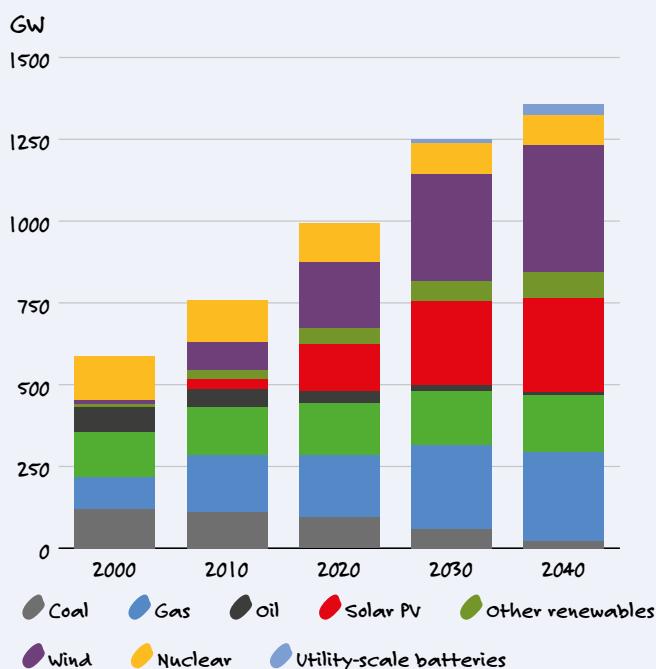
L'Agence internationale de l'énergie (AIE) [2] a annoncé que le taux de croissance de la consommation mondiale d'énergie pour 2024 devrait atteindre 3,3 % en raison de l'amélioration de la situation économique, par rapport à 2023 et aux années précédentes. Les données de l'AIE montrent que l'Union européenne est responsable de 40 % de la baisse totale des émissions dues à la production d'électricité.

## Un scénario d'avenir

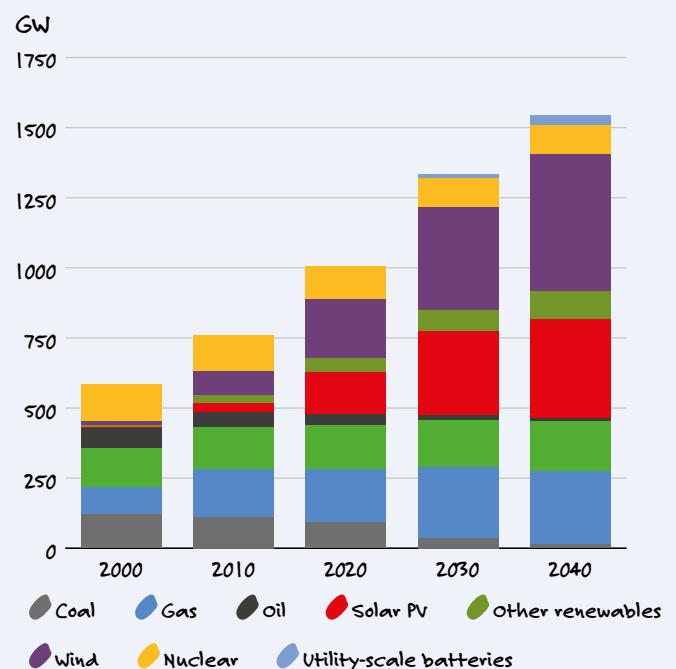
Le "scénario de politiques prévus" (STEPS, *Stated Policies Scenario*) prend en compte les actions déjà en cours ou planifiées pour atteindre les objectifs énergétiques et climatiques annoncés par

les gouvernements [3]. D'autre part, le scénario de développement durable est un plan visant à améliorer le monde en changeant notre façon d'utiliser l'énergie. Il s'agit de faire en sorte que tout le monde puisse se procurer de l'énergie et y avoir accès d'ici à 2030, et de réduire la pollution de l'environnement. En ce qui concerne les gaz qui affectent le climat, les économies avancées visent à éliminer les émissions nettes d'ici à 2050, la Chine d'ici à 2060 et tous les autres pays d'ici à 2070 au plus tard. Dans ce scénario, l'objectif est de limiter le réchauffement climatique à un maximum de 1,7 °C d'ici à 2050. Nous avons de bonnes chances de réussir si nous cessons les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'air après 2070. [3]

Stated Policies Scenario Data



Sustainable Development Scenario Data



Source : IEA. License: CC BY 4.0 [4] [5]

## LIENS

- [1] Yole Intelligence, "Status of the Power Electronics Industry 2023," August 2023: <https://yolegroup.com/product/report/status-of-the-power-electronics-industry-2023>
- [2] Forrest Crellin, "Global power demand growth to rebound in 2024 after slowdown, IEA says," 2023: <https://reuters.com/business/energy/global-power-demand-growth-rebound-2024-after-slowdown-iea-says-2023-07-19>
- [3] H.W. Schiffer, "The exploratory and normative scenarios of the IEA," 2022: <https://en-former.com/en/exploratory-normative-scenarios-iea>
- [4] IEA, "Installed capacity in the European Union, 2000-2010, and projections up to 2040 in the Stated Policies Scenario," 2020 : <https://iea.org/data-and-statistics/charts/installed-capacity-in-the-european-union-2000-2010-and-projections-up-to-2040-in-the-stated-policies-scenario>
- [5] IEA, "Installed capacity in the European Union, 2000-2010, and projections up to 2040 in the Sustainable Development Scenario," 2020: <https://iea.org/data-and-statistics/charts/installed-capacity-in-the-european-union-2000-2010-and-projections-up-to-2040-in-the-sustainable-development-scenario>
- [6] IEA, "Power Systems in Transition," 2020: <https://iea.org/reports/power-systems-in-transition>

# assistance complète à la conception et au développement

les services d'ingénierie d'Arrow

contribué par Arrow Electronics

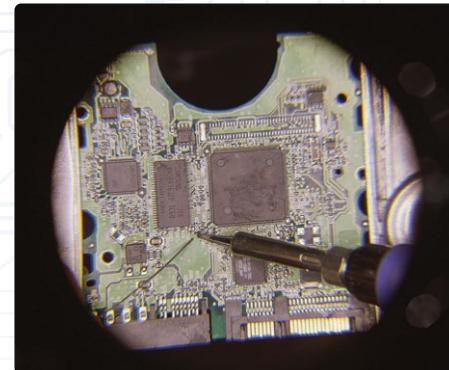
Arrow Electronics est un fournisseur de solutions technologiques complètes d'ingénierie, couvrant l'ensemble du spectre technologique, allant des composants électroniques tels que les semi-conducteurs, les dispositifs passifs, les connecteurs, l'électromécanique et les solutions embarquées à l'informatique d'entreprise, en passant par la sécurité et l'informatique dans le cloud.

En tant qu'entreprise, elle a constaté l'accélération de la vitesse d'adoption des technologies et l'augmentation de la complexité des conceptions réalisées par les clients. Par conséquent, le rôle de ses ingénieurs d'application sur le terrain, dont beaucoup sont hautement qualifiés et connaissent les fabricants ou les architectures de solutions spécifiques, a évolué pour se transformer en conseillers de confiance pour les clients, en les guidant sur l'architecture de solutions et la conception de systèmes. En outre, ils fournissent toute l'assistance technique nécessaire pour que les clients puissent commercialiser leurs produits le plus rapidement possible. Les domaines de spécialisation comprennent le numérique, les systèmes embarqués, le FPGA (réseau de portes programmables in situ), l'alimentation, le sans-fil, l'IP&E et la RF par le biais de Richardson RFPD, filiale d'Arrow Electronics.

## Gestion de la conception pilotée par logiciel

Au-delà des ressources techniques de vente et d'assistance, Arrow dispose d'une vaste organisation de services d'ingénierie qui assure la conception et le développement pour le compte de sa clientèle. Ici, ses ingénieurs

deviennent une extension des équipes de R&D des équipementiers pour accélérer le lancement de nouveaux produits, améliorer les capacités clés ou soutenir l'innovation numérique en matière d'IA, d'analyse basée sur le cloud ou de sécurité des appareils IoT. Comme indiqué, la complexité de la conception a considérablement augmenté dans les microcontrôleurs à haute vitesse et les processeurs multimédias, les FPGA, l'IoT et l'informatique en périphérie des réseaux, l'intelligence artificielle et le cloud, pour n'en citer que quelques-uns. De plus, les logiciels deviennent de plus en plus le facteur de décision dominant dans le choix du matériel. L'ingénierie numérique, qui s'étend des logiciels embarqués à l'IA en passant par le cloud, la sécurité IoT et les applications mobiles, est l'élément du marché qui connaît la croissance la plus rapide. Cependant, les entreprises ne disposent pas toujours des ressources nécessaires dans ces domaines très complexes. C'est pourquoi Arrow désire soutenir ses clients dans la conception et le développement des dispositifs et des logiciels, en complétant leurs compétences et en réalisant le développement en leur nom. La fourniture de services d'ingénierie peut



aider les entreprises à gérer la complexité et à concrétiser leurs idées. Arrow est conscient que l'industrie des semi-conducteurs est hautement concurrentielle et en rapide évolution. Les fabricants doivent donner la priorité à la recherche et au développement, prendre des risques et investir dans de nouvelles technologies pour rester performants et répondre aux exigences des clients. Cependant, avec des priorités conflictuelles, des pénuries de main-d'œuvre et un paysage qui évolue rapidement, rester devant la concurrence est une tâche difficile. C'est là que le portefeuille de services d'ingénierie d'Arrow peut vous aider. En effet, Arrow collabore de plus en plus avec des équipementiers dans les secteurs de l'automobile, de la pharmacie, de la médecine et de l'industrie. Les ingénieurs d'application sur le terrain offrent un accès inégalé à l'introduction de nouveaux produits dans le cadre de ces partenariats grâce aux relations privilégiées qu'ils entretiennent avec les fournisseurs. Les équipes d'Arrow peuvent effectuer des examens de conception stratégique, émettre des recommandations technologiques et accélérer les processus de conception. Les entreprises apprécient cette approche à guichet unique, car Arrow peut guider à la fois la conception du produit et la chaîne d'approvisionnement, ce qui lui permet de fournir le produit conçu et de gérer la chaîne logistique au fur et à mesure de la montée en puissance de la production. Cette offre de services vise à combler les lacunes pour concrétiser les idées, en aidant les clients à créer, fabriquer et gérer leur technologie de manière plus rationnelle et efficace.

## Les services d'ingénierie d'eInfochips

L'un des moteurs essentiels de ses activités d'ingénierie est eInfochips. Cette entreprise d'Arrow Electronics est un leader reconnu dans la transformation numérique et les services d'ingénierie de produits. eInfochips est un partenaire d'ingénierie et d'innovation aux ressources complètes pour les besoins de développement de produits, accélérant pour ses clients la commercialisation de leurs produits grâce à son expertise dans les domaines de l'IoT, de l'IA et de l'apprentissage automatique, de la sécurité, des capteurs, du silicium, du sans-fil, du cloud et de l'alimentation. Avec plus de cinq cents produits développés et 40 millions de déploiements dans 140 pays, eInfochips continue d'alimenter l'innovation technologique dans des secteurs multiples.

Ces services aident les clients à concevoir l'ensemble du produit, y compris l'ingénierie des dispositifs, l'ingénierie numérique, l'ingénierie de la qualité et l'ingénierie du silicium. Les services s'étendent de la conception à la fabrication, en passant par l'apprentissage automatique, les essais de produits et la conception de systèmes embarqués. Les capacités supérieures de développement de produits sont un facteur essentiel de différenciation pour eInfochips sur le marché des services. Il collabore avec les clients pour créer une feuille de route produit bien définie qui respecte les objectifs à long terme, définit les mesures clés de succès et conçoit et développe le produit. Il peut également faire correspondre le modèle opérationnel avec les objectifs du client en matière de produits, en optimisant les processus et les systèmes de l'entreprise.

Examinons ces services de base plus en détail :

**Ingénierie des dispositifs** - L'ingénierie des dispositifs et des systèmes a connu une croissance phénoménale depuis l'ère des micro-contrôleurs jusqu'aux dernières avancées technologiques en matière de processeurs, de capteurs, de connectivité, de protocoles et de logiciels intégrés. Cela a créé un énorme marché pour des applications finales sophistiquées telles que les dispositifs portables, les appareils ménagers intelligents, les imprimantes 3D, les voitures autonomes, les applications de réalité virtuelle et augmentée, et bien d'autres encore. La forte concurrence et le développement du marché obligent les

acteurs à concevoir et à lancer des produits et des solutions innovants.

eInfochips est un partenaire de codéveloppement pour de nombreuses entreprises dans de multiples secteurs verticaux, nécessitant des services personnalisés dans le développement de systèmes embarqués. L'accent mis sur l'innovation et l'excellence en matière d'ingénierie a permis de concevoir de nombreux produits et solutions révolutionnaires pour les clients.

### Services d'ingénierie et de transformation

**numériques** - Avec un accent continu sur l'expérience client et l'amélioration des produits axés sur les données, le besoin de transformation numérique a augmenté rapidement dans les entreprises. eInfochips a développé de multiples IP et accélérateurs de solutions dans l'IoT, l'apprentissage automatique, l'activation du cloud, la gestion vidéo, l'automatisation des tests, et d'autres domaines pour permettre aux clients de mettre en œuvre leurs plans de transformation numérique avec succès.

**Services d'ingénierie qualité** - L'expérience utilisateur a pris une place centrale avec l'avènement de la transformation numérique et de nouvelles technologies comme l'IoT, le cloud, DevOps, Big Data et l'intelligence artificielle dans des nombreuses applications industrielles et grand public. Les entreprises s'efforcent constamment de créer des produits innovants plus rapidement afin de rester compétitives sur le marché. Par conséquent, une assurance qualité efficace devient une fonction essentielle afin de permettre aux entreprises d'offrir des produits de meilleure qualité dans des délais de commercialisation plus courts.

eInfochips fournit des services d'assurance qualité tout au long du cycle de vie des produits connectés, depuis le conseil et la mise en œuvre des tests jusqu'à l'assistance lors des tests de fin de vie, en garantissant une qualité élevée des produits, une excellence opérationnelle et une flexibilité tout au long du processus. Il offre également des résultats commerciaux accélérés pour les tests de base d'applications et de logiciels d'entreprise grâce à son expertise en matière d'outils open source, à DevOps et à l'approche de test « shift left » (lors de la phase précoce du processus de fabrication).

**Ingénierie du silicium et du VLSI (l'intégration à très grande échelle)** - Le monde

entre dans l'ère de l'informatique en tout lieu, sur tout dispositif et à tout moment. Le secteur des semi-conducteurs et les acteurs des solutions embarquées sont au cœur de cette transformation, jouant le rôle de « facilitateurs » de l'ère d'innovation de l'IoT de la nouvelle génération. La demande de micro-contrôleurs, de capteurs et de mémoires du secteur des semi-conducteurs (conception de puces VLSI) augmente considérablement avec l'adoption croissante des dispositifs innovants tels que les smartphones, les tablettes, les ordinateurs portables, les voitures électriques et les dispositifs mobiles. Elle a également entraîné une demande accrue de produits embarqués performants, robustes et fiables, de géométries plus petites, de services de conception VLSI, de conception pour les essais, de DFM (conception pour la fabrication), de validation pré/post-silicium et d'autres solutions. eInfochips excelle dans la fourniture de services d'ingénierie du silicium et de conception de produits clés en main aux entreprises de semi-conducteurs.

## Votre partenaire dans la transformation des produits

En bref, les services d'ingénierie positionnent Arrow comme un partenaire de transformation des produits. Les entreprises doivent être plus souples et plus efficaces dans leurs opérations commerciales. Par ailleurs, les changements technologiques, l'évolution de la base d'utilisateurs, les cycles produits plus courts et les nouvelles versions ainsi que les nouvelles opportunités commerciales poussent les entreprises à évoluer pour rester en permanence concurrentielles sur le marché. Arrow aide ses clients à naviguer dans ce paysage commercial complexe en accélérant les lancements de produits, en obtenant des retours sur investissement plus élevés sur le développement de produits et en stimulant la rentabilité au sein des entreprises. ◀

230707-04



# comparatif entre densité de puissance et rendement énergétique

Mark Patrick, Mouser Electronics

Le choix d'une alimentation électrique repose souvent sur un seul critère de rendement tiré de la fiche produit. C'est pourquoi les fabricants font tout ce qu'ils peuvent pour gonfler ce chiffre, notamment en définissant des conditions de mesure toujours plus spécifiques. De leur côté, les concepteurs proposent des topologies plus sophistiquées comme le PSFB (pont complet à décalage de phase) et des convertisseurs LLC. Au niveau des composants, les diodes cèdent le pas aux MOSFET afin de réduire les pertes. Même le silicium est sur la sellette, car les matériaux à large bande interdite tels que le carbure de silicium (SiC) et le nitrure de gallium (GaN) se révèlent plus performants, même à des vitesses de commutation élevées.

L'utilisateur final n'accorde en fin de compte que peu d'intérêt au rendement électrique annoncé sur la fiche technique d'un bloc d'alimentation. Ce qui lui importe le plus, c'est le rendement du système ou des processus et le fait de se conformer aux obligations en matière d'environnement et à ses objectifs financiers, voire de les dépasser. Il apparaît comme de plus en plus évident que pour ce qui est de la protection de l'environnement (et de la maîtrise des coûts), rapporté à l'ensemble de la durée de vie d'un système, le rendement annoncé de l'alimentation électrique ne fait pas tout. Cependant, l'immobilier est un lourd investissement et son entretien coûte cher. Les utilisateurs finaux s'efforceront donc d'intégrer autant d'équipements générateurs de revenus que possible dans l'espace

disponible. De ce fait, ils auront tendance à accorder plus d'importance à la densité de puissance qu'au rendement électrique. Dans le présent article, nous nous pencherons plus en détail sur ces deux paramètres que sont la densité de puissance et l'efficacité énergétique. Nous verrons notamment ce qu'il en coûte pour obtenir une efficacité plus élevée par rapport à l'achat (et, à terme, à la mise au rebut de façon responsable) de solutions énergétiques haute performance. Nous entendons ainsi nous démarquer d'une approche exclusivement axée sur l'augmentation de la densité de puissance et sur les moyens d'améliorer l'efficacité énergétique d'un système. Nous examinerons enfin s'il est pertinent d'accorder la priorité à la gestion de la chaleur plutôt qu'à l'efficacité globale de la conversion d'énergie.

## Le concept d'efficacité

L'efficacité ne semble pas être bien compliquée à comprendre : plus sa valeur est proche de 100%, au mieux c'est, n'est-ce pas ? En fait, tout dépend du point de vue adopté. Prenons des bureaux ou un centre de données. Aucun travail pertinent (au sens physique du terme) n'y est réalisé, c'est-à-dire qu'on n'y déplace pas de grosses machines, par exemple. On peut donc attribuer à ces lieux une efficacité de 0%, parce que toute l'énergie consommée s'évapore sous forme de chaleur dégagée par les ordinateurs, les serveurs et les systèmes de stockage et de conversion de puissance. En revanche, si l'on tient compte de l'efficacité en termes de revenus (à savoir, le ratio entre le coût de l'électricité et le montant des revenus générés), l'efficacité peut tout aussi bien s'élever à 1000%. De ce fait, maintenir les coûts de l'électricité aussi bas que possible en réduisant la consommation électrique de chaque unité de production contribue aux performances et à la réussite de l'entreprise.

Le défi des gestionnaires de centre de données consiste à augmenter à la fois la capacité de traitement et de stockage de son centre et les revenus (et donc les bénéfices) générés. Pour ce faire, ils doivent maîtriser les coûts de l'électricité et veiller à ce que le matériel acheté soit rapidement rentabilisé. Ajouter de nouveaux serveurs augmente mécaniquement les frais d'électricité, mais aussi la capacité du centre à générer des revenus. Or, ce rapport entre revenus et coût dépend en bonne partie de l'équipement sélectionné.

## Efficiency at light load - two converters



Figure 1. L'efficacité énergétique à faible charge varie considérablement d'un bloc d'alimentation à l'autre.

Dans une usine, la seule raison valable d'ajouter un moteur puissant est de produire des produits qui se vendront mieux. Le système d'entraînement du moteur et l'alimentation électrique associée entrent dans les frais généraux, car ils n'ajoutent à proprement parler aucune valeur commerciale. On peut dès lors considérer que toutes les dépenses liées à l'exploitation (y compris l'électricité) de ce moteur additionnel affectent les résultats nets de l'entreprise. L'efficacité est donc un paramètre important, mais seulement dans le contexte de l'exécution des travaux nécessaires, et en consommant le moins d'électricité possible.

### Les pertes sont importantes partout

Dans le domaine de la conception électronique, ce ne sont pas les formules qui manquent : l'efficacité est égale à la puissance en sortie divisée par la puissance en entrée, exprimée en pourcentage ; les pertes sont égales à la puissance en entrée moins la puissance en sortie ; etc. Ces formules n'ont toutefois de sens qu'une fois mises en contexte, en tenant compte par exemple des niveaux de puissance, des conditions d'exploitation et des conditions environnementales. En effet, si la formule est immuable, les fabricants d'alimentation sont libres de l'appliquer dans les conditions d'utilisation qui fourniront le meilleur résultat, ce qui leur permet d'annoncer une efficacité énergétique supérieure à ce qui pourra être atteint en situation réelle. La valeur annoncée est souvent obtenue lorsque le système fonctionne pratiquement à pleine charge. Seulement, peu de systèmes (en particulier dans des applications redondantes) tournent même un certain temps à pleine charge et, en dehors de cette charge optimale, l'efficacité énergétique est généralement bien moins élevée.

Elle aura même tendance à chuter drastiquement à mesure que l'on s'approche de la charge nulle, mais suivant une courbe différente pour chaque bloc d'alimentation. Il en résulte que l'énergie consommée par un serveur en veille peut varier de plusieurs ordres de grandeur d'un serveur à l'autre. Comme le montre la **figure 1**, à 5% de charge, le convertisseur représenté par la ligne bleue dissipe au minimum trois fois plus rapidement la chaleur que le convertisseur représenté par la ligne orange. Le choix d'une alimentation doit par conséquent tenir compte des pertes de charge légère, car elles se ressentent grandement sur la consommation totale d'énergie.

Étant donné l'importance du rendement électrique à faible charge, l'initiative 80 PLUS a développé un jeu de normes (voir **tableau 1**) stipulant un rendement minimal sur toute la plage de charge, la plus stricte

étant la norme 80 PLUS Titanium, qui exige un rendement d'au moins 94% à 50% de charge et d'au moins 90% à 10% de charge (sur la base d'un système 115 V). Pour un système 230 V, le rendement attendu s'élève à 96% à 50% de charge (mais demeure 90% à 10% de charge).

Se conformer aux spécifications de la norme 80 PLUS n'est pas une mince affaire, surtout pour ce qui est des niveaux de certification plus élevés, qui ont été introduits après l'élaboration du programme de certification initial en 2004. En effet, si la norme de base exige un rendement de 80% à 50% de charge, atteindre le rendement de 94% exigé par la certification Titanium implique une réduction de 75% des pertes.

Concrètement, pour augmenter son rendement de 14%, un convertisseur de puissance de 1 kW devrait réduire les pertes de 250 W à 64 W. Il va sans dire que modifier la topologie ou la conception existante ne suffit pas à atteindre cet objectif. C'est pourquoi l'industrie a réagi en adoptant des approches innovantes pour y parvenir. Par exemple, les diodes ont été remplacées par des MOSFET à pilotage synchrone. Par ailleurs, les topologies PSFB et LLC pour convertisseurs résonants ont été conçues afin de limiter les pertes de commutation. Enfin, l'utilisation de nouveaux matériaux à large bande interdite permet de réduire les pertes lorsque l'on augmente la fréquence de commutation.

**Tableau 1. Aperçu des rendements spécifiés par la norme 80 PLUS pour les systèmes 115 V (Source : Mouser Electronics)**

Certification 80 PLUS	115 V interne non redondant				115 V industriel			
	10%	20%	50%	100%	10%	20%	50%	100%
80 PLUS	---	80%	80%	80%/ PFC 0,9	---			
80 PLUS Bronze	---	82%	85%/ PFC 0,9	82%	---			
80 PLUS Silver	---	85%	88%/ PFC 0,9	85%	80%	85%/ PFC 0,9	88%	85%
80 PLUS Gold	---	87%	90%/ PFC 0,9	87%	82%	87%/ PFC 0,9	90%	87%
80 PLUS Platinum	---	90%	92%/ PFC 0,95	89%	85%	90%/ PFC 0,95	92%	90%
80 PLUS Titanium	90%	92%/ PFC 0,95	94%	90%	---			

## Losses v efficiency of a 1kW converter



Figure 2. Rapport entre pertes et rendement électriques dans un convertisseur de puissance de 1 kW.

De nombreux convertisseurs nécessitant une conversion en deux étapes (par exemple, correction du facteur de puissance et CC-CC). Dans ce cas de figure, le rendement dans chaque section doit être encore plus élevé. C'est pourquoi les fabricants ont songé à transformer le redresseur à pont de courant alternatif, qui est passé de quatre diodes à un réseau de MOSFET destiné à améliorer l'étage de correction du facteur de puissance.

Seulement, ces technologies sont encore récentes et donc relativement coûteuses. Et cela est sans compter les risques liés à des technologies dont la fiabilité n'a pas (encore) été prouvée par de nombreuses années d'utilisation sur le terrain. Malgré tout, la demande pour des taux de rendement toujours plus élevés (99%, voire plus) va croissante.

### 1 %, peu et beaucoup à la fois

Plus le rendement est élevé, plus il est difficile de l'améliorer, ne serait-ce qu'un peu. Passer d'un rendement de 97% à 98% nécessite de réduire les pertes d'un tiers. Mieux encore : passer de 98% à 99% implique une réduction supplémentaire de 50% des pertes. Or, réduire les pertes de moitié exigerait sans doute une refonte totale de la conception en s'appuyant sur des techniques plus complexes et des composants plus coûteux, ce qui implique aussi un temps de conception important et des risques accrus. Cette réduction de 50% exigerait presque certainement une refonte totale basée sur des techniques plus complexes et des composants plus coûteux, avec un temps de conception et des risques importants. Prenons l'exemple d'un bloc d'alimentation de 1 kW. Celui-ci dissipe 20,4 W pour un rendement de 98%. Pour atteindre un rendement de 99%, les pertes doivent être réduites à 10,1 W (voir **figure 2**). Dans cet exemple, cela revient à faire peser une

charge financière conséquente sur le coût de la nomenclature par rapport à la durée de vie de l'alimentation, et ce, pour une économie de seulement 10,3 W.

D'aucuns diront peut-être que toute économie d'énergie est bonne à prendre, mais rien n'est moins sûr quand on considère la situation d'un point de vue plus global. Aux États-Unis, l'industrie paie environ 0,165 USD le kilowattheure [1]. Pour un bloc d'alimentation de 1 kW avec une disponibilité de 100%, une réduction de 10,1 W permet d'économiser environ 73 USD sur une durée de vie d'environ cinq ans, alors que la puissance de charge coûte plus de 7 300 USD.

L'acquisition, l'achat et la qualification d'une nouvelle alimentation électrique entraînent de nombreux frais de gestion, auxquels il faut ajouter le coût de la mise au rebut des équipements obsolètes. Les risques associés à un changement d'alimentation ont également un prix. Il paraît très improbable qu'une analyse puisse démontrer que cette économie de 73 USD couvre ne serait-ce qu'une partie de tous les coûts supplémentaires que cela implique, sauf (éventuellement) dans le cas d'une installation utilisant des milliers de blocs d'alimentation identiques. Bref, chercher à obtenir coûte que coûte le rendement le plus élevé fait rarement partie d'une stratégie opérationnelle efficace.

### Faut-il s'inquiéter de la chaleur ?

Une entreprise se souciera plus ou moins de la chaleur dissipée par son alimentation électrique en fonction de la source d'énergie utilisée. Si ses équipements et ses systèmes CVC fonctionnent grâce à des sources d'énergie fossiles comme le charbon ou le gaz naturel, cela contribuera naturellement au réchauffement climatique et aux problèmes de pollution. Même les centrales nucléaires, qui produisent pourtant une

énergie dite « propre », émettent de la chaleur dans l'atmosphère, étant donné que leur rendement thermique n'est généralement que de 33 % environ [2].

Améliorer le rendement est clairement une bonne action pour l'environnement. Cependant, même dans les régions chaudes du monde, les particuliers continuent de produire de la chaleur avec leurs chaudières, en prenant des douches et des bains et en faisant fonctionner leurs machines à laver, leurs sèche-linge, etc. On peut dès lors se demander pourquoi des concepteurs s'efforcerait d'économiser quelques dizaines de watts tandis qu'un particulier fait tourner son sèche-linge de plusieurs kilowatts pendant des heures dans le bâtiment voisin. Afin de compenser cette situation, une installation de cogénération (production simultanée de chaleur et d'électricité) peut récupérer la chaleur industrielle résiduelle pour la réacheminer vers des bâtiments résidentiels où elle est réutilisée.

Un des premiers exemples modernes de cogénération est la Pearl Street Station, la toute première centrale électrique construite par Thomas Edison et mise en service en 1882. IBM a appliqué un principe similaire pour construire le centre de données de l'Université de Syracuse [3], dans l'État de New York. Même si cette pratique n'est pas encore courante, l'industrie pourrait bien s'en emparer. Les opérateurs ont tendance à migrer les centres de données dans des régions froides où l'air ambiant peut être utilisé pour refroidir les équipements, mais la chaleur générée par ces centres, pour peut qu'elle soit correctement réacheminée, peut aussi s'avérer très utile sous ses latitudes – et tout particulièrement là où les sources d'énergie hydroélectrique ou géothermique rendent l'électricité bon marché, comme en Norvège ou en Islande.

### Fiabilité des impacts thermiques

Réduire les pertes n'est pas une précaution inutile. Au contraire, cela permet de réduire la température interne des équipements, améliore leur fiabilité et prolonge leur durée de vie. Mais cela n'est vraiment pertinent qu'à condition que le boîtier et le système de refroidissement restent inchangés. Diverses formules établissent que la durée de vie des composants électroniques diminue de moitié pour chaque augmenta-

## Failure Rate Increase with temperature

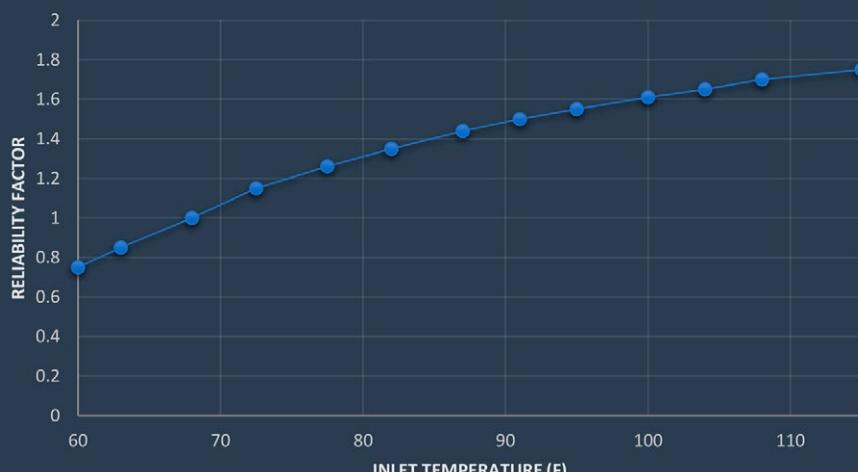


Figure 3. Impact de la température de l'air entrant sur la fiabilité.

tion de 10°C de la température ambiante. Et de nombreux ouvrages sur la fiabilité s'accordent à dire que le taux de défaillance des semi-conducteurs augmente d'environ 25% – et celui des condensateurs d'environ 50% – pour la même augmentation de température.

Les technologies modernes sont généralement très fiables et durables. Malgré ces chiffres alarmants, la fiabilité reste élevée, mais les effets de la chaleur sont réels et ne doivent pas être négligés. Dans les centres de données, on essaie généralement de maintenir l'air entrant à une température d'environ 21°C, mais des recherches menées par Intel et d'autres industriels ont démontré qu'une augmentation de la température n'a pas d'impact significatif sur la fiabilité du matériel. Un rapport du fabricant APC [4] citant l'American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) prévoit qu'une augmentation de la température de l'air entrant de 20°C à 32°C n'entraînerait qu'une augmentation de 1,5 fois du taux global de défaillance des équipements (voir **figure 3**).

Or, chaque degré Celsius supplémentaire autorisé dans les centres de données entraîne une réduction d'environ 7% des coûts de refroidissement associés. Tolérer que les équipements fonctionnent à une température (légèrement) plus élevée apporte donc un réel avantage sur le plan des dépenses d'exploitation.

De plus, les nouveaux composants en matériaux à large bande interdite peuvent supporter des températures de jonction plus élevées que leurs homologues en silicium, ce qui les rend particulièrement adaptés pour faire fonctionner des équipements (en particulier des alimentations haute fréquence) à des températures élevées.

### Ce qui importe vraiment, c'est la densité de puissance

Bien souvent, il suffit de réduire la fréquence de commutation pour améliorer le rendement électrique. Seulement, cela implique d'utiliser de plus gros composants passifs et des convertisseurs de puissance plus imposants. Cela aura certes l'avantage de renforcer la fiabilité des équipements en abaissant leur température de fonctionnement, mais cela se fera au détriment de l'espace disponible, ce qui est problématique au niveau du système.

Autoriser une température de fonctionnement plus élevée permet aux ingénieurs systèmes d'intégrer davantage de fonctionnalités dans une même armoire, que ce soit dans un centre de données ou dans un bâtiment industriel, où les boîtiers de taille standard contiennent presque toujours des moteurs et des automates.

Pour éviter de devoir installer une armoire supplémentaire et ainsi réduire les coûts (et l'encombrement) en utilisant une armoire existante, on peut utiliser de nouveaux

convertisseurs de puissance hautes performances avec des facteurs de forme plus petits. De plus, la surface au sol coûte cher et l'on a donc tout intérêt à maîtriser l'emprise au sol des équipements, surtout si l'espace disponible peut être utilisé pour installer des équipements générateurs de revenus.

### Résumé

Le choix d'une alimentation électrique ne doit pas s'opérer uniquement sur la base du rendement annoncé par le fabricant. D'autres facteurs entrent en ligne de compte et sont même plus importants : le rendement du système ou des processus, les obligations légales en matière d'environnement et les objectifs financiers, par exemple. Alors que les fabricants s'efforcent d'améliorer le rendement de leurs alimentations électriques à l'aide de nouvelles topologies et de matériaux innovants, les utilisateurs finaux accordent plus d'intérêt à la densité de puissance qu'au rendement, car c'est sur la base de cette donnée qu'ils peuvent optimiser l'espace disponible pour accueillir un maximum d'équipements générateurs de revenus. Le rendement à faible charge est une donnée essentielle que des normes industrielles comme l'initiative 80 PLUS mettent enfin en évidence. Plus le rendement est élevé, plus il devient difficile et coûteux de l'améliorer encore et plus les avantages à le faire sont faibles. Il convient donc d'évaluer le rendement à l'aune du coût global, de la fiabilité et de l'impact sur l'environnement des équipements tout en tenant compte du coût de leur acquisition, de leur mise au rebut et de la gestion de la chaleur. La densité de puissance joue un rôle important, car elle permet d'intégrer davantage de fonctionnalités dans un espace limité, mais aussi de réduire les coûts. En conclusion, le meilleur moyen de prendre des décisions éclairées en matière d'alimentation électrique est d'adopter une approche globale prenant en compte les différents facteurs pertinents. ■

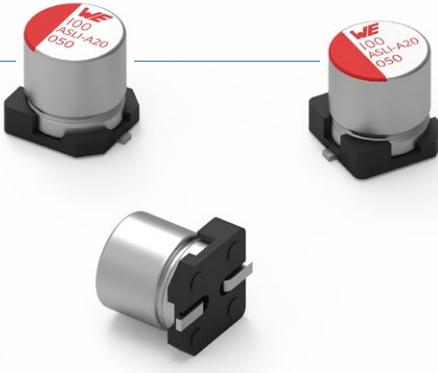
230708-04

### LIENS

- [1] US BLS, "Average Energy Prices for the United States": <https://bit.ly/49KdojU>
- [2] Nuclear Power, "Thermal Efficiency of Nuclear Power Plants": <https://bit.ly/3MW1w4C>
- [3] Data Knowledge Center, "Data Centers That Recycle Waste Heat," 2010: <https://bit.ly/3SRixko>
- [4] Torell, W., Brown, K., & Avelar, V., "The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures," 2021: <https://bit.ly/46kn6Xi>

# condensateurs électrolytiques en aluminium

sources potentielles de distorsions en technologie audio



René Kalbitz (Würth Elektronik eiSos)

Les condensateurs électrolytiques en aluminium sont soupçonnés d'être la cause ou au moins l'un des contributeurs à la distorsion à haute fréquence des signaux audio. Une étude menée par Würth Elektronik a examiné l'affaire en détail.

Dans le domaine de la technologie audio, il y a un débat permanent sur la part de l'audibilité de la distorsion du signal sur la qualité sonore des amplificateurs. Il semble que les condensateurs soient soupçonnés d'être la cause, au moins partielle, des distorsions à haute fréquence qui influent sur l'impression auditive. Würth Elektronik a consacré une étude à l'influence des condensateurs sur la distorsion [1]. Le débat sur l'audibilité de la distorsion ne porte pas seulement sur la mesure des propriétés électriques, mais

aussi sur leur interprétation en ce qui concerne leur perception par l'oreille humaine.

Cette étude compare la distorsion harmonique totale (THD) de condensateurs électrolytiques disponibles dans le commerce, tels que ceux fabriqués par Würth Elektronik eiSos, et de prototypes. Pour déterminer les paramètres qui influent sur la THD, les prototypes utilisés, avec différentes variétés de papiers isolants et de compositions d'électrolyte, ont été fabriqués en usine dans les mêmes conditions que la production de masse et analysés dans le laboratoire d'électronique de Würth Elektronik eiSos à Berlin. Pour permettre au lecteur d'interpréter les résultats, une introduction au domaine de l'audition humaine et de la psychoacoustique est présentée avant d'aborder l'étude de la distorsion harmonique dans les condensateurs.

## L'audition humaine

L'oreille humaine peut percevoir des ondes sonores dans une gamme de fréquences comprise entre environ 20 Hz (limite inférieure) et 16 kHz (limite supérieure) [2]. Les sons situés dans cet intervalle sont appelés sons audibles. En-deçà de 20 Hz, on a les infrasons et au-delà de 16 kHz, les ultrasons.

On obtient une représentation graphique de la sensation auditive en traçant le niveau de pression acoustique en fonction de la fréquence audible (figure 1). Les courbes illustrées dans la figure sont appelées isophones et représentent des courbes d'intensité sonore égale, exprimée dans une unité appelée phon. Ces isophones relient la pression acoustique, mesurée en dB, à l'intensité sonore perçue. Un son d'un volume de 50 phon est perçu comme étant aussi intense qu'un son de 1 kHz ayant un niveau de pression acoustique de 50 dB. Le même niveau d'intensité sonore signifie que chaque son le long d'une courbe est perçu comme étant d'intensité égale, quelle que soit sa fréquence. L'intensité sonore est donc une variable de perception (psychoacoustique), contrairement à la pression acoustique, qui est une variable d'excitation (voir [1] pour les références). Dans la figure 1, la courbe la plus basse représente ce que l'on appelle le seuil d'audition. Ce seuil s'applique aux mesures effectuées avec des sons sinusoïdaux dans un champ sonore libre d'audition binaurale. Le niveau de pression acoustique est rapporté à la pression

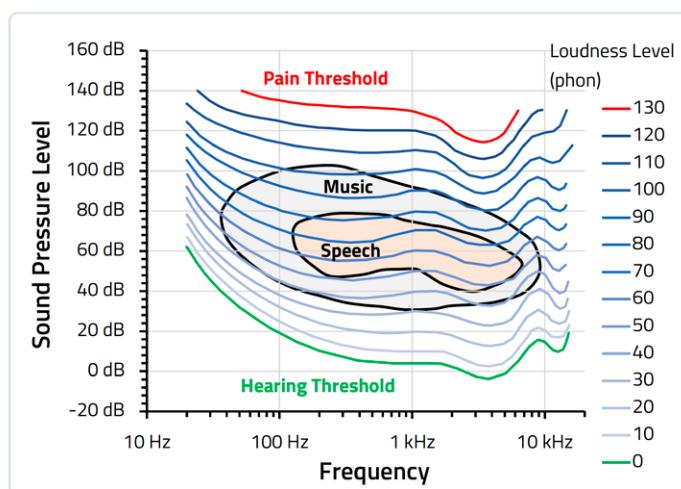


Figure 1. Zones de sensation auditive (DIN 45630).

acoustique de  $20 \mu\text{P}$ . Selon cette définition, le niveau de pression acoustique au seuil d'audition est de  $4 \text{ dB}$  à  $1 \text{ kHz}$ . Le champ de la parole est beaucoup plus étroit que le champ audible. Même la musique ne couvre qu'une partie du spectre auditif. Le seuil d'audition dépend fortement de la fréquence. La sensibilité auditive est maximale dans la plage comprise entre  $2$  et  $5 \text{ kHz}$ . Dans cette plage, la pression sonore la plus faible suffit à provoquer une sensation auditive. En dessous et au-dessus de cette plage, la sensibilité auditive décroît rapidement. La courbe supérieure représente le seuil de la douleur. Dans ce cas, la pression sonore est suffisamment élevée pour provoquer une douleur et entraîner des lésions auditives permanentes en cas d'exposition prolongée. La mesure subjective de l'intensité sonore peut être remplacée par la mesure objective de la pression acoustique pondérée illustrée à la **figure 2**. La pondération est effectuée en fonction de la fréquence en appliquant un filtre dont la courbe caractéristique est représentée sous sa forme normalisée et qui est approximativement l'inverse des isophones de la figure 1. Cette courbe est basée sur la recommandation de l'Union Internationale des Télécommunications (ITU-R BS.468-4). Par souci de clarté, la figure 2 indique également la fenêtre audible non pondérée.

La gamme dynamique de l'audition humaine est large, allant de  $130 \text{ dB}$  (seuil de la douleur) à  $-9 \text{ dB}$  (seuil de l'audition). Cependant, cette large gamme ne peut pas être perçue simultanément aux deux extrémités de l'échelle. La capacité à percevoir une petite distorsion superposée à un signal principal ou de fond dépend fortement du domaine de fréquences et de la complexité du signal principal. Des études montrent que des distorsions de  $2$  à  $5\%$  peuvent être présentes dans des signaux vocaux et musicaux complexes sans être perçues par l'auditeur. Pour les harmoniques uniques, il a été constaté que, dans des conditions de laboratoire, l'oreille humaine peut distinguer la distorsion causée par ces harmoniques dans une fourchette de  $0,3\%$  à  $0,01\%$  (à  $4 \text{ kHz}$ , la fréquence de sensibilité maximale) par rapport à la fréquence fondamentale (références dans [1]).

Les THD les plus faibles pour les  $10$  premiers harmoniques du test d'audition humain susmentionné sont de l'ordre d'environ  $10\%$  à  $7\%$ , en fonction de la fréquence fondamentale. Dans certaines conditions, l'oreille est donc capable de détecter des THD allant jusqu'à  $7\%$ , qui correspond à une variation du niveau de pression acoustique de  $20 \text{ dB}$  [1].

La THD est une mesure appropriée pour les systèmes présentant de faibles perturbations non linéaires causant des premiers harmoniques de l'ordre de  $1\%$  et décroissant vers zéro pour les harmoniques plus élevés. Toutefois, pour les perturbations non linéaires plus importantes dont les harmoniques supérieurs ne disparaissent pas, la THD peut ne pas être une mesure fiable de l'audibilité des perturbations.

### THD d'un modèle de condensateur

Le spectre de fréquence mesuré d'un condensateur dont la fréquence fondamentale est de  $448,9 \text{ Hz}$  (**figure 3**) montre une forte diminution de l'amplitude des harmoniques supérieurs, ce qui est typique pour tous les condensateurs étudiés et toutes les fréquences d'excitation. Les amplitudes des deux premiers harmoniques diminuent jusqu'à des valeurs bien inférieures à  $0,1\%$  par

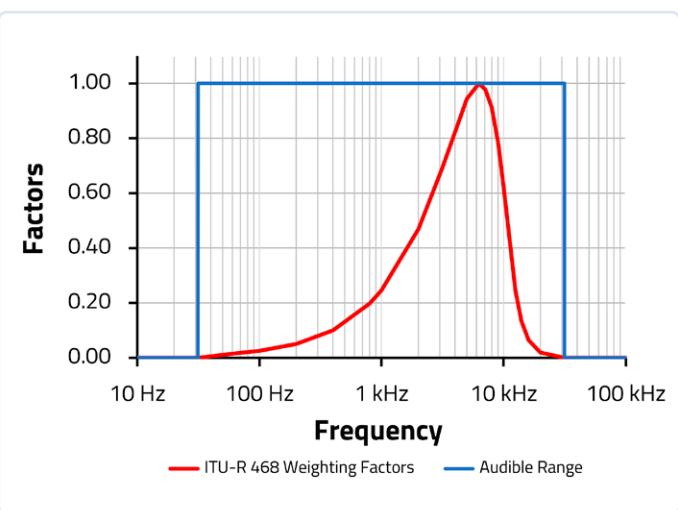


Figure 2. Représentation graphique de la délimitation de la gamme audible non pondérée et des coefficients de pondération suggérés par la norme ITU-R 468.

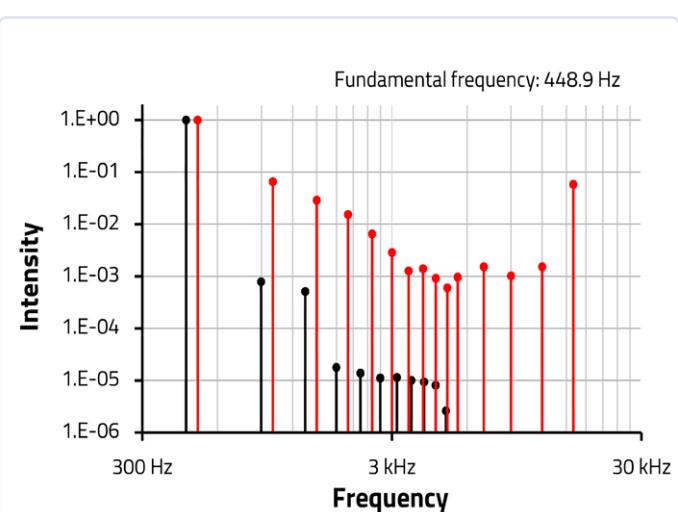


Figure 3. Spectre de fréquence mesuré d'un signal de tension sur un condensateur électrolytique en aluminium de  $470 \mu\text{F}$  (WCAP-ASLI, 865080253012) à une fréquence fondamentale de  $448,9 \text{ Hz}$ , avec indication de la valeur des seuils de distorsion audible, déterminée lors d'une expérience psychoacoustique pour une fréquence fondamentale de  $500 \text{ Hz}$ .

rapport au signal fondamental. Les harmoniques d'ordre supérieur ne dépassent pas des valeurs de l'ordre de  $0,001\%$ , ce qui est bien inférieur au seuil d'audition (également illustré sur la figure 3), et donnent une THD de  $0,078\%$ . Les valeurs du seuil d'audition ont été déterminées lors d'une expérience psychoacoustique menée séparément à une fréquence fondamentale de  $500 \text{ Hz}$  et ont donné une THD de  $7,3\%$ .

Si l'on mesure les THD pour différentes fréquences fondamentales dans la gamme de fréquences allant de  $1 \text{ Hz}$  à  $1 \text{ MHz}$ , on obtient le graphique de la **figure 4**. Les THD dans cette mesure sont comprises entre  $0,001\%$  et  $0,4\%$ , ce qui est bien inférieur aux valeurs de THD de l'expérience sur le seuil d'audition. Dans la gamme audible illustrée à la figure 4, les valeurs sont en grande partie bien inférieures à  $0,1\%$ .

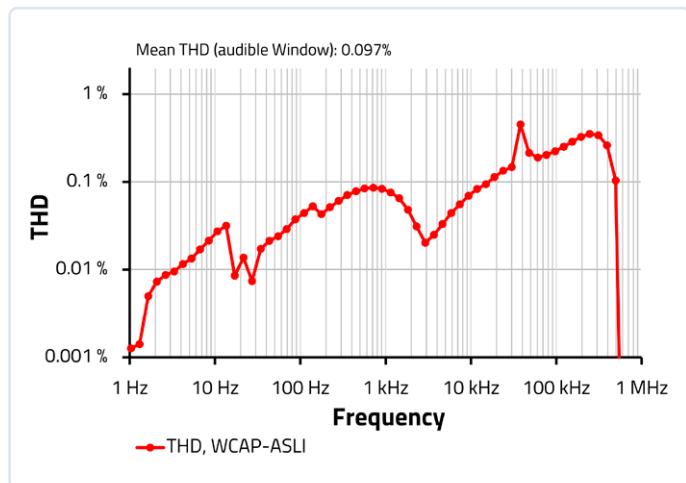


Figure 4. THD d'un condensateur électrolytique en aluminium de 470  $\mu\text{F}$  (WCAP-ASLI, 865080253012), mesuré à différentes fréquences fondamentales dans une gamme de 1 Hz à 1 MHz.

Afin d'obtenir une mesure facile à utiliser de la distorsion de fréquence dans l'ensemble de la gamme audible, la THD<sub>Mean</sub> moyenne et la THD<sub>ITU</sub> moyenne pondérée peuvent être déterminées sur la base de la sensibilité auditive humaine de toutes les valeurs THD individuelles [1].

Ce type de calcul a été appliqué à une série de condensateurs disponibles dans le commerce (865080253012, 860240275007) et de prototypes fabriqués à la demande (P1-P6) d'une capacité de 470  $\mu\text{F}$  (figure 5). Les prototypes représentent une grande variation dans la composition, la densité et l'épaisseur du papier isolant ainsi que dans la conductivité de l'électrolyte (détails sous [1]). Comme le montrent les barres d'erreur, les différences entre les mesures n'ont guère de signification statistique et ces variations du papier isolant et de l'électrolyte n'ont pas eu d'influence significative sur les THD.

### L'effet des semi-conducteurs est plus important

L'étude suggère que les variations de matériaux ont une influence négligeable sur la distorsion et que la distorsion est inférieure au seuil d'audition. Les condensateurs électrolytiques n'ajoutent pas d'harmoniques supérieurs significatifs aux fréquences fondamentales lors de la transmission des signaux et peuvent donc, dans une large mesure, être considérés comme des composants linéaires. Il est probable que l'amplitude des distorsions produites par d'autres types de condensateurs insensibles à la tension et de dispositifs passifs reste faible par rapport au seuil auditif.

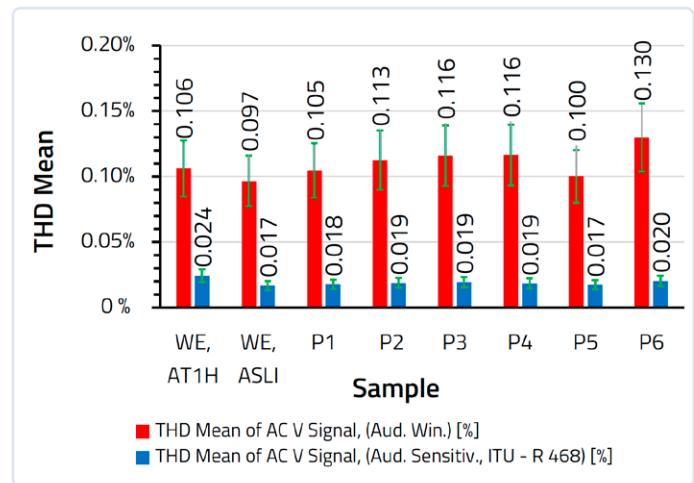


Figure 5. Valeurs mesurées pour THD<sub>Mean</sub> (fenêtre audible) et THD<sub>ITU</sub> (sensibilité acoustique). Les chiffres au-dessus des barres d'erreur indiquent les valeurs moyennes.

Par conséquent, le choix des composants non linéaires tels que les amplificateurs opérationnels et les diodes a un impact plus important sur la qualité audio de l'amplificateur lié à la distorsion, c'est-à-dire les caractéristiques de distorsion globales, que le choix du condensateur électrolytique. ↗

230702-04



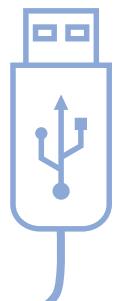
### À propos de l'auteur

René Kalbitz a étudié la physique à l'université de Potsdam et à l'université de Southampton (Royaume-Uni). Après avoir obtenu son diplôme, il a effectué ses recherches et son doctorat sur les semi-conducteurs et les isolants organiques à l'université de Potsdam. Il a acquis une expérience supplémentaire dans le domaine de la recherche appliquée à l'Institut Fraunhofer pour la recherche appliquée sur les polymères. Il a rejoint Würth Elektronik en 2018 en tant que chef de produit pour les supercondensateurs et supervise les projets de recherche et développement dans le domaine des condensateurs.

### LIENS

[1] Kalbitz, R., « Effet acoustique des distorsions harmoniques causées par les condensateurs électrolytiques en aluminium », AppNote ANP125: <https://we-online.com/ANP125>

[2] Fellbaum, K., „Hörphysiologie und Psychoakustik. In: Sprachverarbeitung und Sprachübertragung“, pp 99-126, Springer, Berlin, Heidelberg (2012):



# test et mesure USB

## le Fnirsi FNB58

Jean-François Simon (Elektor)

Le Fnirsi FNB58 est un testeur USB polyvalent pour les mesures de tension, de courant et d'énergie, doté de nombreuses fonctions avancées. Essayons-le !

À un prix d'environ 50 €, le Fnirsi FNB58 est un testeur USB portable et polyvalent qui peut effectuer un large éventail de mesures de tension, de courant et d'énergie, ainsi que des opérations de diagnostic spécialisées pour la plupart des protocoles de charge rapide. Essayons-le !

### Aperçu général

Doté de plusieurs ports d'entrée et de sortie (USB C, USB A et micro USB), le FNB58 (figure 1) est équipé d'un écran LCD de 2 pouces pour l'affichage des mesures et de plusieurs boutons pour la navigation dans les menus. En outre, il comprend un port micro-USB pour se connecter à un PC en utilisant le logiciel de Fnirsi, ainsi qu'une interface Bluetooth qui permet de l'utiliser avec une application pour smartphone Android.

### Que pouvez-vous faire avec ?

Le FNB58 peut être utilisé pour toute une série d'opérations liées aux mesures et tests de dispositifs munis d'un connecteur USB. Il permet aux utilisateurs de mesurer les tensions et les courants d'alimentation, ainsi que d'évaluer la consommation en courant

de divers appareils mis en charge via USB, tels que smartphones et ordinateurs portables. Le FNB58 dispose également de nombreuses fonctions dédiées aux différents protocoles de charge rapide. Dans le passé, pour mesurer la consommation de courant d'un dispositif USB en cours d'utilisation, il fallait couper un câble USB en deux et utiliser à la fois un voltmètre et un ampèremètre. Il fallait ensuite laborieusement saisir les données dans une feuille de calcul pour calculer la puissance ou la capacité de la batterie. Aujourd'hui, avec les appareils USB 3 et USB C de plus en plus répandus, couper les câbles est de moins en moins praticable. C'est là qu'un instrument comme le FNB58 entre en jeu.

### Fonctions du FNB58

Le FNB58 dispose d'un écran LCD TFT de 2,0 pouces avec un bon angle de vision. La connexion à un PC est possible via un port micro-USB, et il est également possible d'utiliser une connexion sans fil Bluetooth.

Cet appareil permet d'établir des statistiques sur la tension, le courant, la capacité, la puissance et la durée. Il est capable d'enregistrer le courant et la tension, à basse vitesse (2 à 100 échantillons par seconde) ou à grande vitesse (jusqu'à 4 millions d'échantillons par seconde), ce qui permet de capturer des données détaillées. Les mesures sont effectuées en interne à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique 16 bits. Il présente notamment une résolution maximale impressionnante de 10  $\mu$ V/ $\mu$ A/ $\mu$ W. C'est très bien, mais comme nous le savons, il ne faut pas confondre résolution et précision ! On ne peut pas empêcher un certain bruit, et les derniers chiffres ne seront donc pas tous significatifs.



Figure 1. Le testeur USB FNB58.



Figure 2. Voici quelques connecteurs d'entrée/sortie et l'interrupteur de sélection PD COM.



Figure 3. Boutons et connexion PC.

L'instrument dispose de détecteurs pour divers protocoles de charge rapide et est équipé d'une puce spécifique de négociation USB-PD (Power Delivery, un protocole de recharge qui permet aux câbles et connecteurs USB type-C de délivrer une alimentation importante aux appareils). Pour plus de sécurité, un interrupteur PD COM distinct active ou désactive la négociation PD (ainsi que d'autres protocoles) du FNB58 lui-même. Vous pouvez voir quelques connecteurs d'entrée/sortie et l'interrupteur PD COM dans la **figure 2**. Lorsque l'interrupteur est en position OFF, l'appareil connecté sur la sortie conduit les négociations avec la source d'alimentation ; lorsque l'interrupteur est sur ON, le FNB58 peut initier lui-même la négociation PD.

Cependant, il faut faire attention si vous utilisez le FNB58 pour mesurer la consommation d'une charge acceptant uniquement du 5 V, tout en l'alimentant avec un chargeur PD. Dans ce cas, le déclenchement involontaire d'une opération PD par le FNB58 aurait pour conséquence de porter la sortie du FNB58 à une tension supérieure à 5 V, ce qui endommagerait l'appareil connecté en sortie.

Fnirsi recommande donc de laisser l'interrupteur sur OFF et de ne l'activer que lorsque que vous désirez intentionnellement utiliser les opérations PD du FNB58. Le FNB58 prend en charge une variété de protocoles de charge rapide, y compris QC2.0, QC3.0, Huawei FCP, SCP, Samsung AFC, PD2.0, PD3.0, VOOC/WARP, SuperVOOC 1.0/Super VOOC 2.0, et MTK-PE. Une détection automatique de ces protocoles facilite l'utilisation. Il identifie également les câbles USB E-marker ou les câbles OnePlus DASH.

## Plages de mesure

Le FNB58 étant un testeur USB, les plages disponibles sont plus restreintes que celles des multimètres :

- Tension : 4 - 28 V (peut descendre jusqu'à 0 V en cas d'alimentation externe via la connexion PC)
- Courant : 0 - 7 A
- Puissance : 0 - 120 W
- Capacité : 0 - 9999,99 Ah
- Énergie : 0 - 9999,99 Wh
- Résistance du câble : 0 - 9999,9 Ω

## Navigation dans les menus

L'interface utilisateur comporte un joystick à trois positions (gauche-droite-milieu) et un bouton de retour séparé pour la navigation dans les menus (**figure 3**). Ceux-ci sont très denses, ce qui rend la navigation un peu difficile au début. Par ailleurs :



Figure 4. Chargeur Apple 2.4 A en charge.

une pression prolongée sur le bouton BACK permet d'éteindre le rétroéclairage de l'écran, sur n'importe quelle page. Comme dans beaucoup d'instruments de ce type, on y trouve un « menu déroulant » contenant quatre pages principales, accessibles successivement à l'aide du joystick gauche/droite. Les quatre pages principales sont les suivantes :

- Vue compacte
- Vue détaillée
- Page Waveforms
- Page Applications

Étant donné que ces quatre pages principales contiennent de nombreux sous-menus, il n'est pas toujours facile de s'y retrouver. Voici une présentation des menus, ainsi que quelques détails sur les actions possibles sur certaines pages.

La vue compacte, comme son nom l'indique, ne contient que les valeurs de tension, de courant et de puissance. Vous pouvez interrompre la mesure ou la relancer en appuyant sur le bouton du milieu.

La vue détaillée montre la même chose, ainsi que des informations sur les lignes de données D+/D- et les modes de charge rapide. Une section est également consacrée aux statistiques d'enregistrement de l'énergie, en Wh et Ah. Appuyez sur le bouton du milieu pour accéder au menu relatif à l'enregistrement.

La page Waveforms comporte trois vues. La première, VBUS, affiche l'ondulation haute fréquence sur le rail d'alimentation principal. Ensuite, V/A montre les formes d'ondes de tension et de courant par un affichage déroulant. Enfin, D+/D- indique l'état des lignes de données. Dans ces modes, l'échelle verticale est réglée automatiquement et n'est pas réglable manuellement. Cependant, l'échelle horizontale peut être modifiée de 2,5 à 200 µs/div en mode VBUS, et de 0,1 to 5 s/div dans les autres modes.

La dernière page principale est Application, divisée en quatre sous-menus : Fast Charge, Energy Statistics, Toolbox, et Settings. Le premier permet la détection automatique des protocoles disponibles ainsi que divers déclenchements. Energy Statistics contient les calculs de capacité de batterie et les enregistrements. Le menu Toolbox regorge de fonctions moins souvent utilisées, telles que Cable resistance measurement, PD listener, PD converter, USB-C electronic label reader, Dash cable reader, Dash simulator, et Apple 2.4 A protocol simulator. Enfin, il est possible de modifier de nombreux paramètres de l'appareil dans le sous-menu Settings : General, Recording, Trigger, System, et About.



Figure 5. Chargeur 1 A bon marché... Oups !



Figure 6. Étalonnage du mode « Resistance Measurement ».

## Étude de cas n° 1 : évaluation des performances de chargeurs USB

Tous les chargeurs ne se valent pas. Ici, je teste un ancien chargeur Apple qui prétend délivrer 2,4 A sous 5 V, et c'est effectivement le cas (**figure 4**). À l'inverse, j'ai un autre chargeur qui n'est pas à la hauteur : il est censé délivrer 1 A, mais cela paraît exagéré. Lorsqu'on tente de tirer 1 A, la tension s'effondre, tombant bien en dessous du seuil habituellement admis de 4,75 V. J'ai dû ajouter un autre câble pour alimenter le FNB58 via l'interface PC micro-USB afin de prendre une photo ; sinon, l'appareil s'éteignait (voir **figure 5**).

## Étude de cas n° 2 : mesure de la résistance des câbles USB

Il est généralement admis qu'il est préférable que la résistance d'un câble soit la plus faible possible. Cependant, l'utilisation d'un multimètre pour mesurer la résistance d'un câble USB n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire. Même les câbles de mauvaise qualité présentent des valeurs de résistance en Ohms assez faibles, typiquement environ de 1 à 2  $\Omega$  au maximum. De fait, la résistance de contact au niveau des pointes de vos sondes de multimètre devient significative.

Le FNB58 est capable de mesurer la résistance des câbles USB, mais la manière de le faire n'est pas évidente. On pourrait penser qu'il

suffit de brancher chaque extrémité du câble dans les ports correspondants du testeur, mais tel n'est pas le cas. Le FNB58 mesure la chute de tension du câble en charge, mais vous devez y brancher votre propre charge.

Tout d'abord, vous devez étalonner le testeur en le branchant directement, sans le câble à tester, entre une source d'alimentation (dans notre cas, un chargeur de téléphone) et une charge. Idéalement, la charge doit être constante. Fnirsi recommande une charge comprise entre 0,5 A et 1 A. Vous pouvez utiliser une charge DC dédiée ou des résistances de valeurs appropriées. Une autre possibilité consiste à brancher un appareil qui consomme du courant, comme un téléphone qui recharge sa batterie, par exemple (voir **figure 6**). Une brève pression sur le bouton du milieu permet de mémoriser la tension au niveau du connecteur d'entrée. Ensuite, vous pouvez modifier le branchement et ajouter le câble que vous souhaitez tester, en série entre la source d'alimentation et le FNB58 (voir **figure 7**).

Une fois que vous avez tout rebranché, le FNB58 redémarre, et si vous allez à nouveau dans le menu *Cable resistance measurement*, l'appareil affichera la résistance introduite par l'ajout du câble. Dans ce cas, 142 m $\Omega$ . Vous pouvez voir que les câbles dans la **figure 8** et **9** sont bons. Et ce tout nouveau câble USB-C (**figure 10**) est calamiteux.



Figure 7. Un câble est ajouté entre le chargeur et le FNB58.



Figure 8. Un bon câble USB.



Figure 9. Ici, une résistance suffisamment faible.

Pas étonnant que mon téléphone se recharge si lentement !  $1\ \Omega$  de résistance signifie que même avec  $1\ A$  de courant, ce qui est faible selon les normes actuelles, il y aura une perte de  $1\ volt$  dans le câble ; le téléphone ne verra que  $4\ V$  au lieu de  $5\ V$ , ce qui sera trop faible pour le circuit de charge de la batterie. Le téléphone s'en apercevra et sera obligé de réduire le courant qu'il tire, et il faudra donc beaucoup plus de temps pour recharger la batterie. Ce phénomène peut être un problème lors de la mesure de câbles présentant des valeurs de résistance assez importantes, en particulier lorsqu'un téléphone est utilisé comme charge. Si le câble est de si mauvaise qualité que le téléphone doit réduire son courant de charge, comme décrit ci-dessus, la tension de la source fluctuera,



Figure 10. Résistance trop importante dans ce câble.

rendant le FNB58 incapable de fournir un résultat significatif. Par conséquent, Fnirsi recommande d'utiliser une charge à courant constant pour cette mesure.

### Logiciel PC pour le FNB58

Le fabricant propose un logiciel sur son site web [1]. La fenêtre principale de l'application PC est présentée dans la [figure 11](#). Les valeurs mesurées en temps réel, ainsi que les courbes de tension et de courant sont représentées. L'interface présente quelques particularités qui peuvent nécessiter un temps d'adaptation. J'ai trouvé que la manipulation des courbes était particulièrement laborieuse. L'utilisation du logiciel PC ne m'a pas paru présenter d'avantage



Figure 11. Logiciel PC de Fnirsi.

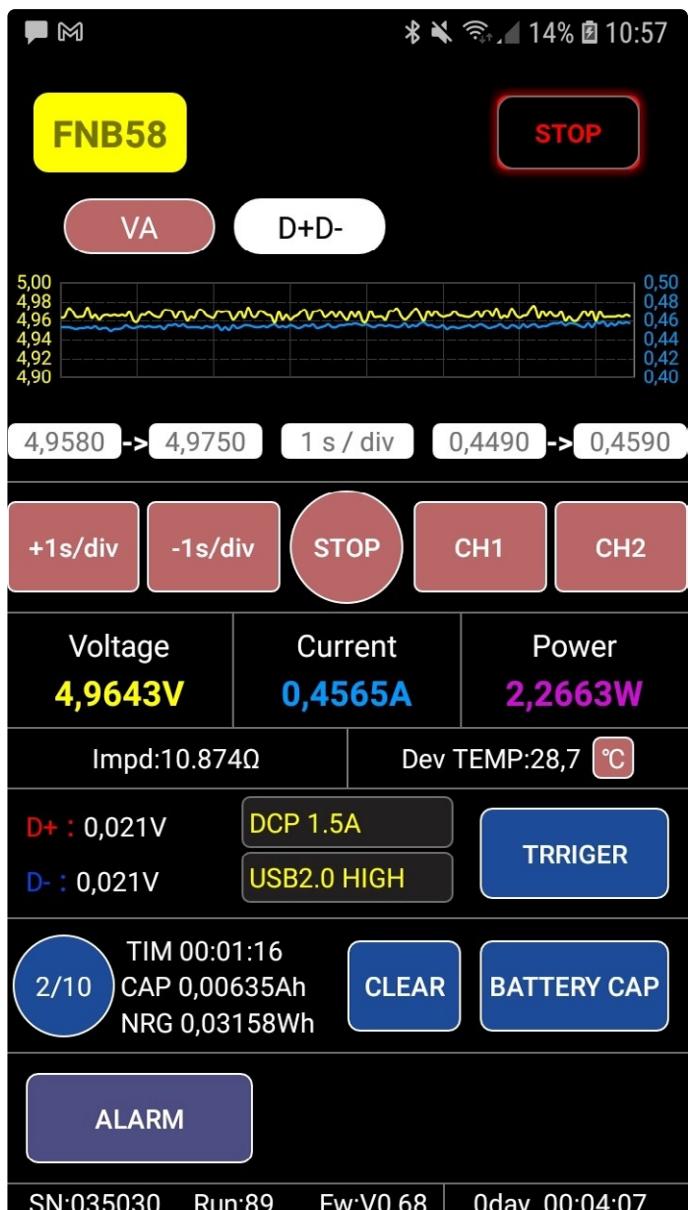


Figure 12. L'application Android de Fnirsi.

évident, sauf pour effectuer des mesures et des enregistrements prolongés (par exemple, pour analyser des batteries). Vous pouvez utiliser l'application PC pour configurer une telle mesure puis la lancer. Les courbes peuvent ensuite être sauvegardées dans un format binaire propriétaire à Fnirsi, ayant l'extension .CFN. C'est un peu décevant, car la possibilité d'enregistrer au format ".csv" serait pertinente pour un traitement postérieur des données. Heureusement, un utilisateur de GitHub, didim99, a écrit quelques scripts Python qui convertissent les fichiers .CFN en .CSV [2]. Excellent !

Il convient également de souligner un autre projet de l'utilisateur GitHub baryluk [3]. Ce projet permet à un ordinateur d'extraire directement des données en temps réel du FNB58 (et d'autres modèles similaires), sans qu'il soit nécessaire d'utiliser le logiciel Windows pour capturer les données puis les enregistrer.

### Application Android

Le FNB58 peut être acheté avec l'option Bluetooth. Si vous disposez de cette version, vous pouvez utiliser l'application Android, disponible sous forme de fichier .apk sur le site web de Fnirsi. Pour l'installer, vous devez télécharger le fichier .zip, le décompresser, cliquer sur le fichier .apk et autoriser l'installation en sélectionnant Autoriser depuis cette source sur votre smartphone. L'application prend en charge plusieurs langues ; appuyez sur le menu en haut à droite pour passer du chinois à votre langue préférée. L'écran montré sur la **figure 12** s'affiche. J'ai essayé l'application, et bien qu'elle fonctionne, je ne suis pas convaincu qu'elle soit beaucoup plus conviviale que la version intégrée ou le logiciel sur PC.

### Pour aller plus loin

Dans l'ensemble, le FNB58 est un instrument assez complet, qui vous permet d'effectuer une myriade de mesures utiles, que ce soit à la maison ou au laboratoire. Il arbore un design élégant et robuste et possède pratiquement toutes les fonctionnalités que l'on peut attendre d'un testeur USB de ce type. Vous pourrez diagnostiquer sans effort les problèmes liés aux chargeurs, aux câbles et aux batteries de secours (USB Powerbanks), mais aussi mettre à profit votre créativité en utilisant le FNB58 pour effectuer des mesures en courant continu assez précises, à condition de rester dans ses limites (0 à 28 V, 0 à 7 A). Cela est possible avec l'aide de quelques adaptateurs USB (comme USB vers bornes à vis), que vous pouvez fabriquer vous-même ou acheter facilement. Amusez-vous bien !

VF : Jean-Philippe Nicolet — 230674-04



### Produits

➤ **FNIRSI FNB58 Testeur USB avec Bluetooth (compteur de courant et de tension)**  
[www.elektor.fr/20578](http://www.elektor.fr/20578)

### Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

## LIENS

[1] Site web du fabricant : <https://fnirsi.com.cn>

[2] Scripts qui convertissent les fichiers CFN en CSV : <https://github.com/didim99/usbmeter-utils>

[3] Un projet d'enregistreur de données compatible avec le FNB58 : <https://github.com/baryluk/fnirsi-usb-power-data-logger>

# l'outil Pick-and-Place manuel **PIXEL Pump**

simplifier l'assemblage manuel des cartes CMS

**Clemens Valens (Elektor)**

Si vous avez déjà essayé d'utiliser des pinces pour placer manuellement des composants SMT sur une carte, vous savez à quel point l'exercice peut être difficile. Les pièces comportant plus de deux broches sont particulièrement difficiles à positionner correctement. Même si la pâte fondue dans le four tend à déplacer et à faire pivoter les composants dans le bon sens, les soudures des circuits intégrés nécessitent souvent des retouches. L'outil de positionnement manuel Pixel Pump simplifie le garnissage manuel d'une carte tout en obtenant de meilleurs résultats.

## Qui a besoin d'une machine Pick 'n' Place ?

Les machines Pick-and-Place (PnP) sont bien plus performantes que les humains, mais tout le monde n'a pas l'espace, le budget et le besoin d'une telle machine. Pour l'assemblage de prototypes et de petites séries, il existe des outils de *pick et place* pratiques et bon marché qui peuvent être automatisés jusqu'à un certain niveau. Mais, aussi peu coûteux soient-ils, l'investissement dans l'un d'entre eux reste difficile à justifier pour le non-professionnel.

## Entre une pince à épiler et une machine PnP

La Pixel Pump [1] est un outil PnP qui vise à combler le vide entre le garnissage manuel d'une carte avec une pince à épiler et une machine PnP à bas coût. Avec cet outil, le placement des pièces reste manuel, mais avec une précision et un confort accrus. Au



lieu de laisser tomber les pièces au mauvais endroit ou de racler accidentellement la pâte des pastilles en ouvrant ou en retirant votre pince à épiler, la Pixel Pump vous permet de positionner et de déposer un composant exactement là où vous le souhaitez.

## Prend peu de place sur l'établi

La Pixel Pump ressemble à une petite station de soudage, sauf que la pointe du fer ne chauffe pas, mais aspire de l'air à la place. Cela lui permet de saisir de petits objets tels que les CMS. Même si c'est ce qui nous intéresse le plus dans cet article, je peux imaginer que la Pixel Pump est très utile dans d'autres applications, comme la préparation de substrats pour les microscopes ou la fabrication de bijoux et d'autres objets miniatures.

## Commande par pédale

La prise et la pose d'éléments sont commandées par une pédale, et vous pouvez même en avoir deux. La seconde (non incluse dans le kit) est généralement utilisée pour parcourir la liste des composants.

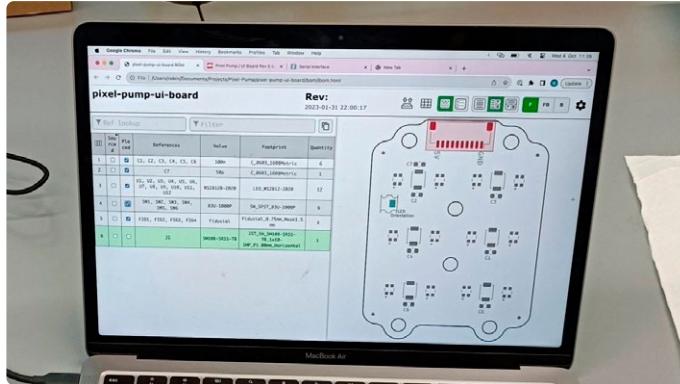


Figure 1. La deuxième pédale de la Pixel Pump vous permet de parcourir la liste des composants, par exemple.

Elle est compatible avec le plugin *Interactive HTML BoM* pour KiCad, mais elle peut être configurée pour contrôler n'importe quel programme.

Outre la commande de la pédale pour prendre et déposer des pièces, les boutons poussoirs de la pompe vous permettent de faire la même chose. Leurs modes de fonctionnement (haut/bas, pressions longues ou courtes) sont configurables.

## Buses

Le flux d'air est contrôlé de deux manières, soit en changeant de buse, soit en ajustant sa force à l'aide des boutons-poussoirs. La Pixel Pump est livrée avec cinq buses différentes, et vous en recevez

cinq de chaque. Pourquoi autant, vous demanderez-vous ? Eh bien, certaines d'entre elles sont très fines et peuvent s'abîmer facilement, il est donc préférable d'en avoir en stock. De plus, il est possible d'aspirer accidentellement de la pâte à braser et de boucher la buse. La Pixel Pump dispose d'une fonction spéciale d'inversion pour les situations de ce type, qui permet de souffler l'air au lieu de l'aspirer, mais cela peut ne pas résoudre le problème dans tous les cas. Notez qu'un filtre empêche les particules de pénétrer dans la pompe.

## La pose demande un peu d'exercice

Il est facile d'attraper des composants. Par défaut, il suffit d'appuyer sur la pédale et de la maintenir enfoncée. Relâchez la pédale pour déposer la pièce. J'ai trouvé cela un peu difficile au début, car il faut un peu d'exercice avant que la pose soit parfaite. Le fonctionnement de la pédale est configurable, ce qui vous permet de l'adapter à vos préférences. Avant de prendre une pièce, vous devez installer la buse qui convient le mieux à votre composant. La plus grande buse peut facilement avaler des pièces de la taille de 0102, soyez donc prudent.

## Tuyau super flexible

Si, comme moi, vous tenez un fer à souder de la même manière qu'un crayon, vous trouverez peut-être que le tuyau d'air flexible vous gêne un peu lorsque vous voulez prendre le « fer ». Etant donné que sur les fers à souder, le câble d'alimentation dépasse souvent du fer, de sorte que vous pouvez facilement passer votre main en dessous pour saisir le fer. Le tuyau d'air de la Pixel Pump, en revanche, est si flexible qu'il tombe directement vers le bas. Cela vous oblige à regarder ce que vous faites.

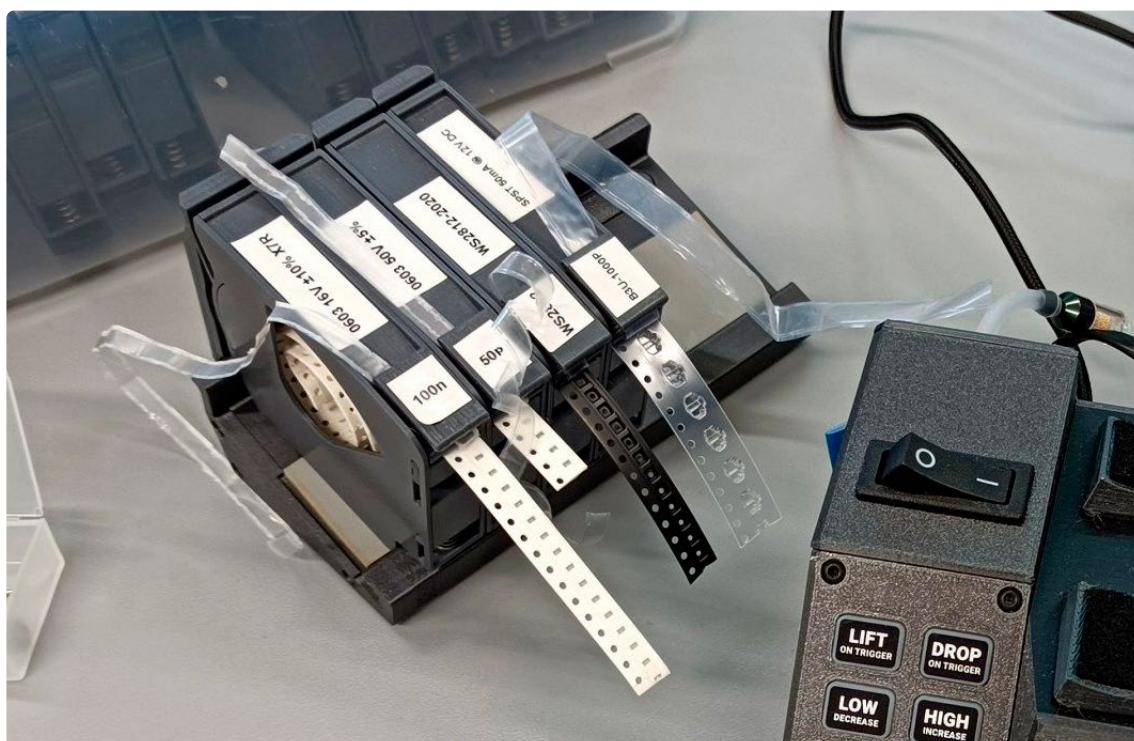


Figure 2. Super pratique : un rack de magazines SMT avec des composants souvent utilisés.



Figure 3. La Pixel Pump et son créateur Robin Reiter.

## Rails pour magazines SMD

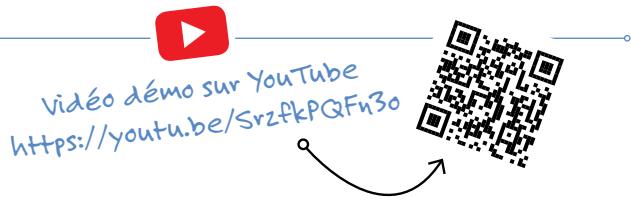
Le kit d'évaluation était livré avec huit magazines pour composants SMT et un rail pour les clipser. Au début, on peut se demander pourquoi on en aurait besoin, mais ils montrent rapidement leur potentiel. Ils sont destinés à contenir des bandes avec des pièces, et ils vous permettent de déballer les composants d'une main tout en les aspirant avec le Pixel Pump de l'autre. Une fois que vous en aurez fait l'expérience, vous ne voudrez plus revenir aux pièces éparpillées sur votre établi ou à toute autre méthode antérieure. Un deuxième avantage est qu'ils offrent un excellent moyen de stocker vos pièces. Constituez un rail avec les pièces que vous utilisez souvent et ne les cherchez plus jamais. Cela vous incite également à raccourcir vos listes de composants.

## La Pixel Pump est piratable et open source

Un aspect intéressant de la Pixel Pump est qu'elle est piratable. Cela est souligné par les pièces imprimées en 3D qui composent l'outil. L'électronique à l'intérieur de la pompe est basée sur un microcontrôleur Raspberry Pi RP2040 fonctionnant avec MicroPython. Le code source et les instructions de construction de celui-ci se trouvent sur GitHub. Lorsqu'elle est mise en mode bootloader, vous pouvez mettre à jour son firmware. Cela fonctionne de la même manière que sur une carte Raspberry Pi Pico.

## Interface série

Lorsqu'elle n'est pas en mode bootloader, la Pixel Pump expose un port série. La documentation est disponible sur le site web de Pixel Pump [2]. Les commandes utilisent les deux points (':') comme séparateur (la communication est basée sur JSON), donc pour obtenir la version actuelle du firmware, vous tapez `version:info`. La réponse est une longue chaîne de caractères qui, dans mon cas, commence par V1.0.1. La commande `settings:dump` permet d'obtenir une liste des paramètres actuels de la Pixel Pump. Vous pouvez également les modifier, mais c'est à vous de trouver les commandes. Notez que vous pouvez la mettre en mode bootloader en entrant la commande `bootloader`.



## Des meilleurs résultats

La Pixel Pump est un outil intéressant pour améliorer la précision du pick-and-place manuel. Comme une partie du placement reste manuelle, elle ne sera pas d'une grande aide pour les personnes dont les mains tremblent. D'un autre côté, comme vous pouvez prendre des pièces sans créer de tension physique dans votre main, le positionnement des pièces devient plus précis. De plus, comme vous pouvez laisser tomber les pièces d'une petite hauteur au-dessus de la carte, le risque de toucher ou de gratter la pâte à braser sur les pastilles voisines est beaucoup plus faible.

La plupart du temps, j'avais besoin de deux mains pour positionner une pièce avant de la déposer. Même si j'ai manifestement besoin de plus d'entraînement, après avoir refondue la carte garnie, j'ai obtenu l'un des meilleurs résultats que j'aie jamais eus avec des cartes garnies manuellement. Aucune retouche n'a été nécessaire, pas même sur la pièce LQFP à 48 broches à pas fin. ▶

VF : Maxime Valens — 230700-04

## Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



## Produits connexes

- **Pixel Pump – Machine de Pick-and-Place pour l'Assemblage CMS Manuel**  
[www.elektor.fr/20575](http://www.elektor.fr/20575)
- **Magazine CMS pour Pixel Pump (Pack de Huit) – Organisation de Composants CMS**  
[www.elektor.fr/20576](http://www.elektor.fr/20576)
- **Rail de magazines CMS pour Pixel Pump**  
[www.elektor.fr/20577](http://www.elektor.fr/20577)

## LIENS

[1] Pixel Pump : [https://www.elektor.fr/pixel-pump-pick-and-place-machine-for-manual-smt-assembly](http://www.elektor.fr/pixel-pump-pick-and-place-machine-for-manual-smt-assembly)

[2] Documentation : [https://robins-tools.com/pixel-pump/docs/getting-started](http://robins-tools.com/pixel-pump/docs/getting-started)

[3] Vidéo de test de la Pixel Pump : <https://youtu.be/SrzfkPQFn3o>

# REJOIGNEZ NOTRE COMMUNAUTÉ

TELECHARGEZ GRATUITEMENT



Abonnez-vous maintenant à [elektormagazine.fr/ezine-24](https://elektormagazine.fr/ezine-24)





# visite à domicile

naguère, dans un pays lointain...

Eric Bogers (Elektor)

J'ai récemment passé deux mois à Almaty, l'ancienne capitale du Kazakhstan. La ville et le pays méritent le détour : la vie y est agréable et les paysages sont magnifiques. Mais je ne suis pas là pour la carte postale. Ce que j'aimerais partager avec vous, ce sont deux histoires d'électronique qui s'entrecroisent dans le temps et dans l'espace.

Vous souvenez-vous de l'époque où existaient encore des magasins d'électronique ? On y trouvait à peu près de tout, et on pouvait commander ce qu'on voulait. Les composants étaient rangés dans des petits tiroirs occupant la façade de vastes armoires murales. Qu'un vendeur soit capable d'ouvrir le bon tiroir sans hésitation m'a toujours semblé un petit miracle.

Bon nombre de ces magasins n'ont pas survécu à l'arrivée des fournisseurs en ligne. Si ma mémoire ne me trahit pas, le magasin de Breda, celui où j'ai passé tant d'heures durant ma jeunesse, et aussi laissé une grande partie de mon argent de poche, a ainsi dû mettre la clé sous la porte en 2016. C'est vraiment dommage. Vous pouviez y acheter une seule résistance de 15 kΩ pour quelques centimes, et aussi recevoir de précieux conseils ou échanger des idées avec d'autres chalands. Je ne dois pas être le seul à regretter la disparition de ces magasins.

Lors d'une de mes promenades à Almaty, j'ai eu l'agréable surprise de tomber sur une de ces boutiques à l'ancienne, au nom approprié de **LED** (fig. 1). La propriétaire (une dame sympathique d'âge moyen) m'a permis d'en

Figure 1. Le magasin de la rue Muchtar Auesov, à Almaty.



Figure 2.  
Des petits tiroirs...



Figure 3....  
encore  
des petits  
tiroirs.



Figure 4.  
Besoin d'un  
connecteur  
audio ou  
vidéo ?



Figure 5. Vitrine  
fourre-tout.

prendre quelques photos (fig. 2 à 5). Elles sont pour moi comme un voyage dans le temps.

J'espère que ce magasin existera encore longtemps, mais avec toutes les importations bon marché venues de Chine (dont la frontière n'est qu'à un jet de pierre), il est permis d'en douter. En passant, l'article jaune de la figure 5 n'a rien d'électronique : il s'agit d'un hydromètre à alcool, instrument bien pratique dans ce pays pour voir si une vodka a été diluée.

La république du Kazakhstan a fait partie de l'URSS jusqu'en 1991, année de son indépendance [1], mais même à l'époque soviétique le pays comptait bien sûr de nombreux amateurs d'électronique.



Un jour, ayant à vider des armoires, je suis tombé sur de « mystérieuses » boîtes servant à l'origine à stocker

des films de 8 mm – du moins en avaient-elles l'apparence. Quelques-unes contenaient d'anciens composants électroniques, certains inutilisés, d'autres dessoudés avec soin de circuits imprimés (fig. 6 et 7). Une des boîtes était remplie à ras bord de petite quincaillerie – vis, écrous et autres boulons dont on a toujours besoin. Si ces petites pièces avaient été si soigneusement conservées, c'est que les habitants de l'ex-Union soviétique n'avaient pas la possibilité de se rendre dans une quincaillerie pour acheter un sachet de vis M3.

J'ai découvert avec grand intérêt les transistors d'une des boîtes (fig. 8). Leurs caractéristiques avaient apparemment été mesurées puisque leur gain ( $\beta$ ) était noté sur un bout de papier (fig. 9). Tous étaient des PNP au germanium d'origine russe (P401, P403 et P416). Leurs fiches techniques sont faciles à trouver en ligne, mais pour des raisons de droits d'auteur nous ne pouvons les reproduire ici. Les P401 (en fait des n401) servent aux changeurs de fréquence ou aux oscillateurs des récepteurs AM ; les P401 et P403 sont des transistors (V)HF. Et voici la dernière pièce du puzzle : ces boîtes appartenaient à un ingénieur des mines, plongeur passionné et cinéaste amateur, mais surtout radioamateur (« à l'écoute ») perfectionnant sans cesse ses récepteurs. Il s'appelait Marat Insanbayev et était mon beau-père (fig. 10). Je n'ai jamais eu l'occasion de le rencontrer – il est décédé six mois avant ma première visite au Kazakhstan. 

VF : Hervé Moreau — 230431-04



### À propos de l'auteur

Eric Bogers est traducteur et graphiste indépendant. Rédacteur depuis quelques années pour Elektor, il a aussi conçu plusieurs circuits pour *Elex*, le petit frère d'Elektor de 1983 à 1993. Eric est né aux Pays-Bas à Breda, a grandi dans la province de Drenthe, et depuis 2006 vit en Allemagne avec son épouse Gulna et leur chat Mimi.

### LIENS

[1] Le Kazakhstan sur Wikipédia :  
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Kazakhstan>



Figure 6. Les composants d'une des boîtes.



Figure 7. Petites capsules temporelles...



Figure 8. Transistors russes au germanium.



Figure 9. Mesurés et étiquetés.



Figure 10. Marat Insanbayev.

**Des questions, des commentaires ?**  
 Contactez la rédaction d'Elektor à l'adresse redaction@elektor.fr.



## « Dans le monde de l'éthique en électronique, même les petits pas peuvent avoir un impact significatif. »

Doris Wagner

Directrice des politiques publiques et de l'ESG

Dans cet entretien révélateur, nous discutons de l'importance du comportement éthique et des responsabilités des entreprises en matière de durabilité environnementale. Rejoignez-nous pour découvrir l'équilibre entre l'innovation, le profit et les responsabilités éthiques dans la création d'un avenir durable.

### Quel est votre rôle à Messe München ?

En tant que directeur du département Politique publique et ESG, je suis responsable de la mise en œuvre et du développement de la stratégie de développement durable de l'entreprise, ainsi que du programme de développement durable visant à réduire nos émissions de gaz qui sont nocifs pour le climat. De plus, je suis responsable des rapports ESG, qui deviendront obligatoires pour Messe München en vertu de la directive européenne CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*). Le deuxième pilier de mon rôle concerne le réseautage politique de l'entreprise.

### Quels sont les moyens par lesquels Messe München favorise et met en évidence les pratiques éthiques et durables dans l'industrie (électronique), à l'occasion de ses salons et événements ?

En tant que premier salon mondial de l'électronique, *electronica* est le point de rencontre international de l'industrie, réunissant et favorisant la mise en réseau des acteurs du secteur. *Electronica* 2022 était placé sous la devise « Favoriser le progrès durable (*Driving sustainable progress*) », abordant l'impact de l'industrie sur les sujets sociétaux actuels tels que la transformation énergétique, la pénurie de main-d'œuvre qualifiée et la gestion éthique de la chaîne d'approvisionnement.

Le salon encourage notamment les solutions pour une répartition et une utilisation durables et éthiques des ressources découlant de l'e-mobilité, de l'énergie intelligente et de l'automatisation. Pour *electronica* 2024, comme ce fut déjà le cas en 2022, l'un des principaux sujets de discussion sera l'image future d'une société tout électrique basée sur des énergies produites neutres en CO<sub>2</sub>.

**Quelles mesures Messe München prend-elle pour encourager les entreprises (électroniques) à adopter des pratiques plus durables et éthiques, telles que l'approvisionnement responsable et les objectifs de réduction des émissions de carbone ?**

De manière générale, nous voulons inciter les visiteurs et les exposants à assumer la responsabilité de l'empreinte CO2 lors de leur présence au salon. Nous recommandons généralement aux exposants d'utiliser des systèmes de montage de stands durables. Pour nos propres stands, nous utilisons principalement le système de stand WOODI, un produit de notre filiale meplan. Ce système de stand modulaire de haute qualité a été développé selon les principes de l'économie circulaire, et est produit avec des ressources renouvelables. Malheureusement, toutes les émissions de CO2 ne peuvent pas être évitées. C'est pourquoi nous avons créé nos propres produits afin de donner aux visiteurs et aux exposants la possibilité de prendre leurs responsabilités en ce qui concerne les émissions résiduelles. En optant pour le billet d'entrée GoGreen, les visiteurs peuvent soutenir des projets de protection du climat, sur la base des émissions de CO2 émises lors de leurs déplacements depuis et vers le lieu de l'exposition. L'audit GoGreen propose à nos exposants de calculer les émissions de CO2 de leur stand d'exposition, pour lesquelles ils peuvent ensuite verser une contribution à des projets de protection du climat.

*Pour nous, en tant qu'organisateur de salons professionnels, le thème du développement durable est également l'un des plus grands défis de notre époque.*

Les thèmes liés au développement durable sont intégrés dans le programme général de la plupart de nos salons et événements, souvent en y consacrant des forums, des podiums et des zones spéciales.

Par exemple, ISPO et Outdoor by ISPO ont mis en place un pôle de gestion durable dans lequel ils donnent aux entreprises la possibilité de présenter leurs efforts en matière de pratiques durables dans l'industrie du sport. *Electronica* a accueilli le « World Ethical Electronic Forum » en 2022 et a ainsi offert une plateforme à des experts indépendants en matière d'éthique, y compris des chercheurs, des éducateurs, des représentants d'ONG et d'entreprises, pour discuter de l'importance et du rôle de l'éthique dans l'industrie de l'électronique.

**Le rôle de Messe München dans la promotion de l'éthique et de la durabilité dans diverses industries est celui d'un facilitateur de transfert de connaissances, de génération d'idées et de mise en réseau. Nous sommes une source d'information clé et un fournisseur de plateformes pour les professionnels et les consommateurs.**

<b>Nom</b>	Doris Wagner
<b>Pays</b>	Allemagne
<b>Société</b>	Messe München
<b>Fonction</b>	Directeur de la politique publique et de l'ESG
<b>Sexe, âge</b>	Femme, 60
<b>Citation favorite</b>	« Le changement climatique est la plus grande menace pour un avenir durable mais, en même temps, relever le défi climatique offre une occasion en or de promouvoir la prospérité, la sécurité et un avenir plus radieux pour tous. » Ban Ki-Moon, ancien secrétaire général de l'ONU.
<b>Taille de la société</b>	941 Employés (au niveau du groupe), 563 Employés (Messe München)
<b>E-mail</b>	doris.wagner@messe-muenchen.de
<b>Site internet</b>	<a href="http://www.messe-muenchen.de">www.messe-muenchen.de</a>



Voir le profil complet sur le site [ethicsinelectronics.com/profiles](http://ethicsinelectronics.com/profiles)



Reinhard Pfeiffer, PDG de Messe München, a remis le prix à Frank Stührenberg, PDG de Phoenix Contact, lors du WEEF 2022.

# éthique en électronique

les lignes directrices de l'OCDE et la loi allemande sur le devoir de diligence dans la chaîne d'approvisionnement



Par l'équipe d'Ethics in Electronics

Lors de Productronica 2023 à Munich, la Fondation Lenthe a présenté le concept du Guide d'Ethics in Electronics, conçu après des séances de brainstorming et à la demande d'équipes et d'entrepreneurs éthiques/SDG/PR. Les nouvelles lois et réglementations dans le domaine de l'entrepreneuriat (éthique) responsable doivent donner lieu à une communication commerciale nouvelle, uniforme et objective.

## Comment y parvenir : un esprit d'entreprise éthiquement responsable ?

L'entrepreneuriat éthiquement responsable consiste à diriger son entreprise d'une manière éthique, honnête et responsable. Dans cette approche, les stratégies et les politiques sont liées à des principes éthiques, où le comportement éthique est récompensé et les normes éthiques sont encouragées dans la pratique quotidienne. L'éthique implique également la prise de responsabilité individuelle, la bienveillance et le respect (interactions professionnelles entre collègues), l'honnêteté et la prévention des conflits.

## Quels sont les avantages d'un entrepreneuriat éthiquement responsable ?

L'entrepreneuriat éthiquement responsable présente plusieurs avantages, tels que la fidélisation de la clientèle, l'amélioration de la réputation, le maintien des bons employés, la création d'un environnement de travail positif, la prévention des problèmes juridiques et la création de valeur à long terme.

## Existe-t-il des normes internationales pour un entrepreneuriat éthiquement responsable ?

Les principales normes sont les principes directeurs de l'OCDE à l'intention des entreprises multinationales. Il s'agit de recommandations des pays de l'OCDE aux entreprises pour qu'elles agissent de manière responsable dans des domaines tels que les droits de l'homme, les droits du travail, l'environnement, la corruption et les intérêts des consommateurs. Les principes directeurs de l'OCDE ont été établis en 1976 par l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), et ont été mis à jour à plusieurs reprises, la dernière fois en juin 2023. Cinquante et un pays ont adopté les principes directeurs de l'OCDE, s'engageant ainsi à promouvoir et à contrôler leur mise en œuvre par leurs entreprises.

Les principes directeurs comprennent un chapitre intitulé « Guide OCDE sur le devoir de diligence pour une conduite responsable des entreprises », un processus qui aide les entreprises à identifier et à traiter les risques et les impacts négatifs de leurs activités et de

leurs chaînes d'approvisionnement. L'OCDE a également élaboré un Guide OCDE sur le devoir de diligence pour une conduite responsable des entreprises et plusieurs orientations spécifiques au secteur pour aider les entreprises à appliquer les principes directeurs de l'OCDE. Il existe également un site web de l'OCDE très instructif [1].

## Qui est visé par les principes directeurs de l'OCDE ?

Tous les pays membres de l'OCDE (y compris l'Allemagne) ont élaboré et approuvé les principes directeurs. Chaque pays qui approuve les principes directeurs de l'OCDE dispose d'un point de contact national (PCN) qui veille au respect des principes directeurs. Il est important de noter que le respect des principes directeurs de l'OCDE par les entreprises est volontaire, mais le gouvernement accorde une grande importance au respect de ces principes par les entrepreneurs.

## Application des principes directeurs de l'OCDE

Le respect des principes directeurs de l'OCDE est contrôlé dans chaque pays par le Point de contact national (PCN). Il s'agit de veiller au respect des principes et de jouer un rôle éducatif et promotionnel auprès des entreprises, de la société civile et des autres PCN dans les pays qui ont adhéré à la déclaration.

De plus, les organisations de la société civile ou les syndicats qui souhaitent inspecter une usine peuvent y accéder plus facilement. Ces organisations peuvent ensuite déposer une plainte auprès d'un Point de contact national de l'OCDE. Les entreprises doivent être réceptives à ces plaintes.

Il est également important de mentionner que des études de suivi périodiques sont menées sur le respect des lignes directrices de l'OCDE. Ces études permettent d'identifier les domaines dans lesquels des améliorations sont nécessaires, et de garantir la transparence des efforts déployés par les entreprises pour se conformer aux lignes directrices.

Le PCN allemand est situé au ministère fédéral de l'économie et de l'énergie à Berlin. Il s'agit d'un organisme indépendant composé de représentants du gouvernement fédéral, des entreprises, des syndicats et de la société civile.

## ASML remporte le prix du meilleur rapport annuel

Récemment, aux Pays-Bas, la société ASML a remporté le prix FD Henri Sijthoff dans la catégorie la plus importante, "AEX". Il s'agit de la récompense la plus prestigieuse aux Pays-Bas pour les rapports annuels et la communication d'entreprise.

C'est la première fois que le fabricant néerlandais de machines à fabriquer des puces reçoit ce prix. « L'entreprise de Veldhoven sait expliquer exactement ce qu'elle fait », déclare le jury dans son rapport. En outre, ASML parvient à décrire clairement les tendances du marché. Une attention particulière est également accordée à la société et à la durabilité, comme l'utilisation efficace de l'énergie, l'empreinte CO2 et l'économie circulaire. Des calendriers sont fournis, ainsi qu'un rapport sur les performances.

### Tendance

Le jury estime que les rapports sur le développement durable s'améliorent. Toutes les entreprises prêtent attention aux informations non financières concernant, par exemple, le climat et l'environnement, la satisfaction des clients et des employés, en plus des informations financières. Ces informations sont de plus en plus souvent présentées de manière intégrée. Le jury considère qu'il s'agit d'une évolution positive. L'impact sur le climat, par exemple, est de plus en plus mesuré et rapporté ; l'azote fait également l'objet d'une attention croissante. Tout n'est pas mesurable sans équivoque, et les entreprises sont visiblement confrontées à ce problème. Presque toutes les entreprises rendent compte de leur empreinte CO2 et se sont fixé des objectifs pour 2030.

Source : rapport du jury, prix FD Henri Sijthoff 2023



## La loi allemande *Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz*, qui est entrée en vigueur en 2023, est-elle comparable aux lignes directrices de l'OCDE sur le devoir de diligence pour une conduite responsable des entreprises ?

Ces deux lignes directrices visent à aider les entreprises à identifier, prévenir ou limiter les effets négatifs réels et potentiels, et à en rendre compte. Elles favorisent également une compréhension commune, parmi les gouvernements et les parties prenantes, de l'application raisonnable en matière de conduite responsable des entreprises.

Mais il existe aussi des différences importantes entre les deux :

- Champ d'application : les principes directeurs de l'OCDE s'appliquent à tous les types d'entreprises actives dans tous les pays et dans tous les secteurs de l'économie. En revanche, la loi allemande *Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz* s'applique spécifiquement aux entreprises basées en Allemagne, et à leur chaîne d'approvisionnements.
- Statut juridique : les principes directeurs de l'OCDE sont des recommandations des gouvernements aux entreprises, mais ils ne sont pas juridiquement contraignants. La *Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz*, en revanche, est une loi allemande, et les entreprises qui y sont soumises sont légalement tenues de se conformer à ses dispositions.
- Mise en œuvre et application : la mise en œuvre des lignes directrices de l'OCDE est étayée par des explications pratiques et claires sur la manière dont la diligence raisonnable peut être exercée. Contrairement aux lignes directrices de l'OCDE, qui sont essentiellement autoréglementées, la loi sur le devoir de diligence comprend des mécanismes d'application spécifiques, y compris des sanctions possibles pour les entreprises qui ne se conforment pas à la loi.

## Obligations de la *Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz*

La *Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz*, également connue sous le nom de *Lieferkettengesetz*, est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2023. Elle réglemente la responsabilité des entreprises en matière de respect des droits de l'homme dans les chaînes d'approvisionnement mondiales. Cela inclut, par exemple, la protection contre le travail des enfants, le droit à une rémunération équitable et la

## Les ODD comme ligne directrice pour la grande réinitialisation ( The Great Reset )

Le *Great Reset* est une proposition du Forum économique mondial (WEF) visant à reconstruire durablement l'économie mondiale après la pandémie de COVID-19. Klaus Schwab, fondateur et directeur exécutif du WEF, affirme que nous devrions saisir cette occasion pour améliorer la forme actuelle du capitalisme.

Selon Monsieur Schwab, les 17 ODD de l'Agenda 2030 et le plan d'action des Nations Unies devraient guider cette amélioration. Il estime que les possibilités offertes par la « quatrième révolution industrielle », avec les technologies intelligentes modernes telles que l'intelligence artificielle, l'impression 3D, la 5G et l'internet des objets - jouent un rôle important à cet égard.

## Complot : Domination mondiale...

Il existe des théories du complot au sujet de la Grande Réinitialisation. Ces théories suggèrent que le WEF exploite la pandémie de COVID-19 pour installer une dystopie inspirée du socialisme, où une élite mondiale (financière) s'empare de tous les pouvoirs au détriment de la souveraineté nationale, de la démocratie et de la vie privée des citoyens. Ces théories du complot ne sont pas fondées sur des faits et sont généralement diffusées par des personnes ayant un agenda politique ou idéologique spécifique.

protection de l'environnement. Les entreprises allemandes doivent donc s'acquitter de devoirs de diligence définis. Ces obligations s'appliquent à leur propre secteur d'activité, aux actions d'un partenaire contractuel et aux actions d'autres fournisseurs (indirects). Cela signifie que la responsabilité des entreprises ne s'arrête plus à la porte de leur usine, mais qu'elle existe tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Les entreprises doivent d'abord identifier, évaluer et hiérarchiser les risques dans leurs chaînes d'approvisionnement. Sur la base des résultats, elles publient une déclaration de principes et prennent des mesures pour prévenir ou minimiser les violations des droits de l'homme et les dommages environnementaux. La loi explique quelles sont les mesures de prévention et de correction requises. D'autres obligations incluent la mise en place de canaux de réclamation pour les personnes impliquées dans les chaînes d'approvisionnement, et l'établissement de rapports réguliers sur la gestion des chaînes d'approvisionnement. Grâce à la loi, les acteurs des chaînes d'approvisionnement, les entreprises et les consommateurs bénéficient d'une sécurité juridique et d'une base fiable pour gérer des chaînes d'approvisionnement durables, avec des voies d'approvisionnement résilientes.

La *Lieferkettengesetz* s'applique aux entreprises d'au moins 3 000 salariés à partir de 2023 et, à partir de 2024, aux entreprises d'au moins 1 000 salariés en Allemagne. Elle renforce les droits de l'homme et la protection de l'environnement, notamment la protection contre le travail des enfants, le travail forcé, la discrimination, la protection contre l'accaparement des terres, la protection du travail et de la santé, le droit à des salaires équitables, le droit de former des syndicats et la protection contre les violations de la législation environnementale.

Le respect de la loi est contrôlé par le *Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle* (BAFA), qui dispose de pouvoirs d'intervention et peut imposer des amendes.



## La publicité est la nouvelle frontière des défenseurs du climat

Selon une étude, plus de la moitié des affirmations relatives au développement durable dans l'UE sont trompeuses. De nouvelles règles européennes rendent le greenwashing plus difficile.

Les défenseurs du climat plaident en faveur d'une interdiction supplémentaire de la publicité : la publicité fossile perpétue les normes fossiles ». L'hypocrisie dans la publicité est difficile à combattre, mais l'UE va tenter de rendre plus difficile pour les entreprises de faire des déclarations vertes aux consommateurs. Les entreprises peuvent presque librement faire de la publicité avec des allégations durables. Cette situation est désavantageuse pour les consommateurs et les entreprises qui produisent réellement de manière durable. L'Europe est en train d'introduire une nouvelle législation pour lutter contre ce « greenwashing ». Les défenseurs du climat préféreraient que certaines entreprises ne soient en aucun cas autorisées à faire de la publicité.

Jan Willem Bolderdijk, spécialiste des sciences du comportement, et professeur de marketing et de développement durable à l'université d'Amsterdam, déclare : « ce qui vous vient facilement à l'esprit détermine votre opinion. C'est ce qu'on appelle l'heuristique de disponibilité. Par exemple, si vous ne suivez pas de près les activités d'une entreprise, votre perception de sa politique de développement durable se fonde davantage sur la publicité. Il peut en résulter une opinion plus favorable qu'elle ne le mérite. »

Avec la loi CSRD, qui oblige les entreprises à rendre compte de leur impact sociétal, le législateur impose la transparence. Par conséquent, il sera beaucoup plus facile de demander aux entreprises de rendre compte sur ce qu'elles font réellement. La directive sur les rapports de durabilité des entreprises (les États membres ont jusqu'à début juillet 2024 pour intégrer les dispositions de la CSRD dans leur législation nationale) et en particulier la directive sur les allégations vertes (proposée par la Commission européenne en mars 2023) font désormais porter la responsabilité de la preuve des affirmations sur les entreprises et non plus sur les consommateurs.

La nouvelle directive *Green Claims* vise à permettre aux consommateurs et aux autorités de réglementation de démontrer plus facilement qu'une allégation est incorrecte et trompeuse. Selon l'Europe, le terme « vert » sera trop vague d'ici 2026. Les entreprises devront préciser et étayer factuellement leurs allégations (« neutre sur le plan climatique », « écologique », « vert »).

La directive relative aux rapports sur le développement durable des entreprises (CSRD) et la directive *Green Claims* confieront la responsabilité de prouver les affirmations aux entreprises plutôt qu'aux consommateurs.

Les sanctions et amendes spécifiques en cas de non-respect de la directive sur les rapports de durabilité des entreprises (CSRD) dépendront de la manière dont les États membres de l'UE mettront en œuvre les réglementations CSRD. Chaque État membre de l'UE pourra introduire ses propres sanctions en cas de non-conformité lors de la transposition de la CSRD dans la législation nationale. Il est probable que les sanctions introduites seront basées sur les sanctions actuelles mises en œuvre, lorsque les États membres ont transposé la directive sur le reporting non financier (NFRD).

Source : *Marceline Bresson, Het Financieele Dagblad*

## Quel est le lien entre les principes directeurs de l'OCDE et les 17 objectifs de développement durable des Nations unies ?

Les lignes directrices de l'OCDE et les 17 objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies visent tous deux à promouvoir la durabilité et l'entrepreneuriat responsable, mais leurs domaines d'intervention sont différents.

Les principes directeurs de l'OCDE sont des recommandations aux entreprises sur la manière d'agir de manière responsable dans des domaines tels que l'emploi, les droits de l'homme, la responsabilité de la chaîne d'approvisionnement, l'environnement, les intérêts des consommateurs et la concurrence. Ils fournissent des conseils aux entreprises sur la manière de traiter ces questions.

Les ODD sont 17 objectifs mondiaux fixés par les Nations unies dans le but de mettre fin à la pauvreté, aux inégalités, à l'injustice et au changement climatique. Ces objectifs sont beaucoup plus larges et comprennent des questions telles que la fin de la pauvreté, la promotion de la santé et du bien-être, la garantie d'une éducation de qualité et la promotion de l'égalité entre les hommes et les femmes.

Si les principes directeurs de l'OCDE et les ODD abordent différents aspects de la durabilité et de l'entrepreneuriat responsable, ils peuvent se compléter. En se conformant aux principes directeurs de l'OCDE et en mettant correctement en œuvre le processus de diligence raisonnable qui y est associé, les entreprises font un grand pas vers les ODD. Ce faisant, les entreprises contribuent, par exemple, à l'instauration de conditions de travail responsables dans leur chaîne de production et à la lutte contre le changement climatique : des sujets également au cœur des ODD.

## Dans ce contexte, le WEF est souvent évoqué. Quel est le lien avec les Nations unies ?

Le Forum économique mondial (WEF) et l'Organisation des Nations unies (ONU) collaborent dans différents domaines, notamment en matière de développement durable. Depuis 2017, le WEF organise chaque année des sommets sur l'impact du développement durable dans le cadre de l'Agenda 2030, parallèlement à l'Assemblée générale de l'ONU. En juin 2019, l'ONU et le WEF ont officiellement commencé à collaborer pour accélérer la mise en œuvre des objectifs de développement durable (ODD).

Il est important de mentionner que même si le WEF, comme beaucoup d'autres organisations, peut faire pression sur l'ONU, il n'a pas d'influence directe sur la création de ces agendas. Cependant, la collaboration entre l'ONU et le WEF peut contribuer à promouvoir les objectifs de l'Agenda 2030, et à réaliser le développement durable dans le monde entier. ↗

VF : Laurent Rauber — 230706-04

### LIEN

[1] Organization for Economic Co-Operation and Development: <https://oecd.org>

# Chadèche : chargeur/déchargeur intelligent pour accus NiMh

résumé d'un projet de lecteur

Jacques Ehrlich (France)  
Texte de Jean-François Simon (Elektor)

Chadèche est un chargeur/déchargeur d'accus NiMH reposant sur un Raspberry Pi. Son logiciel permet de définir différents cycles de charge/décharge, d'enregistrer les mesures, et offre de nombreuses options de configuration. C'est parti pour un petit tour en Chadèche !



Figure 1. Un Raspberry Pi et trois cartes Chadèche.

Après avoir constaté que certains des accus NiMH de son GPS aéronautique tenaient la charge bien plus longtemps que d'autres, Jacques Ehrlich a cherché un moyen de les caractériser afin d'en sélectionner les plus performants. De là est née l'idée de *Chadèche*, contraction de **chargeur** et **déchargeur**. D'abord simple déchargeur à courant constant, l'instrument (**figure 1**) est devenu un projet de haute volée, qui plus est remarquablement documenté au travers d'un PDF de 12 pages et d'un Wiki personnel.

*Chadèche* peut charger ou décharger un accu NiMH aux formats AA ou AAA avec un courant constant réglable jusqu'à 400 mA, et enregistrer les valeurs mesurées dans un fichier. Sa conception modulaire permet de traiter de façon simultanée et indépendante jusqu'à quatre accus – un accu par carte-fille, la carte-mère (le Raspberry Pi) pouvant piloter quatre cartes-filles. Le logiciel, perfectionné, conduit les cycles de charge/décharge. Un cycle est composé de séquences, chaque séquence pouvant être définie par des conditions d'exécution telles que la tension atteinte aux bornes de l'accu, la valeur du courant de charge ou encore la durée de la charge.

## Les deux faces de *Chadèche*

Parce qu'il est à la fois outil pratique et outil de recherche, *Chadèche* offre de nombreuses possibilités. Côté utilitaire, il permet de charger des accus NiMH, d'évaluer leurs performances, de mesurer leur capacité, et d'estimer leur durée de vie par répétition de cycles de charge et décharge. Côté expérimentation, *Chadèche* offre la possibilité de tester diverses lois de charge et de décharge en faisant varier différents paramètres (intensité, durée, etc.).

Ajoutons à ceci le plaisir d'assembler un projet de A à Z, doublé de la satisfaction d'avoir en main un instrument entièrement personnalisable. L'ensemble du projet *Chadèche* est par ailleurs sous licence open source GNU.

## Une conception modulaire

Ce projet est composé de plusieurs cartes-filles *Chadèche* reliées à un Raspberry Pi via un câble en nappe à 40 contacts. Une carte ne traite qu'un seul accu. La version complète à quatre accus nécessite donc l'assemblage de quatre cartes *Chadèche*.

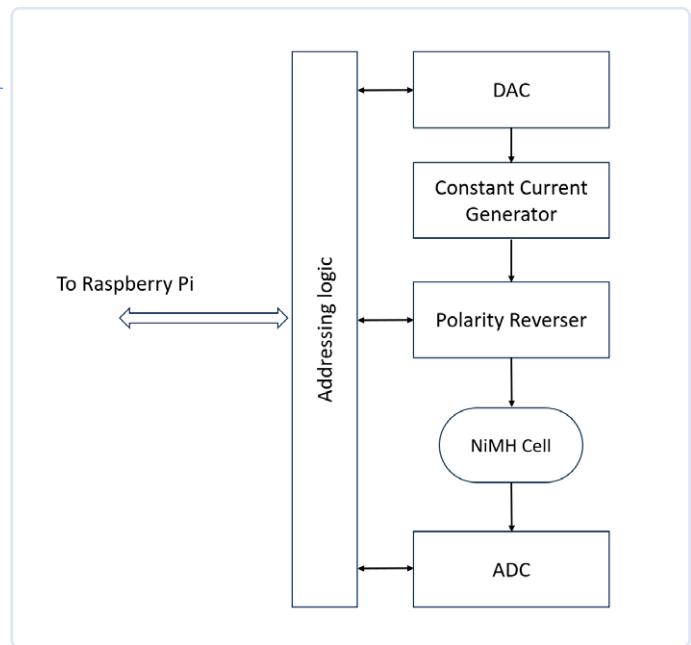


Figure 2. Schéma fonctionnel de *Chadèche*.

Le schéma de la **figure 2** montre l'architecture d'une carte-fille. On y trouve cinq blocs fonctionnels. Le premier est une source de courant constant commandée en tension, constituée d'un MOSFET *IRF540N* et d'une résistance de  $10\ \Omega$ , tous deux câblés en série avec l'accu. La tension produite aux bornes de la résistance par le passage du courant de charge est comparée à une tension de référence au moyen d'un amplificateur opérationnel. La sortie de l'ampli-op commande la grille du MOSFET – qui opère dans sa région ohmique.

Le bloc *DAC* du schéma comprend un convertisseur N/A *MCP4022* dont le rôle est de produire la tension de consigne utilisée par la source de courant constant mentionnée précédemment. Le *MCP4022* possède deux voies ; la première est utilisée à cet effet.

Le bloc *ADC* comprend un convertisseur A/N *MCP3201* numérisant la tension de l'accu afin d'en obtenir une mesure précise.

Le quatrième bloc effectue le passage de charge à décharge grâce à un relais inverseur de polarité DPDT.

Le dernier bloc est celui de la logique d'adressage, le mécanisme garantissant que le Raspberry Pi communique avec chacune des cartes (jusqu'à quatre) de façon indépendante et sans conflit. L'utilisateur définit l'adresse de chaque carte au moyen de commutateurs DIP. Il faut deux bits pour coder quatre adresses en binaire ; ils sont représentés par les deux broches d'E/S *A0* et *A1* (broches GPIO 17 et 27). Le Raspberry Pi sélectionne la carte-fille souhaitée en modifiant l'état de ces broches.

Vous trouverez le schéma complet sur la page du projet *Elektor Labs* [1] et sur le site web de l'auteur [2].

## Du concept au circuit

Outre ces blocs principaux, la conception de *Chadèche* présente plusieurs points intéressants. C'est le cas des convertisseurs N/A et A/N, commandés par le Raspberry Pi via le bus SPI. Ils partagent les broches *MISO*, *MOSI* et *CLK*, le passage de l'un à l'autre se faisant par basculement de l'état des broches de sélection de puce auxquelles ils sont associés.

Comme les broches SPI sont également partagées entre les cartes-filles, la logique d'adressage se charge aussi d'acheminer les signaux de sélection de puce vers la carte appropriée. Cette logique est obtenue

avec les quatre portes ET d'un *74HC00* et quatre des six inverseurs d'un *74HC04*.

Les convertisseurs N/A et A/N ont en outre besoin d'une référence de tension. Plutôt que d'utiliser un des rails d'alimentation comme référence, et afin d'obtenir des résultats plus précis, l'auteur a choisi un *MAX6241* d'Analog Devices.

Une facette intéressante du CA/N est son entrée pseudo-différentielle. La broche d'entrée négative, contrairement à une entrée négative flottante, est limitée à une plage de  $+/ -100\text{ mV}$  par rapport à la masse. Or, le pôle négatif de l'accu n'est pas directement relié à la masse, mais est flottant par rapport à celle-ci, à cause de la résistance série de  $10\ \Omega$ . Pour y remédier, un amplificateur différentiel à gain unitaire a été placé entre l'accu et le CA/N.

Le relais inverseur de polarité (le relais de charge/décharge) doit rester en position stable même lorsque le Raspberry Pi dialogue avec une autre carte. La commande de sa bobine est donc assignée à un *74HC74* utilisé comme verrou (*latch*), lui-même commandé par deux broches GPIO du Raspberry Pi.

Le circuit comprend aussi trois LED témoins. La première s'allume lorsque le circuit est sous tension. La deuxième, bicolore, indique si *Chadèche* est en mode charge ou décharge. La troisième fonctionne selon un schéma on/off dicté par le signal de sortie d'un *timer 555*. Il est intéressant de noter que le rapport cyclique de ce signal de sortie est contrôlé par la deuxième voie du CN/A, qui sans cela resterait inexploitée. Cette configuration permet à la LED de clignoter à des fréquences variables, ajustables depuis le logiciel. Une technique de clignotement bien compliquée penserez-vous peut-être, mais qui offre l'avantage d'offrir une fréquence de clignotement fixe, même lorsque le Raspberry Pi est accaparé par d'autres tâches.

Cette LED pourra p. ex. refléter le courant de charge actuel. Une variation de sa luminosité aurait pu suffire, mais l'effet aurait été fortement non-linéaire ; un clignotement est un indicateur plus intuitif.

## Réflexions sur l'architecture du système

Les contraintes de temps et de budget sont en général plus souples pour un projet personnel que pour un projet d'entreprise, ce qui est une bonne chose ! Un concepteur est souvent tiraillé entre l'envie de créer quelque chose de simple et celle de mettre au point un système flexible et évolutif. Ce type de défi est toujours intéressant à relever. *Chadèche* utilise une carte-fille par accu, et il est tentant d'imaginer une solution à carte unique qui simplifierait le câblage et l'assemblage mécanique. Le circuit imprimé pourrait p. ex. être plus grand et loger un Raspberry Pi Zero.

Qu'il y ait un MOSFET et un circuit de commande de grille par accu NiMH semble s'imposer, mais ne serait-il pas possible d'utiliser une seule paire CA/N-CN/A pour tout le système ? Le nombre d'échantillonnages nécessaires passerait ainsi de quatre à un. Et pourquoi pas explorer différents schémas d'adressage afin d'étendre *Chadèche* à plus de quatre accus ? On pourrait aussi chercher à l'adapter à d'autres accus, comme des batteries au plomb ou au lithium-ion. Et vous, comment auriez-vous procédé ? Partagez vos réflexions avec la communauté sur *Elektor Labs* [1].

Jean-François Simon (ingénieur, *Elektor*)

ADR	C/D	mA	SD	TL	TH	LmAh	HmAh	TRUE	CTRLZ	COMMENT
1	D	0	60						S	Cell at rest
2	D	200	90000	S		S			S	200 mA discharge
3	D	0	30						S	Cell at rest
4	C	300	300		6		6		S	300 mA charge until max capacity
5	C	0	5					3	S	NOP and unconditional jump
6	C	50	300						S	Topping off
7	C	10	3600						I	Trickle charge
8	C	0	0					20:00	S	Waking up at 20:00
9	C	0	0						S	End of cycle

Figure 3. Exemple de configuration pour un cycle.

## Logiciel

Jacques Ehrlich a aussi écrit le logiciel pilotant *Chadèche*. Le code source (en C) et les versions compilées pour le Raspberry Pi sont disponibles sur Github [3]. Le code est méthodiquement organisé en cinq fichiers sources totalisant environ 1300 lignes.

L'accès aux broches GPIO du Raspberry Pi se fait avec la bibliothèque *WiringPi* de Gordon Henderson – la dernière version stable, disponible sur le site de Gordon, devrait fonctionner.

L'exécutable *chadeche* attend en paramètre l'adresse de la carte-fille à traiter. Grâce aux capacités multitâches de Linux, il est possible d'analyser plusieurs accus simultanément : soit en lançant plusieurs instances de *chadeche* dans des shells différents, soit en exécutant les commandes en arrière-plan avec &, soit en utilisant les commandes *screen*, *nohup*, etc.

Le logiciel permet de définir différents cycles de charge et de décharge, chaque cycle étant constitué de séquences. Leur déroulement peut être dicté par différents critères, dont des sauts conditionnels. Par exemple : charger avec un courant X durant Y secondes, passer à la séquence suivante lorsque la tension Z est atteinte, etc.

La configuration des cycles se fait au moyen de fichiers texte au format CSV contenant autant de détails que souhaité (une séquence par ligne). La **figure 3** montre un exemple de configuration. On peut également fournir à *Chadèche* des fichiers de paramètres stockant des valeurs spécifiques à une carte, p. ex. les coefficients de ses droites d'étalonnage.

Les résultats des mesures sont enregistrés au format CSV. On peut ainsi les exploiter plus tard, p. ex. en traçant le graphe d'un cycle (**figure 4**). ↗

VF : Hervé Moreau — 230624-04

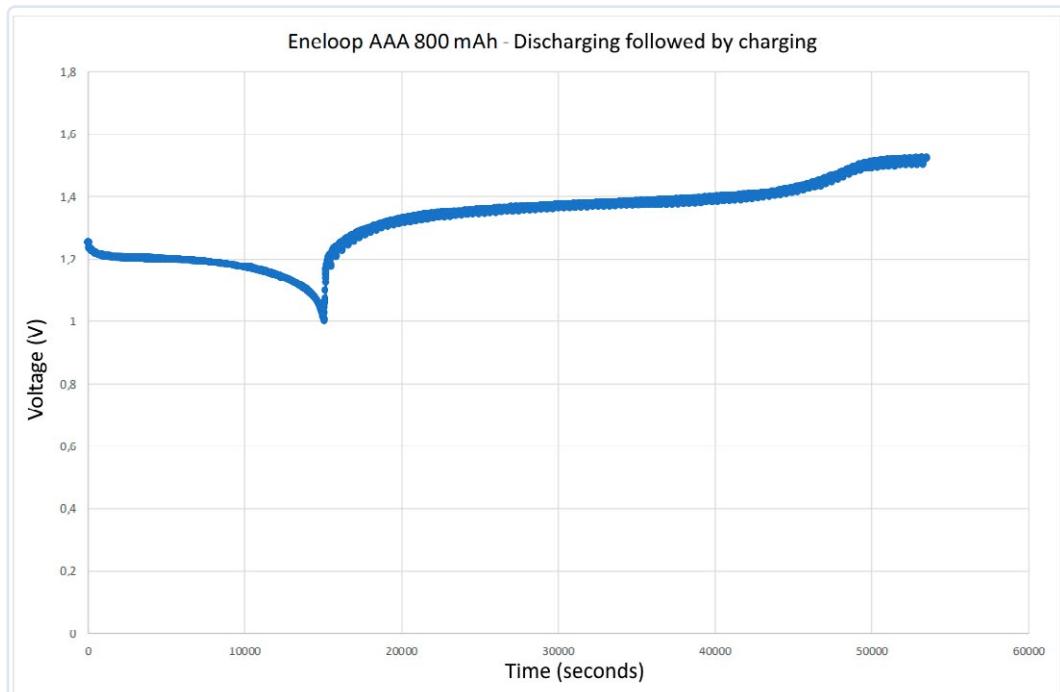


Figure 4. Courbe de la tension d'un accu subissant un cycle de décharge et charge.

## Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (support.chadeche@orange.fr) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

## À propos de l'auteur

Jacques Ehrlich est directeur de recherche émérite à l'Université Gustave Eiffel et consultant dans le domaine des systèmes de transport intelligents (STI). Il a codirigé puis dirigé le LIVIC (Laboratoire sur les Interactions Véhicule, Infrastructure Conducteur) à l'IFST-TAR, un laboratoire de recherche de renommée mondiale dans le domaine de la sécurité routière, des aides à la conduite et des véhicules autonomes. Il est passionné d'électronique, d'information et de vol à voile.

## Partagez vos projets avec Elektor

Chadèche est à nos yeux un bel exemple de réalisation menée de A à Z par une seule personne : conception, construction, test, écriture du code et de la documentation. Saluons donc l'effort considérable qu'il a nécessité. Un tel projet demande de la persévérance et de nombreuses semaines de travail. Il est le fruit d'une authentique passion, et c'est ce que nous aimons voir chez Elektor ! N'hésitez pas à partager vos propres projets avec la rédaction et la communauté Elektor. Présentez votre travail sur Elektor Labs, et envoyez vos idées de projets ou d'articles à redaction@elektor.fr.



## Produits

► **Raspberry Pi 4 B (2 Go RAM)**  
[www.elektor.fr/18965](http://www.elektor.fr/18965)



## LIENS

[1] Page du projet sur Elektor Labs :

<https://elektormagazine.fr/labs/chadeche-un-chargeur-dechargeur-tres-intelligent-pour-accus-nimh>

[2] Site web de l'auteur : <http://yadalo.no-ip.org/dokuwiki/doku.php?id=projets:projets:chadeche:chadeche>

[3] Logiciel Chadèche sur GitHub : <https://github.com/duodiscus92/chadeche>

# Ils nous font confiance, n'est-ce pas ?

Nous aimons l'électronique et les projets, et nous faisons tout notre possible pour répondre aux besoins de nos clients.

Le magasin Elektor :  
Jamais cher,  
toujours surprenant

Consultez d'autres avis sur notre page Trustpilot : [www.elektor.fr/TP](http://www.elektor.fr/TP)

Vous pouvez également vous faire votre propre opinion en visitant notre Elektor Store, [www.elektor.fr](http://www.elektor.fr)

“Livraison rapide et complète de tous les articles commandés, à l'adresse précisée, parfait, merci à l'équipe d'Elektor.”  
by Mami Maggioni  
Rated 4.6 / 5 | 388 reviews

“Excellent Transaction – RAS ! Sur une dernière commande, d'un montant de 50 euros, tout s'est bien déroulé et plus rapidement que prévu. L'objet est en excellent état et conforme à l'annonce.”  
by Addo Addo  
Rated 4.6 / 5 | 400 reviews

“Produit livré rapidement, bien emballé et conforme à la commande”  
by Albert Jourvat  
Rated 4.6 / 5 | 398 reviews

“Très satisfait – Envoi très rapide, bien emballé. Je recommande vivement !”  
by FORTIN GUILLAUME  
Rated 4.6 / 5 | 398 reviews

**elektor**  
design > share > earn

# 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).

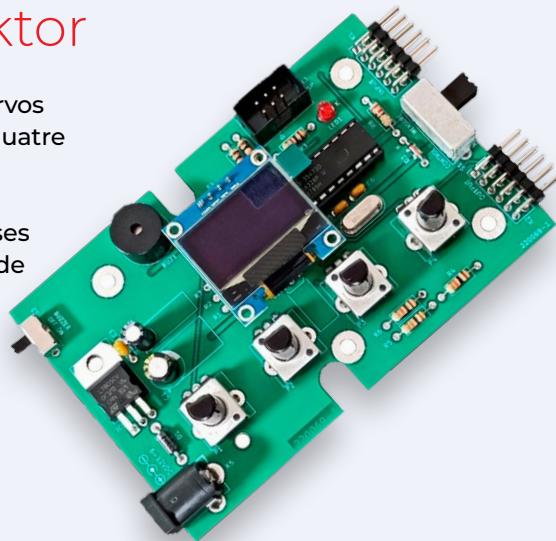
### Kit Super Servo Tester d'Elektor

Le Super Servo Tester d'Elektor permet de commander les servos et de mesurer les signaux servos. Il permet de tester jusqu'à quatre canaux de servo en même temps.

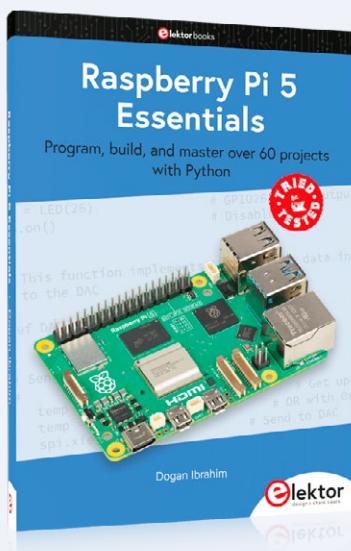
Le Super Servo Tester est livré en kit. Tous les composants nécessaires à l'assemblage du Super Servo Tester sont incluses dans le kit. L'assemblage du kit nécessite des compétences de base en soudure. Le microcontrôleur est déjà programmé.

Prix : ~~49,95 €~~

**Prix spécial : 42,95 €**



[www.elektor.fr/20624](http://www.elektor.fr/20624)



### Raspberry Pi 5 Essentials

**Program, build, and master over 60 projects with Python**

Le livre commence par une introduction au nano-ordinateur Raspberry Pi 5 et couvre les aspects importants de l'utilisation de la carte localement et à distance. L'utilisation des commandes du langage de la console ainsi que l'accès et l'utilisation de l'interface graphique du bureau sont décrits à l'aide d'exemples pratiques. Les autres parties du livre couvrent de nombreux projets matériels basés sur le Raspberry Pi 5.

Prix : 34,95 €

**Prix (membres) : 31,46 €**



[www.elektor.fr/20703](http://www.elektor.fr/20703)



## Multimètre intelligent FNIRSI S1



Prix : 34,95 €

**Prix (membres) : 31,46 €**

[www.elektor.fr/20645](http://www.elektor.fr/20645)

## RTL-SDR V4 (radio logicielle) avec kit antenne dipôle



Prix : 59,95 €

**Prix (membres) : 53,96 €**

[www.elektor.fr/20680](http://www.elektor.fr/20680)

## LCR-mètre (100 kHz) DER EE DE-5000

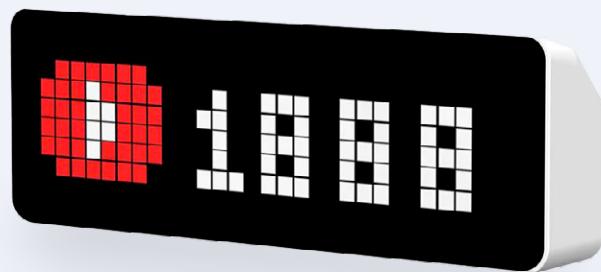


Prix : 219,00 €

**Prix (membres) : 197,10 €**

[www.elektor.fr/20675](http://www.elektor.fr/20675)

## Horloge Pixel intelligente (basée sur ESP32) Ulanzi TC001



Prix : 79,95 €

**Prix (membres) : 71,96 €**

[www.elektor.fr/20719](http://www.elektor.fr/20719)

# projet 2.0

## Corrections, mises à jour et courriers des lecteurs

Roberto Armani (Elektor)

### Cloc 2.0

#### Elektor 3-4/2023, p. 6 (220564)

Le logiciel du projet Cloc a été mis à jour à la version 2.10. Cette version corrige un problème causé par les caractères spéciaux, tels que '&', dans le SSID et le mot de passe. Si on utilise ces caractères dans l'une de ces chaînes, la chaîne est tronquée, ce qui rend la connexion au réseau impossible. Le nouveau logiciel est disponible en téléchargement sur la page du projet sur Elektor Labs :

[elektormagazine.fr/labs/cloc-le-reveil-20](http://elektormagazine.fr/labs/cloc-le-reveil-20)

Clemens Valens (éditeur de l'article)



### Petit simulateur DCF77

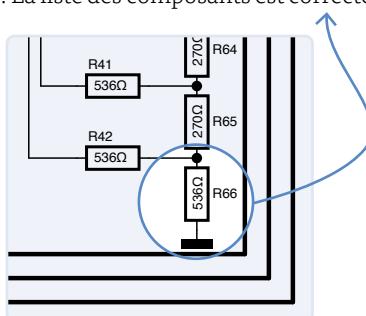
#### Circuits de vacances 2023, p. 126 (230307)

Il y a une erreur dans le texte. Le type de contrôleur correct est un PIC12F683, et non un PIC12F638. Le schéma du circuit est correct.

### CNA vidéo programmable

#### Circuits de vacances 2023, p. 44 (220674)

Il y a une erreur dans le schéma : la résistance R66 (canal de couleur rouge) doit être de  $536\Omega$ , et non  $270\Omega$  (voir l'image). R74 et R82 (non représentés) ont la même valeur,  $536\Omega$ . La liste des composants est correcte.



### Petite alimentation solaire

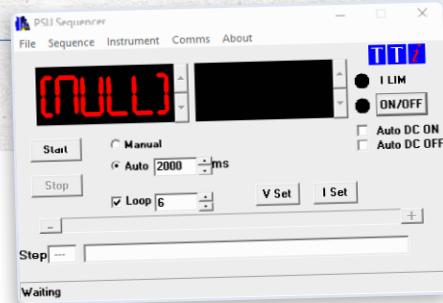
#### Circuits de vacances 2023, p.6 (220321)

Il n'y a pas de circuit imprimé ni de carte CMS assemblée pour ce projet dans l'e-choppe. Des centaines de capteurs météorologiques dans des centaines de jardins peuvent certainement utiliser un tel circuit avec la carte ESP. Y a-t-il quelque chose de prévu ?

Gustav I.

Merci beaucoup pour votre intérêt, Gustav. Les fichiers Gerber (et KiCad) sont disponibles en téléchargement sur [elektormagazine.fr/labs/tiny-solar-supply](http://elektormagazine.fr/labs/tiny-solar-supply). Avec ces fichiers, vous pouvez commander la carte auprès de services de circuits imprimés tels que Eurocircuits ou JLCPCB. Notez cependant que le circuit n'est pas adapté à l'alimentation de cartes ESP exécutant un logiciel par défaut (effectuant un calibrage RF) car elles consomment beaucoup de courant au démarrage, ce que ce circuit ne peut pas fournir. Pour plus d'informations, visitez : [ondrovo.com/a/20170207-esp-consumption](http://ondrovo.com/a/20170207-esp-consumption)

Clemens Valens (développeur du projet)



## L'audio & les condensateurs

**Elektor 2/1992, p. 26 (902004)**

En tant que membre fidèle de votre magazine, j'ai lu l'article "l'audio & les condensateurs" ([elektormagazine.fr/magazine/elektor-199203/35114](http://elektormagazine.fr/magazine/elektor-199203/35114)) et j'ai une question à propos de la page 47, où l'auteur écrit :

*Dans le cas des alimentations, d'autres facteurs jouent un rôle, mais il reste sensé de poncer les condensateurs électrochimiques à l'aide d'un condensateur à film d'une capacité comprise entre 470 nF et 1 µF en vue d'améliorer leur comportement aux Hautes Fréquences.*

Cela signifie-t-il vraiment qu'il faut laisser les condensateurs électrochimiques et simplement connecter un condensateur à film en parallèle ? Ou, est-il préférable de remplacer les condensateurs électrochimiques par des condensateurs à film ?

Thibaut

Merci pour votre question, Thibaut, qui reste d'actualité, malgré l'ancienneté de l'édition à laquelle vous faites référence !

Nous pouvons considérer qu'il s'agit un problème audio quasi ésotérique, où l'analyse est poussée à des niveaux techniques qui ne sont pas normalement pris en compte. L'étage d'alimentation d'un amplificateur audio de puissance est chargé par des courants proportionnels au niveau de sortie et à une fréquence (évidemment) égale à celle du signal amplifié. Les condensateurs électrolytiques et les condensateurs à film ont des caractéristiques complémentaires. En termes de densité de capacité et de valeur ESR en fonction de la fréquence, en détail :

- Les condensateurs électrolytiques offrent une grande capacité avec des volumes limités.
- Les condensateurs électrolytiques sont plutôt "lents" à réagir aux variations de charge à haute fréquence et présentent des valeurs ESR plus élevées.
- Les condensateurs à film offrent des rapports capacité/empreinte plus faibles, mais ils présentent des valeurs ESR beaucoup plus basses à haute fréquence, ce qui compense la réponse non idéale des condensateurs électrolytiques lors de la décharge en aval.

Par conséquent, dans une alimentation d'un système audio, la combinaison d'un condensateur électrolytique et d'un condensateur à film de capacité moyenne (comme suggéré dans l'article) offrira les avantages des deux types, c'est-à-dire des dimensions réduites et un bon niveau d'ESR sur l'ensemble de la bande passante audio.

Roberto Armani (Éditeur principal d'Elektor)



## Automatisation des tests et des mesures

**Elektor 5-6/2023, p. 56 (230046)**

Je suis un lecteur assidu d'Elektor et j'ai quelques questions à vous poser concernant l'article.

- Quel EDI Python utilisez-vous ou quel EDI me recommandez-vous ? Je suis débutant et utilise Windows.
- Pouvez-vous me donner un exemple de programme pour une interface graphique avec une fonction USB ou LAN ? Je souhaite connecter des appareils de mesure et obtenir des résultats.

Nous vous remercions pour votre courriel et votre fidélité en tant que lecteur d'Elektor. Nous nous réjouissons toujours de recevoir des commentaires et des questions. Je dois admettre que je suis moi-même débutant en Python et que je n'ai pas encore programmé d'interfaces graphiques en Python. J'utilise l'EDI Thonny ([thonny.org](https://thonny.org)), qui est très pratique pour les débutants. Après quelques recherches, PySimpleGUI semble être une interface graphique très adaptée aux débutants ([pysimplegui.org/fr/latest/](https://pysimplegui.org/fr/latest/)). Un exemple simple de création d'un graphique à barres se trouve ici : [github.com/PySimpleGUI/PySimpleGUI/blob/master/DemoPrograms/Demo\\_Bar\\_Chart.py](https://github.com/PySimpleGUI/PySimpleGUI/blob/master/DemoPrograms/Demo_Bar_Chart.py)

Il suffit d'installer le package PySimpleGUI dans Thonny. Lorsqu'il s'agit de contrôler des appareils de test et de mesure, USBTMC est une interface logicielle intéressante. Il est possible de l'utiliser pour contrôler de nombreux blocs d'alimentation ou oscilloscopes. Le package Python USBTMC est disponible pour cette application : [github.com/python-ivi/python-usbtmc](https://github.com/python-ivi/python-usbtmc).

En outre, il y a PyVISA :

[pyvisa.readthedocs.io/en/latest](https://pyvisa.readthedocs.io/en/latest/) et un exemple ici : [core-electronics.com.au/guides/automating-test-equipment-with-python](https://core-electronics.com.au/guides/automating-test-equipment-with-python)

J'espère que ces informations vous aideront. Je vous souhaite bonne chance et, si vous avez réalisé un projet, n'hésitez pas à le partager avec nous – nous pourrons peut-être en rendre compte !

Stuart Cording (Elektor)

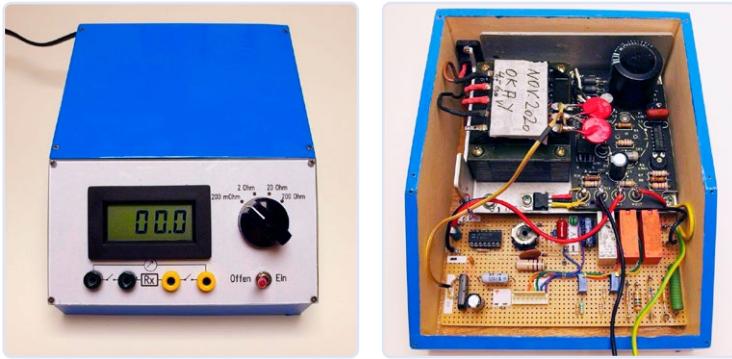


## Milliohmètre

### Circuits de vacances 2022, p. 114 (220167)

Je me suis remis à bricoler, mais cette fois-ci, je n'ai rien conçu de mon cru, j'ai plutôt utilisé le projet Milliohm Meter de vos circuits de vacances 2022. J'ai légèrement adapté le circuit de Stefano Purchiaroni en fonction de mes idées et du matériel disponible. Enfin, je suis fier de mon boîtier et de sa face avant. Je vous invite à y jeter un coup d'œil vous-même !

Peter Grundmann



Votre réalisation semble vraiment bien faite et mérite la publication de quelques photos. Nous vous encourageons à publier le projet sur la plateforme Elektor Labs ici ([elektormagazine.fr/labs](http://elektormagazine.fr/labs)) afin que nous puissions le partager avec tous nos lecteurs.

Jens Nickel (Rédacteur en chef, Elektor)



## Mini plaque de refusion

### Elektor 11-12/2023, p. 120 (230456)

Ce projet est très intéressant et vous encourage à réaliser le vôtre. Cependant, il manque une information (du moins, je ne l'ai pas trouvée) : de quel type de plaque chauffante s'agit-il et où peut-on se la procurer ?

Hans Schneider

Merci pour votre question Hans. Le composant que vous recherchez est une plaque chauffante 230 VAC / 400 W fabriquée sur mesure et distribuée par nos partenaires du magazine Elettronica In. Vous pouvez trouver tous les détails ici : [futur.net.it/prodotto/piastra-riscaldante-400-watt-230-vac](http://futur.net.it/prodotto/piastra-riscaldante-400-watt-230-vac)

Roberto Armani (Elektor)



## Circuits de vacances 2023

Je suis un fidèle lecteur depuis plus de 40 ans et je suis toujours ravi de recevoir le numéro double d'été, avec ses différents petits circuits et projets intéressants ! Je suis plutôt un amateur d'analogique et j'ai du mal à utiliser les CMS, mais je trouve merveilleux que la revue existe encore et que vous n'ayez pas suivi le chemin d'"Elrad and Co.".

Martin Vogl

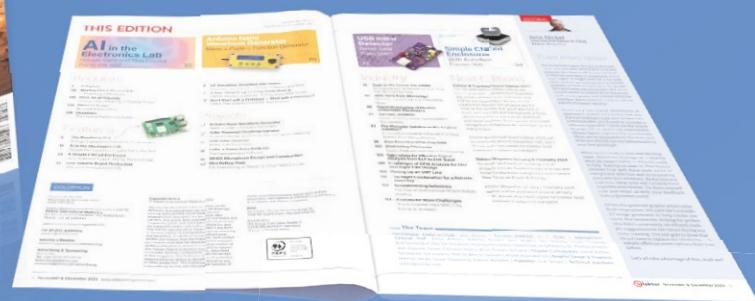
Bonjour M. Vogl, merci beaucoup pour vos compliments. Nous en sommes très heureux !

Jens Nickel (Rédacteur en chef, Elektor)

# 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)

**elektor**  
design > share > earn

# La plus large sélection de composants électroniques<sup>TM</sup>

En stock et prêts à être expédiés

---



**mouser.fr**

**M** MOUSER  
ELECTRONICS