

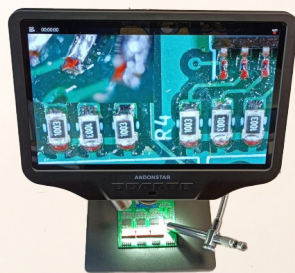
FOCUS SUR

Prototypage,  
production et  
composants

DRÔLES DE

# COMPOSANTS

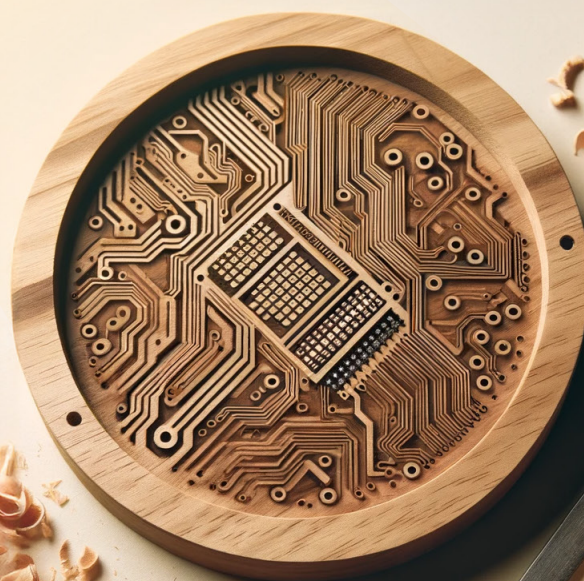
quelques circuits intégrés originaux



le microscope numérique  
Andonstar AD409

Pro-ES HDMI

plus grand et possède un  
endoscope



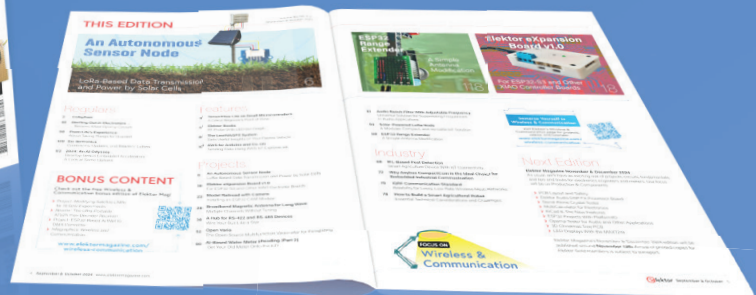
créer un projet ESP32  
avec PlatformIO  
guide d'introduction  
pour débutants



# 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)



# DANS CE NUMÉRO

- 3 Édito**
- 4 créer un projet ESP32 avec PlatformIO**  
guide d'introduction pour débutants
- 12 drôles de composants**  
quelques circuits intégrés originaux
- 14 utilisation d'un blindage EMI pour assurer la conformité à la compatibilité électromagnétique**
- 19 l'outil ultime pour tous les passionnés d'électronique**  
débloquez des possibilités infinies avec Red Pitaya et plus de 1 000 Click Boards™
- 20 HDI au milieu**  
un nouveau service PCB-pooling rentable pour des petits BGA
- 22 le microscope numérique Andonstar AD409 Pro-ES HDMI**  
plus grand et possède un endoscope

Le numéro de novembre-décembre 2024 du magazine Elektor est disponible en kiosque et sur l'e-shop Elektor.



## C. J. Abate

Directeur du contenu, Elektor

## Plus sur le prototypage et la production

Bienvenue dans l'édition bonus de novembre/décembre du magazine Elektor ! À l'approche de la clôture de l'année 2024, nous sommes ravis de vous offrir cette édition numérique bonus, riche en contenu destiné à inspirer et informer notre communauté d'électroniciens à travers le monde. Cette édition propose une variété d'articles, chacun conçu pour captiver aussi bien les électroniciens avertis que les étudiants et les ingénieurs professionnels.

Dans ce numéro, nous vous proposons un guide détaillé sur la création d'un projet basé sur ESP32 avec PlatformIO, un puissant environnement de développement qui optimise la programmation embarquée et la conception des applications IdO. Pour ceux qui s'intéressent aux équipements de bureau, nous examinons le microscope numérique HDMI Andonstar AD409 Pro-ES, un outil polyvalent idéal pour examiner de près vos réalisations.

Que vous soyez à la recherche de nouvelles idées de conception, de solutions utiles ou des dernières revues techniques, cette édition bonus regorge de ressources pour chacun. Nous vous souhaitons une lecture enrichissante et une fin d'année riche en créativité et en innovations !

### notre équipe

Rédacteur en chef : Jens Nickel | Rédaction : Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, 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)

### COLOPHON

47<sup>ème</sup> année n° 510B, ISSN 0181-7450  
novembre-décembre 2024  
N° de TVA Intracommunautaire : FR90319937454  
Dépôt légal : novembre 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](http://www.elektor.fr) | [www.elektormagazine.fr](http://www.elektormagazine.fr)

**Pour toutes vos questions** : [service@elektor.fr](mailto:service@elektor.fr)  
**Devenez membre** : [www.elektormagazine.fr/abo](http://www.elektormagazine.fr/abo)

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

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

**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'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957 -art. 40 et 41 et Code Pénal art. 425).

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

# créer un projet ESP32 avec

Guide d'introduction  
pour débutants



**Riccardo Medda (Italie)**

L'utilisation de PlatformIO avec Visual Studio Code crée un environnement de développement pour microcontrôleurs à la fois puissant, flexible et accessible. La combinaison de la facilité de configuration, du support étendu pour de multiples plateformes, d'outils de développement avancés et d'une communauté large rend cette solution particulièrement attrayante pour ceux qui s'initient à la programmation embarquée. Cet article décrit un exemple d'intégration de PlatformIO et de VSC pour créer une solution permettant de mesurer les valeurs d'humidité et de température avec un capteur numérique et un module ESP32.

PlatformIO est un environnement de développement intégré (EDI) open-source qui gagne en popularité non seulement auprès des amateurs mais aussi parmi les professionnels. Un environnement de développement intégré est un logiciel qui fournit aux développeurs une suite complète d'outils destinés à l'écriture, au test et au débogage de code.

Un EDI intègre plusieurs outils et fonctionnalités essentiels pour simplifier le processus de développement de logiciels, améliorer la productivité et assurer une cohérence tout au long du cycle de vie d'un projet. Il intègre généralement :

- Un éditeur de texte avancé qui prend en charge la syntaxe du langage de programmation utilisé, avec des fonctionnalités telles que la coloration syntaxique, l'autocomplétion et l'indentation.
- Des outils pour compiler le code source en langage machine exécutable.
- Un débogueur intégré pour détecter et corriger les erreurs dans le code pendant l'exécution du programme.
- Un système qui facilite l'ajout, la gestion et la mise à jour des bibliothèques et des dépendances du projet.
- Un environnement d'exécution contrôlé pour tester le logiciel en cours de développement.
- Des systèmes d'intégration avec des outils de contrôle de version (tels que SVN, Git, Mercurial, etc.), des fonctions de gestion de projet et une interface utilisateur simple et intuitive.

Visual Studio Code (VSC), par exemple, est un EDI couramment utilisé.

Toutefois, il est important de noter que PlatformIO n'est pas un véritable EDI autonome, mais fonctionne comme un plugin (c'est-à-dire un logiciel complémentaire) qui peut être intégré dans divers environnements de développement, notamment Visual Studio Code (VSC), Atom et Eclipse. Actuellement, Visual Studio Code est l'EDI principal pris en charge par PlatformIO, et est probablement aussi le plus adopté par les développeurs professionnels.

## Module ESP32

ESP32 est un microcontrôleur à basse consommation développé par Espressif Systems, connu pour sa polyvalence et sa puissance de calcul. Basé sur l'architecture Xtensa LX6 de Tensilica, l'ESP32 intègre plusieurs fonctionnalités avancées, le rendant idéal pour diverses applications dans l'Internet des objets (IoT) et l'informatique embarquée.

Les principales caractéristiques techniques de l'ESP32 sont les suivantes :

- Architecture double cœur : l'ESP32 intègre deux cœurs Xtensa LX6, qui permettent d'effectuer des opérations en parallèle, améliorant ainsi les performances globales du système.
- Fréquence d'horloge élevée : avec des fréquences d'horloge allant jusqu'à 240 MHz, l'ESP32 offre une puissance de traitement élevée pour gérer des applications complexes.
- Connectivité sans fil : avec Wifi et Bluetooth intégrés, il assure une communication fluide avec d'autres appareils et réseaux.
- Mémoire flash intégrée : L'ESP32 dispose d'une mémoire suffisante pour le chargement des micrologiciels et des données.
- Périphériques d'E/S nombreux et variés, tels que GPIO, UART, I2C, SPI et ports PWM, permettant une interaction aisée avec d'autres appareils.
- Unité de traitement du signal (DSP) : l'ESP32 est équipé d'un DSP qui améliore les capacités de traitement pour les applications audio et de traitement du signal.
- Mode basse consommation : prend en charge les modes basse consommation pour prolonger la durée de vie de la batterie dans les appareils alimentés par batterie (le fameux « deepsleep »).

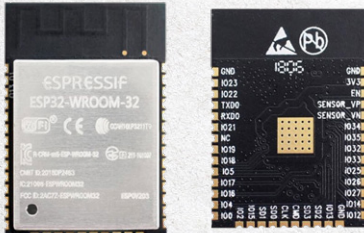


Figure A

- Environnement de développement open-source : Espressif supporte un environnement de développement open-source grâce à l'utilisation de frameworks tels qu'Arduino et PlatformIO, ce qui simplifie le processus de programmation et de développement.
- Sécurité : L'ESP32 intègre des fonctions de sécurité avancées, notamment le cryptage matériel, ce qui le rend adapté aux projets nécessitant un niveau de protection plus élevé.

Grâce à ces caractéristiques, l'ESP32 est largement utilisé pour développer des projets IoT, des capteurs intelligents, des dispositifs domotiques et bien plus encore. L'ESP32 est un processeur qui nécessite une partie électronique supplémentaire dont la fonction est de lui fournir l'alimentation électrique appropriée et de l'interfacer avec un port USB d'un ordinateur, afin de pouvoir le programmer (c'est-à-dire de transférer dans sa mémoire interne le micrologiciel qui sera écrit et compilé sur PlatformIO) et de communiquer avec lui via le port série (sur la console Serial Monitor de PlatformIO).

Comme le montre la **figure A**, il ne peut pas être utilisé immédiatement tel quel. Pour cela, il existe des petites cartes appelées NodeMCU qui comprennent, en plus du microprocesseur ESP32, l'électronique mentionnée ci-dessus. Ces cartes disposent de connecteurs permettant de les relier à l'environnement extérieur (capteurs, actionneurs et appareils divers).

Ce guide a été basé sur le dispositif NodeMCU ESP32 visible dans la **figure B**, qui montre clairement le microprocesseur, l'électronique périphérique et les connecteurs avec le monde extérieur.

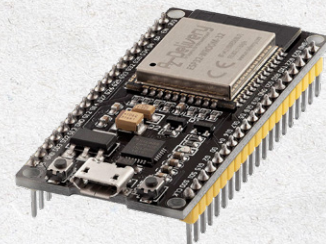


Figure B

## Le capteur DHT22

Puisque nous allons l'utiliser dans ce mini-projet, explorons ce capteur, qui est bien connu des initiés. Le DHT22, également appelé AM2302, est un capteur numérique de température et d'humidité qui offre une solution fiable et précise pour la surveillance des conditions environnementales. Ce dispositif est largement utilisé dans les projets domotiques, la surveillance de l'environnement et les applications météorologiques. Le DHT22 mesure l'humidité relative à l'aide d'un capteur capacitif et la température avec une thermistance.

Voici quelques-unes de ses principales caractéristiques techniques :

- Précision et fiabilité : le DHT22 offre une grande précision dans la mesure de la température et de l'humidité.
- Large plage de mesure : le capteur peut détecter des températures comprises entre -40°C et +80°C et une humidité relative comprise entre 0 et 100%.
- Signal numérique : le DHT22 transmet directement des signaux numériques via une seule broche, ce qui simplifie l'interface avec les microcontrôleurs tels qu'Arduino ou ESP32, qui n'ont alors pas besoin d'acquérir et de numériser un signal analogique.

- Temps de réponse rapide : le capteur est connu pour son temps de réponse rapide d'environ 2 secondes.
- Haute résolution : il fournit des données avec une résolution de 0,1°C pour la température et de 0,1% pour l'humidité, permettant une grande précision des mesures.
- Haute immunité au bruit : grâce à sa technologie de mesure capacitif, le capteur est relativement insensible aux interférences externes.

L'interfaçage avec le DHT22 est généralement simple, nécessitant uniquement un microcontrôleur et une bibliothèque dédiée pour son utilisation.

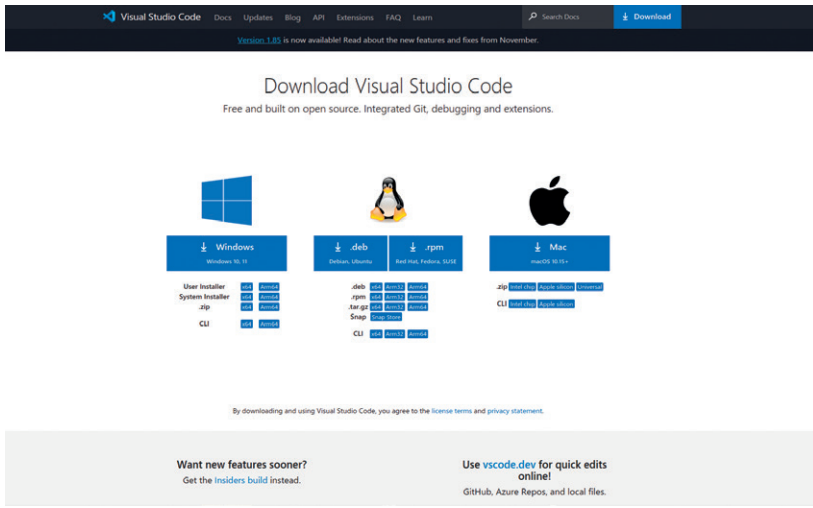


Figure 1. Page de téléchargement de Visual Studio Code. (Source de toutes les images, sauf indication contraire : Visual Studio Code, <https://code.visualstudio.com/>)

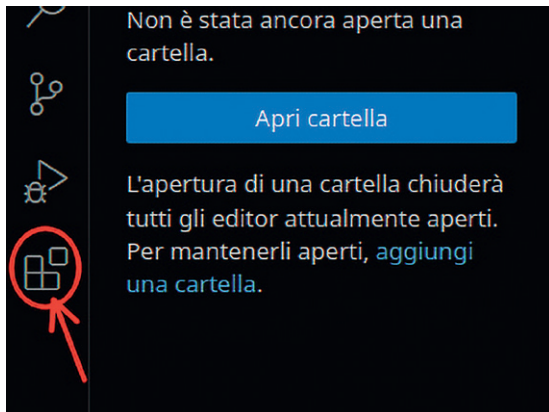


Figure 2. Le bouton de Visual Studio Code (VSC) pour la recherche de plugins (Apri cartella = Ouvrir le dossier).

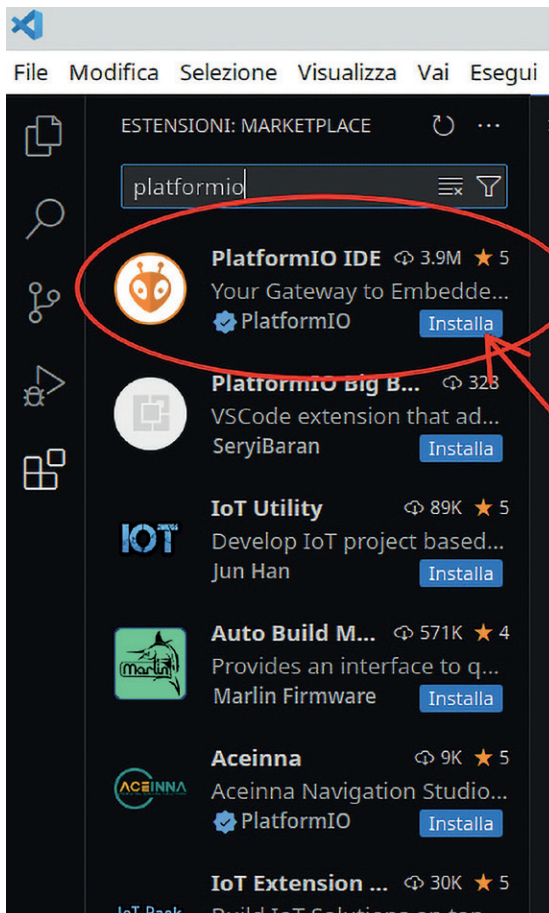


Figure 3. Le bouton pour l'installation de PlatformIO.

En intégrant PlatformIO dans Visual Studio Code, les développeurs peuvent bénéficier de plusieurs fonctionnalités ; en effet, PlatformIO est conçu pour faciliter et améliorer le processus de développement de micrologiciels pour microcontrôleurs (MCU). Il supporte une vaste gamme de microcontrôleurs y compris les différentes versions d'Arduino ainsi que d'autres MCU et des cartes basées sur ESP8266/ESP32.

L'une des caractéristiques distinctives de PlatformIO est sa compatibilité avec diverses plateformes, notamment Arduino, Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF) et bien d'autres. Cela permet aux développeurs de choisir la plateforme la plus adaptée à leurs besoins, tout en utilisant le même EDI.

PlatformIO prend en charge plusieurs langages de programmation, notamment C, C++ et Python, et est compatible avec les bibliothèques conçues pour Arduino. Il simplifie grandement la gestion des dépendances des projets et des différentes versions des bibliothèques (développées par l'utilisateur ou par des tiers). Grâce à ses outils de compilation avancés, les développeurs peuvent aisément intégrer des bibliothèques externes à leurs projets sans se préoccuper des détails d'installation. De plus, PlatformIO gère les versions des bibliothèques, renforçant ainsi la robustesse du processus de développement. L'EDI offre un support complet pour le débogage et fournit des outils avancés pour la surveillance et le contrôle des appareils pendant l'exécution du micrologiciel. En conclusion, PlatformIO offre un environnement unifié, flexible, intuitif et relativement simple à maîtriser, qui optimise le processus de développement et contribue à une gestion de projet plus efficace.

Dans ce guide, nous allons explorer comment développer et gérer un projet PlatformIO basé sur le microcontrôleur ESP32. Ce projet consistera à connecter un capteur DHT22, utilisé pour mesurer les valeurs instantanées de température et d'humidité ambiantes en temps réel. Nous verrons ensuite comment configurer le système pour afficher ces mesures en temps réel sur la console de PlatformIO.

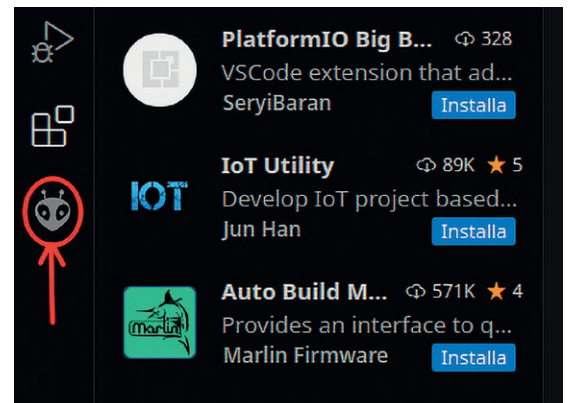


Figure 4. L'icône de la nouvelle installation de PlatformIO.

## Installation de Visual Studio Code et de PlatformIO

Comme mentionné précédemment, PlatformIO est un plugin pour l'EDI Visual Studio Code. Ainsi, la première étape consiste à installer cet EDI. Vous trouverez le lien direct vers la page de téléchargement à l'adresse indiquée [1]. Comme le montre la **figure 1**, ce logiciel est disponible pour les principaux systèmes d'exploitation (Windows, diverses distributions de Linux, macOS). Après avoir téléchargé le fichier adapté à votre système d'exploitation, procédez à son installation.

Quelle que soit la version choisie, une page de bienvenue apparaît lors du premier lancement du programme. En fermant cette page, vous accédez à la page principale de l'EDI. Sur la colonne de gauche, vous remarquerez plusieurs boutons, dont un marqué en rouge dans la **figure 2**. Celui-ci est utilisé pour rechercher et installer les plugins (extensions) dans VSC. En cliquant dessus, la fenêtre de recherche de la colonne de gauche s'ouvre. Pour rechercher un plugin, il suffit d'entrer son nom dans la boîte de recherche en haut à gauche. En saisissant *platformio* le plugin apparaîtra dans la liste, il ne nous reste donc plus qu'à cliquer sur le bouton *Install* du plugin PlatformIO comme le montre la **figure 3**. L'installation prendra quelques minutes, après quoi la présence du plugin sera signalée par une nouvelle icône dans la colonne de gauche, visible sur l'image de la **figure 4**. À ce stade, PlatformIO est installé et prêt à être utilisé.

## Création du projet sur PlatformIO

Tout d'abord, après avoir lancé VSC, nous devons cliquer sur l'icône *PlatformIO*. La page principale s'ouvre, où vous devrez cliquer sur le bouton *Create New Project* (**figure 5**). Une nouvelle page d'accueil s'ouvre (**figure 6**), et vous devrez cliquer sur le bouton *+ New Project*. Cela lancera un assistant de projet simple qui nous demandera d'entrer le nom du projet, la plateforme et le framework utilisé, comme le montre la **figure 7**.

Le nom du projet peut être celui de votre choix (par exemple, *testESP32*), tandis que le choix du modèle de carte dépend de ce que vous possédez. En saisissant *ESP32* dans le champ intitulé *Board*, vous verrez apparaître une liste de toutes les cartes basées sur ESP32 disponibles. Pour notre exemple, nous avons choisi la carte *AZ-Delivery ESP-32 Dev Kit C V4*. Comme framework, nous avons laissé l'entrée *Arduino* inchangée. La case *Location* est utilisée pour indiquer à PlatformIO si vous souhaitez utiliser le dossier par défaut comme espace de travail ou si vous préférez spécifier un dossier différent. Nous utilisons le dossier par défaut.

Le résultat de ces choix est illustré dans la **figure 8**. En cliquant sur le bouton *Finish*, le projet est créé. Après quelques secondes, l'écran présenté dans la **figure 9** apparaît. PlatformIO affiche à gauche l'arborescence du projet, et dans l'espace de travail, le

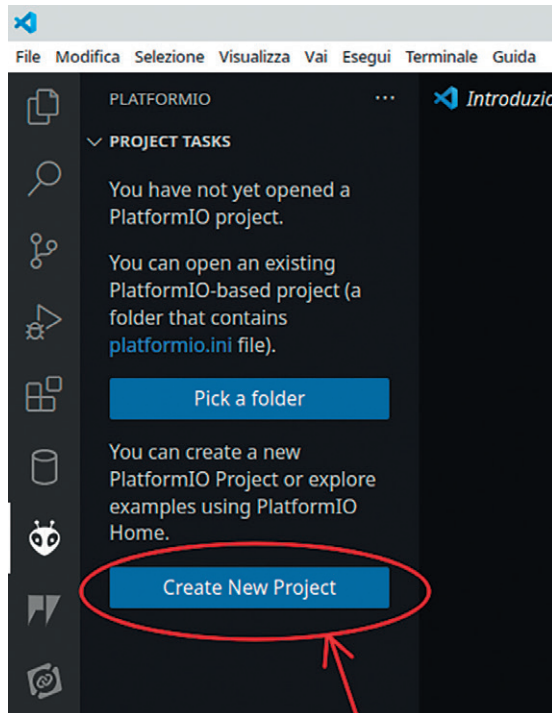


Figure 5. Le bouton de PlatformIO pour la création d'un nouveau projet.

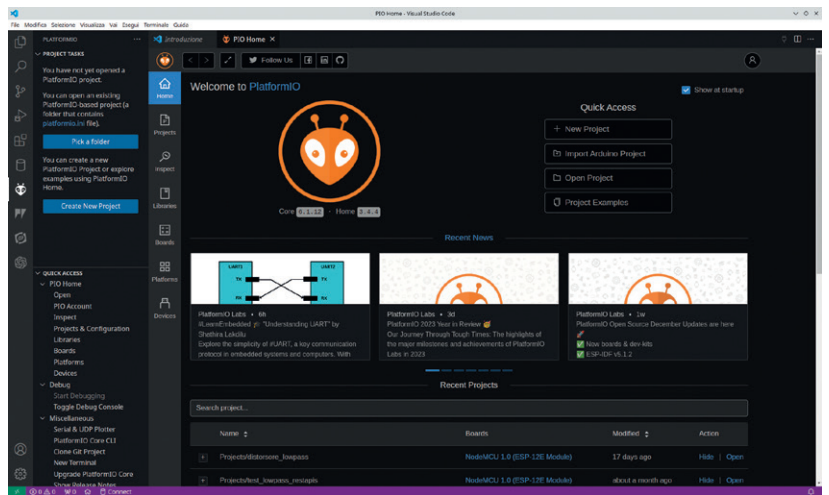


Figure 6. Page d'accueil de PlatformIO.

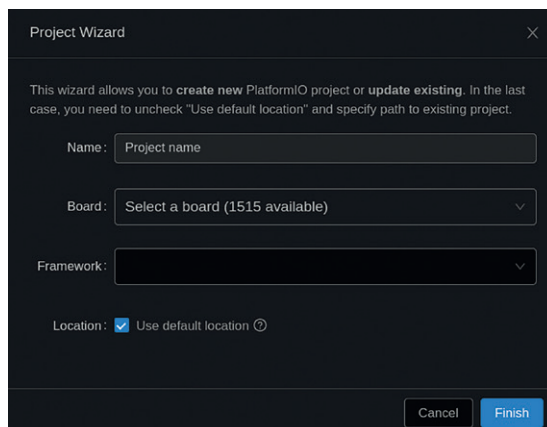


Figure 7. Assistant de projet PlatformIO.

fichier *platformio.ini* (qui fait également partie du projet) est visible. Ce fichier regroupe les paramètres du projet, qui à ce stade, sont ceux définis uniquement lors de la configuration initiale avec l'assistant.

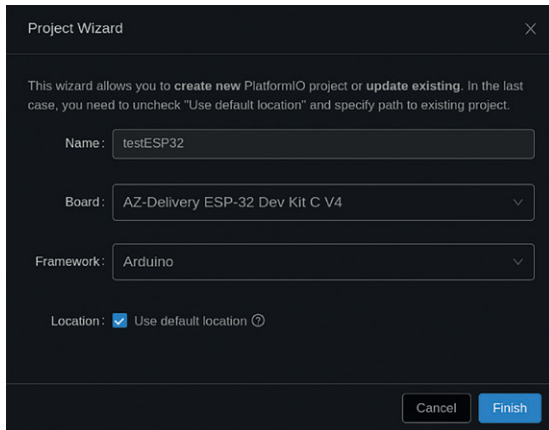


Figure 8. Assistant de projet compilé.

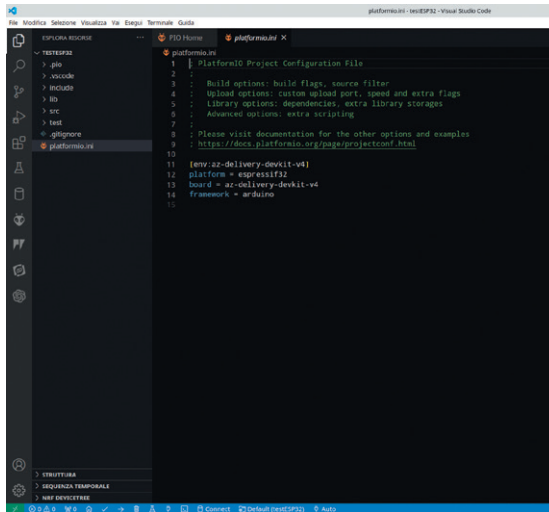


Figure 9. Projet créé.

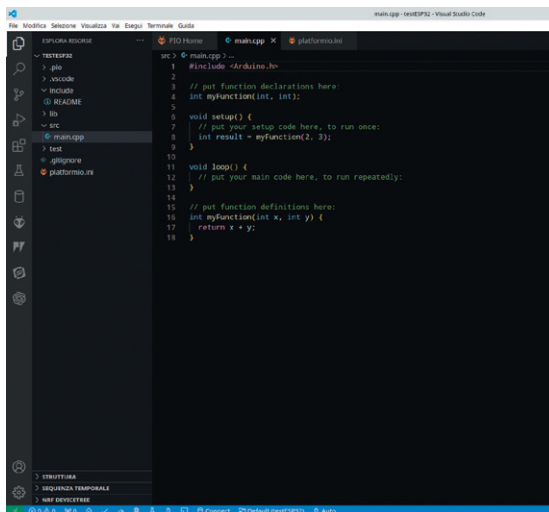


Figure 10. Le fichier main.cpp par défaut.

Dans l'arborescence du projet (à gauche), il y a quelques dossiers. L'un d'eux est nommé *includes* et est actuellement vide. Il regroupe tous les fichiers à inclure dans le projet (typiquement les fichiers *.h*). Un autre dossier nommé *src* et contient le fichier *main.cpp* qui est le fichier principal du croquis dans lequel le programme sera écrit. La **figure 10** montre le contenu de ce fichier. Vous remarquerez la présence des deux fonctions principales utilisées dans les croquis Arduino apparaissent : *setup* et *loop*. Dans le système de fichiers, le projet apparaîtra organisé comme le montre la **figure 11**.

**Remarque** : Ce guide a été réalisé sous un système d'exploitation Linux. Il se peut que l'organisation des fichiers sous les systèmes Windows ou macOS diffère légèrement. Cependant, l'interface de PlatformIO reste identique, quel que soit le système d'exploitation utilisé.

## Ajouter des bibliothèques au projet

L'ajout de bibliothèques au projet est une opération assez simple. Prenons l'exemple où nous souhaitons ajouter la bibliothèque *DHT sensor library for ESP* (utilisée pour lire les données transmises par le capteur de température et d'humidité DHT22). Pour ce faire, commençons par nous rendre dans la colonne de gauche de l'EDI et cliquons sur l'icône *PlatformIO*. Cela ouvrira la page principale de PlatformIO, où la section *QUICK ACCESS* devient accessible. Sélectionnez l'option *Libraries*; un clic ici, ouvrira la fenêtre de recherche des bibliothèques, illustrée dans la **figure 12**.

En entrant "DHT22" dans la boîte de recherche, vous verrez apparaître plusieurs résultats. Sélectionnez la bibliothèque *DHT sensor library for ESPx* de Bernd Giesecke, comme illustré dans la **figure 13**. En cliquant dessus, vous accéderez à la page détaillée de la bibliothèque (**figure 14**).

Pour installer la bibliothèque, cliquez sur le bouton *Add to Project*. Dans l'assistant qui s'ouvre ensuite, sélectionnez le projet qui vous intéresse (dans notre cas, *testESP32*), comme illustré dans la **figure 15**. Cliquez ensuite sur le bouton *Add*. PlatformIO chargera automatiquement la bibliothèque dans le dossier du projet et l'ajoutera également au fichier de configuration *platformio.ini*, comme le montre la **figure 16**.

Il s'agit de la procédure standard pour ajouter une bibliothèque au projet. Une alternative consiste à éditer directement le fichier *platformio.ini* en ajoutant l'entrée *lib\_deps* = suivie de la liste des bibliothèques à ajouter. Dans notre cas, il aurait suffi d'ajouter la ligne :

```
lib_deps=beegee-tokyo/DHT sensor library for ESPx@1.19
```

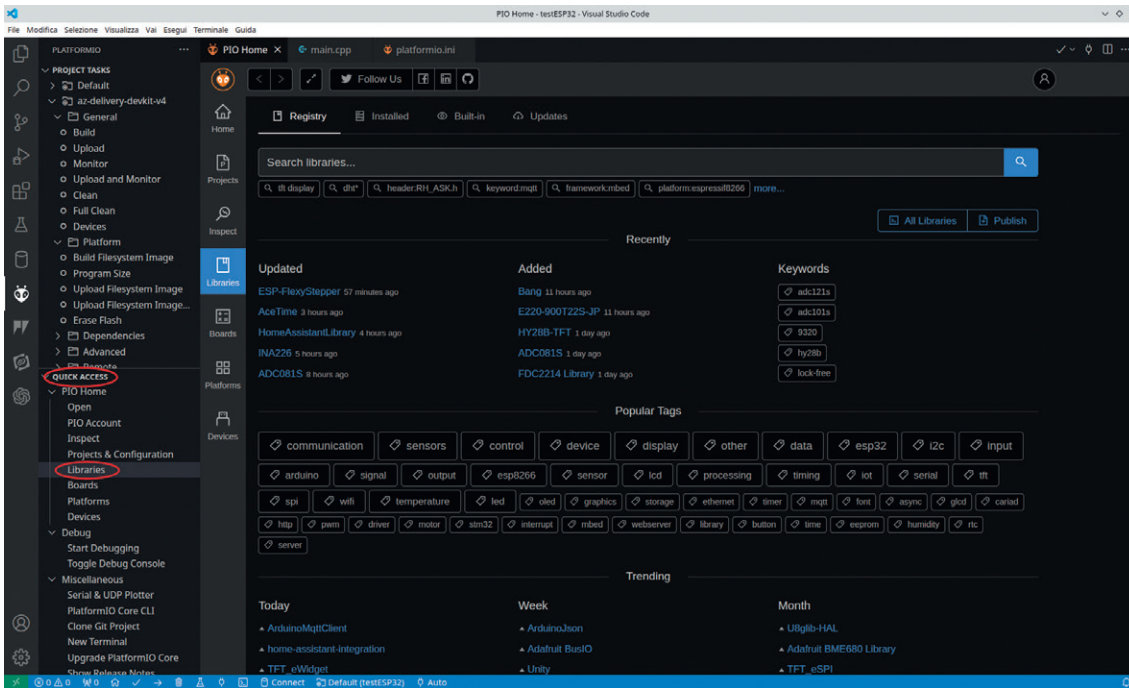
En conclusion, les bibliothèques peuvent être ajoutées avec la page de recherche ou, si vous connaissez le nom, avec le chemin, directement dans le fichier *platformio.ini*. Pour utiliser la bibliothèque qui vient d'être ajoutée au projet, il faudra l'inclure, par exemple, dans le fichier *main.cpp*, en ajoutant la ligne *#include "DHTesp.h"* immédiatement après la ligne *#include "Arduino.h"*. Dans le fichier *platformio.ini*, nous ajoutons également les lignes suivantes :

```
monitor_speed = 115200
upload_speed = 921600
```



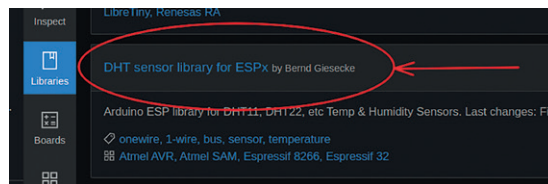


▲ Figure 11. Le projet sur le système de fichiers.

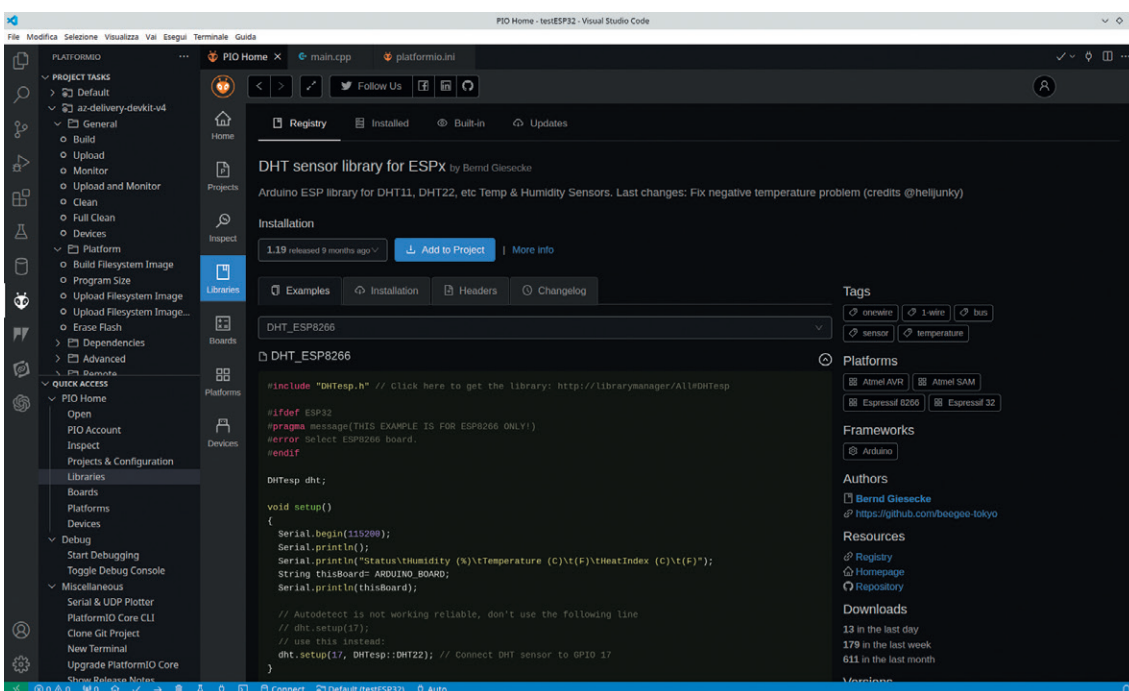


▲ Figure 12. Page de recherche de bibliothèques de PlatformIO.

pour qu'il apparaisse comme le montre la **figure 17**. Ces deux commandes servent respectivement à régler la vitesse du port série pour la communication avec l'ordinateur et la vitesse à laquelle le croquis est chargé dans la mémoire du microcontrôleur.



▲ Figure 13. La bibliothèque choisie pour la gestion des capteurs.



▲ Figure 14. Page de la bibliothèque DHT sensor library for ESPx par Bernd Giesecke.

Figure 15. Bibliothèque complémentaire.

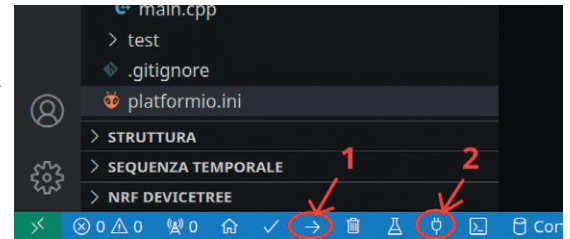
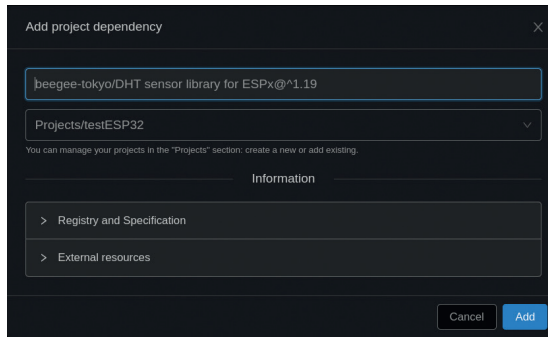


Figure 19. Bouton de compilation et de chargement du croquis et bouton d'activation du moniteur série.

Figure 16. Fichier Platformio.ini avec la bibliothèque ajoutée.

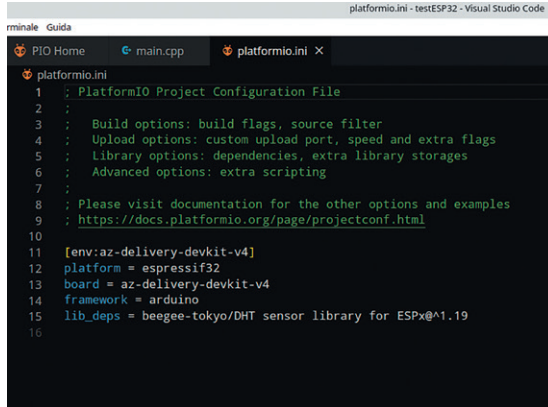


Figure 17. Nouvelle version du fichier platformio.ini.

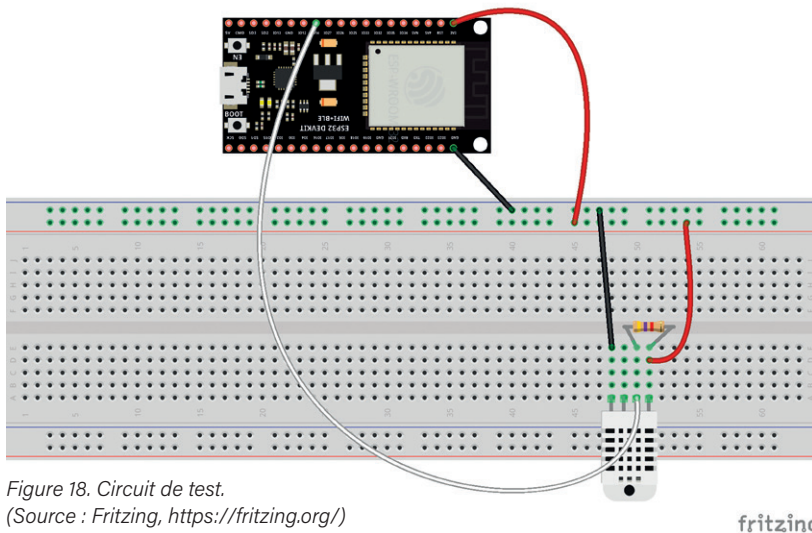
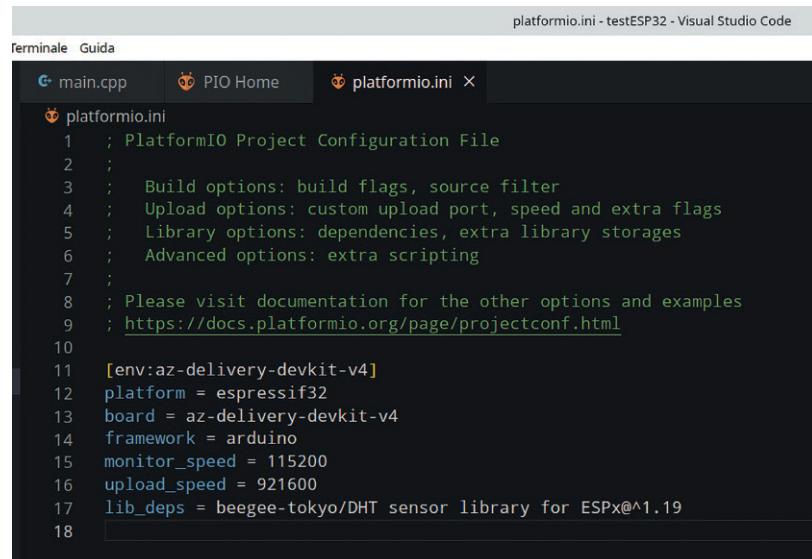


Figure 18. Circuit de test. (Source : Fritzing, <https://fritzing.org/>)

## Tester le projet

Pour tester le fonctionnement du projet nouvellement créé (donc vide), nous avons décidé de connecter le microcontrôleur à un capteur DHT22, de lire les valeurs mesurées de la température et de l'humidité ambiantes en temps réel, et de les afficher via le moniteur série de PlatformIO.

En plus du microcontrôleur et du capteur, nous avons utilisé une résistance de 4,7 k, quelques fils de connexions, une plaque à essai pour monter le circuit simple visible sur la **figure 18**. Comme visible sur l'image, la taille du NodeMCU ESP32 ne permettait pas de le placer sur la plaque à essai, il a donc été laissé de côté.

## Croquis

Le **listage 1** est contenu dans le fichier *main.cpp*. Le croquis commence par l'inclusion des bibliothèques nécessaires. Ensuite, l'objet `dht` de type `DHTesp`, qui est utilisé pour gérer le capteur, est instancié. Ensuite, le GPIO de l'ESP32 qui lira les données du capteur (dans notre cas 14) est assigné.

Les variables sont définies pour stocker les valeurs mesurées ainsi que pour gérer le timing des mesures. Dans ce cas, les lectures sont programmées pour avoir lieu toutes les 3 secondes. Il est conseillé de ne pas réduire cet intervalle, car le capteur DHT22 nécessite environ 2 secondes pour réaliser une mesure.

Ensuite, nous avons la fonction `printData()`, qui récupère les valeurs des variables de température et d'humidité et les affiche sur le moniteur série de PlatformIO, avec un formatage minimal. La fonction `setup` initialise le port série, utilisé pour transmettre les données vers le moniteur série, et connecte le GPIO 14 au capteur. La fonction `loop` détecte, à intervalles définis par `measureDelay` en mms, les mesures réalisées par le capteur et les stocke dans les variables de température et d'humidité. Elle appelle ensuite la fonction `printData()` pour afficher les résultats. Ce processus se répète cycliquement. Pour charger le croquis sur la carte, il suffit de cliquer sur le bouton marqué du numéro 1 dans la **figure 19**.

Le croquis sera d'abord compilé puis, si aucune erreur de compilation ne survient, chargé dans la mémoire interne du microcontrôleur ESP32. Pour visualiser les résultats, il faut activer le moniteur série en cliquant sur le bouton indiqué par le **numéro 2**, toujours dans la **figure 19**. La **figure 20** montre les résultats affichés dans le moniteur série.

```

PROBLEMI OUTPUT CONSOLE DI DEBUG TERMINALE PORTE SQL CONSOLE NRF TERMINAL
* Esecuzione dell'attività: platformio device monitor
--- Terminal on /dev/ttyUSB0 | 115200 8-N-1
--- Available filters and text transformations: colorize, debug, default, direct, esp32_exception_decoder, hexlify, log2file, no
control, printable, send_on_enter, time
--- More details at https://bit.ly/pio-monitor-filters
--- Quit: Ctrl+C | Menu: Ctrl+T | Help: Ctrl+T followed by Ctrl+H
Temperature: 17.60 °C
Humidity: 58.90 %
Temperature: 17.60 °C
Humidity: 59.80 %

```

Figure 20. Affichage des résultats sur le moniteur série.

## Prêt pour le codage ?

Comme on peut le constater, la création d'un projet avec PlatformIO et l'ajout de bibliothèques se révèlent être des démarches assez simples et normalisées. PlatformIO combine une utilisation facile avec des fonctionnalités complètes, non abordées ici, car elles sortent du cadre de ce guide.

La gestion avancée des bibliothèques et l'installation aisée des dépendances simplifient encore le processus de développement, permettant de se concentrer davantage sur la création du projet, plutôt que sur la configuration de l'environnement. En outre, l'intégration native avec Arduino et sa large communauté de développeurs enrichissent la plateforme, offrant accès à un écosystème étendu de ressources et de solutions collaboratives. L'utilisation de PlatformIO pour ESP32 constitue une étape importante vers un processus de développement plus efficace, organisé, évolutif et professionnel. La plateforme fournit les outils nécessaires pour explorer des idées innovantes, créer des conceptions complexes et accélérer le cycle de développement, rendant l'expérience de programmation plus intuitive et gratifiante. ◀

240370-04



### Produits

- > Joy-IT NodeMCU ESP32 Development Board  
[www.elektor.fr/19973](http://www.elektor.fr/19973)
- > Joy-IT Sensor Kit X40  
[www.elektor.fr/18124](http://www.elektor.fr/18124)



### Listage 1. Boucle Loop pour la lecture et l'affichage des données du capteur.

```

#include <Arduino.h>
#include "DHTesp.h"

DHTesp dht;
#define DHT22_PIN 14

float temperature;
float humidity;
unsigned long measureDelay = 3000; // NOT LESS THAN 2000!!!!
unsigned long lastTimeRan;

void printData() {
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.println(" °C");
    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(humidity);
    Serial.println(" %");
}

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(115200);
    // This delay gives the chance to wait for a Serial Monitor
    // without blocking if none is found
    delay(1500);
    dht.setup(DHT22_PIN, DHTesp::DHT22);
    // Connect DHT sensor to GPIO 14
}

void loop() {
    //put your main code here, to run repeatedly:
    if (millis() > lastTimeRan + measureDelay) {
        humidity = dht.getHumidity();
        temperature = dht.getTemperature();
        printData();
        lastTimeRan = millis();
    }
}

```

### WEBLINK

[1] Page de téléchargement de Visual Studio Code : <https://code.visualstudio.com/download>

DRÔLES DE

## COMPOSANTS

## Circuits intégrés originaux

David Ashton (Australie)

Explorons l'évolution fascinante des circuits intégrés (CI) au fil des décennies, depuis les premières conceptions originales et spécifiques jusqu'aux boîtiers compacts et standardisés d'aujourd'hui.

De nos jours, les circuits intégrés (CI) sont disponibles dans des boîtiers de plus en plus petits, mais limités à quelques formats standardisés : les composants montés en surface (CMS) qui disposent des pas de connexion de plus en plus fins, et les BGA (Ball Grid Arrays) dont les connexions sont toutes situées sous le circuit. Les boîtiers à trous traversants, autrefois prisés par les amateurs ne disposant pas de matériel spécialisé, existent encore mais tendent à devenir plus rares avec le temps. Autrefois (je trahis à mon âge), nous disposions d'une multitude de circuits intégrés, certains esthétiquement plaisants, d'autres moins attrayants, mais tous avaient un caractère unique comparé aux circuits intégrés d'aujourd'hui.

## Circuits intégrés traversants et boîtiers plus grands

De nos jours, il est rare de trouver des circuits intégrés traversants dans des boîtiers de plus de 40 broches et de 0,6 pouce de largeur. Les boîtiers plus grands sont des CMS. Autrefois, il n'était pas rare de trouver des boîtiers ayant jusqu'à 64 broches. Prenons pour exemple le CI DMA HD68450 à 64 broches destiné aux microprocesseurs de la série 68000 de Motorola (voir **figure 1**). Il est également proposé dans un boîtier en céramique ; probablement parce que la céramique offrait une meilleure stabilité thermique que le plastique, bien qu'elle fût généralement plus coûteuse.



Figure 1. CI DMA HD68450 pour les micro-ordinateurs de la série 68000 de Motorola, dans un boîtier en céramique.

C'est à la même époque que sont apparues les EPROM (Erasable, Programmable Read-Only Memory) (**figure 2**). Elles étaient disponibles dans des boîtiers standard de 24 à 40 broches, et possédaient une fenêtre pour le quartz sur le dessus du boîtier. Elles étaient programmables électriquement, et pour les effacer et les réutiliser, on les exposait à la lumière UV à travers leur petite fenêtre. Les puces elles-mêmes diffractaient la lumière sous le bon angle et produisaient de magnifiques couleurs.



Figure 2. Une sélection d'EPROM.

L'une des techniques utilisées par les fabricants pour augmenter le nombre de broches sur une surface réduite consistait à utiliser des boîtiers *quad-in-line*, avec les broches disposées sur deux lignes de chaque côté du circuit intégré. Cela permettait aux fabricants de rapprocher les broches sans avoir à utiliser des pastilles plus petites sur le circuit imprimé. Un exemple est visible dans la **figure 3**.

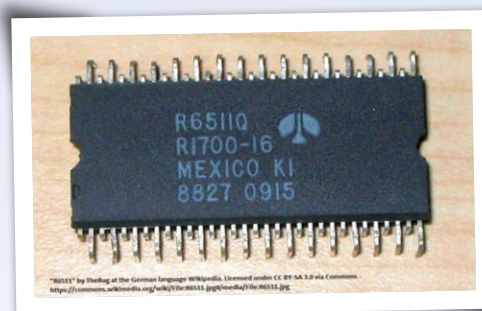


Figure 3. CI quad-in-line RS6511. Source : Guido Körber / Wikimedia Commons, CC BY-SA

Curieusement, cette même technique a été utilisée pour des circuits intégrés beaucoup plus petits - Motorola a produit un atténuateur électronique, le MFC6040 doté de 6 broches (**figure 4**). Il reste mystérieux pourquoi ils n'ont pas opté pour un boîtier standard de type 8-DIL...

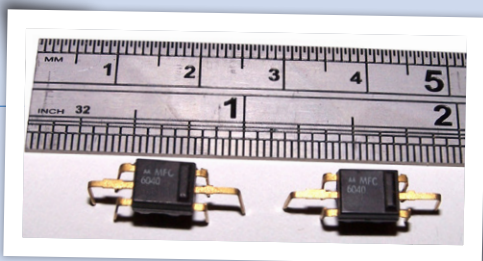


Figure 4. Atténuateur MFC6040 quad-in-line à six broches.

Avant l'apparition des CI en boîtiers DIL, il y avait les boîtiers ronds TO-99 pour les ampli-op et même certains anciens circuits intégrés numériques. Les premiers fameux ampli-op 709 et 741 en ce boîtier étaient très courants. On les désignait sous le nom de TO-99 lorsqu'ils comportaient 8 ou 10 broches (le terme TO-74 était parfois utilisé pour les modèles à 10 broches) et TO-5 ou TO-39 lorsqu'ils se présentaient simplement sous forme de transistors à 3 bornes. Il est surprenant de découvrir la diversité des composants que ces anciens boîtiers ronds pouvaient accueillir - j'ai même quelques timer 555 dans ces boîtiers. Un assortiment de ces circuits intégrés est présenté dans la **figure 5**. Ces boîtiers étaient couramment utilisés pour les premiers circuits intégrés de tous types.



Figure 5. CI TO-99 à 8 et 10 broches

La dissipation thermique reste un défi pour les petits amplificateurs audio. Les amplificateurs de plus grande puissance peuvent être placés dans l'un des boîtiers comme les régulateurs de tension et les transistors de puissance, mais quelques tentatives ont été faites pour le faire avec des amplificateurs de plus faible puissance (autour de 5 W). Les résultats ont souvent été peu esthétiques (**figure 6**). Le TAA621 utilisait un brochage *quad-in-line*, avec un dissipateur collé à un boîtier en plastique, et le Plessey SL403D était un circuit intégré DIL à 10 broches avec la puce montée directement sur le dissipateur. Cependant, ces deux amplis étaient notoirement peu fiables...

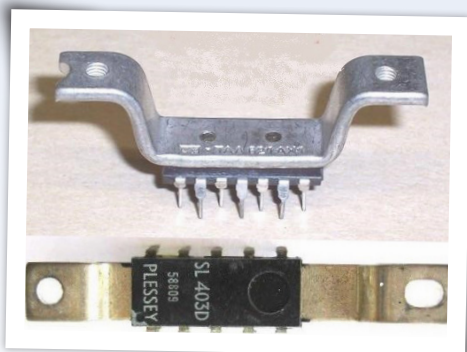


Figure 6. Amplificateurs audio avec dissipateur thermique. Un TAA621 quad-in-line (en haut), et un Plessey SL403D (en bas).

## Dimensions plus grandes

J'ai gardé le meilleur pour la fin ! Ce monstre (**figure 7**) consiste en une base carrée en céramique de près de 3 pouces de côté, avec trois gros CI CMS séparés montés dessus, ainsi que quelques condensateurs CMS et une résistance. Il s'agit techniquement d'un circuit hybride plutôt que d'un circuit intégré classique, mais il est visuellement impressionnant. L'un des circuits intégrés est équipé d'un dissipateur thermique rond monté dessus ressemblant à un hélicoptère. C'est un CYM7232S4oHGC 32-bit DRAM Accelerator provenant d'un serveur du début des années 1990. 371 broches (j'ai compté moi-même) et un énorme socket l'accompagnent.

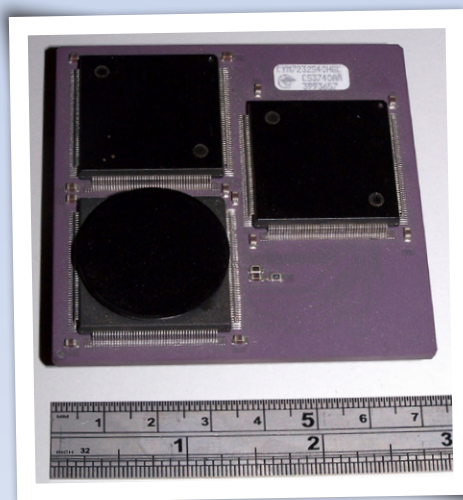


Figure 7. Circuit accélérateur DRAM du début des années 1990.

Ce n'est pas une liste exhaustive des boîtiers de circuits intégrés les plus originaux qui ont existé, mais en les comparant avec les boîtiers QFP, QFN et BGA d'aujourd'hui, je ne suis pas sûr que les choses soient devenues plus simples, surtout pour nous, les amateurs ! ◀

240417-04



## 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. Passionné d'électronique depuis son plus jeune âge. Évoluant loin des grands centres de l'électronique mondiale, il a rapidement appris à s'adapter, substituer et chercher des composants, des compétences qu'il a acquises très tôt (et dont il est toujours fier). Il a dirigé un laboratoire d'électronique, mais a principalement travaillé dans le domaine des télécommunications.

## Questions ou commentaires ?

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

# utilisation d'un blindage EMI pour assurer la conformité à la compatibilité électromagnétique

Mark Patrick (Mouser Electronics)

Dans cet article, nous abordons l'importance du blindage contre les interférences électromagnétiques (EMI), lequel permet d'assurer la conformité à la compatibilité électromagnétique (CEM), en particulier dans le contexte des technologies modernes telles que la 5G et l'Internet des objets (IoT). Cet article porte également sur les divers matériaux, techniques et stratégies de blindage EMI que les ingénieurs peuvent utiliser tout au long du processus de conception pour prévenir les interférences et garantir la fiabilité des produits.

En raison des avancées technologiques, notamment du déploiement de la 5G et de l'impact croissant de l'Internet des objets (IoT), la demande de blindage contre les EMI augmente. Garantir la conformité à la compatibilité électromagnétique (CEM) et la réduction des sources d'EMI dès le début du processus de conception est essentiel pour éliminer l'inefficacité, éviter les ajustements coûteux et prévenir les retards dans le lancement des produits. Du boîtier au module en passant par le circuit imprimé (PCB), il est possible d'intégrer un blindage EMI dans chaque élément ou sous-système. Les ingénieurs disposent d'un large éventail d'options de blindage pour chaque étape du processus de conception dans presque toutes les applications, qu'il s'agisse d'infrastructures commerciales ou énergétiques, de la défense ou de l'automobile. Cet article offre aux ingénieurs un aperçu des avancées technologiques qui remettent en question les approches actuelles du blindage EMI et fournit une vue d'ensemble des matériaux disponibles sur le marché.

## Omniprésence des interférences électromagnétiques

Les champs électromagnétiques sont une caractéristique commune à presque tous les circuits. Des champs électriques oscillants et des lignes de flux magnétique (voir

**figure 1**) se produisent autour du circuit lorsqu'un courant alternatif circule le long d'un câble ou à travers une piste de PCB. Lorsque ces champs sont induits ou transmis à un autre circuit ou câble, cela se traduit par du bruit ou des interférences indésirables. Ce bruit indésirable, généralement appelé EMI, peut perturber ou interrompre le fonctionnement de l'autre circuit. Une décharge électrostatique (ESD) est une autre forme d'EMI. Les ESD se produisent généralement à des fréquences variables, tandis que les EMI sont permanentes. Tout transitoire de haute tension et de courte durée ( $dV/dt$  élevé) peut entraîner un fonctionnement erratique ou des dommages permanents sur les systèmes électroniques sensibles. La plupart des systèmes électroniques génèrent des EMI de manière non intentionnelle, notamment les horloges, les commutations numériques à grande vitesse, les convertisseurs CC/CC et les interfaces sans fil.

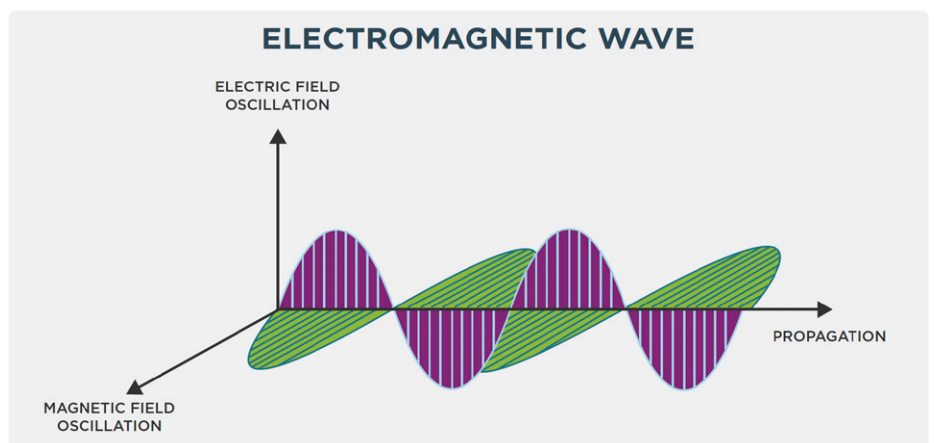


Figure 1. Champs magnétiques et électriques d'une onde électromagnétique. (Source de toutes les images : Kemtron Ltd, qui appartient désormais à TE Connectivity)

Les émissions d'EMI se retrouvent dans d'autres circuits par conduction ou par rayonnement. Par exemple, les horloges à petit signal qui passent le long d'une piste de circuit imprimé peuvent rayonner, généralement au-dessus de 10 MHz, car les pistes deviennent de véritables antennes. Le principe de la CEM est qu'un circuit ou un système est immunisé contre les EMI (voir **figure 2**).

### Dynamique et tendances du marché

La connectivité permanente est désormais partout. Que ce soit à la maison, en déplacement, au travail ou dans notre voiture, jamais une infrastructure de communication fiable et résiliente n'a apporté autant de bénéfices. L'essor de l'IoT et de son pendant, l'Internet industriel des objets (IIoT), ainsi que la croissance des communications cellulaires ont renforcé notre besoin et notre dépendance à l'égard des communications sans fil, qui, malheureusement, sont à la fois un outil essentiel et une source potentielle d'EMI. Le déploiement des infrastructures sans fil 5G, qui utilisent un spectre sans fil à ultra-haute fréquence précédemment inutilisé, élargit encore plus la possibilité d'EMI. Par conséquent, il n'a jamais été aussi important de veiller à ce que les produits soient protégés contre les EMI.

### Normes de compatibilité électromagnétique

Les normes CEM nationales et régionales, qui s'alignent généralement sur les normes CEM internationalement reconnues (voir **figure 3**), fournissent aux fabricants les spécifications auxquelles les produits doivent répondre avant d'être vendus. Les normes stipulent les émissions maximales autorisées pour le développement d'un produit et son immunité ou sa susceptibilité aux émissions par rayonnement ou par conduction. À chaque nouvelle conception, il est recommandé aux ingénieurs concepteurs d'envisager la possibilité d'EMI et d'intégrer des contre-mesures CEM au cours du processus de prototypage plutôt que de procéder à des ajustements ultérieurs. Il est primordial de comprendre les normes EMI et CEM applicables, les éventuelles sources d'émissions et les fonctions du circuit qui peuvent être plus sensibles au bruit EMI (voir **tableau 1**).

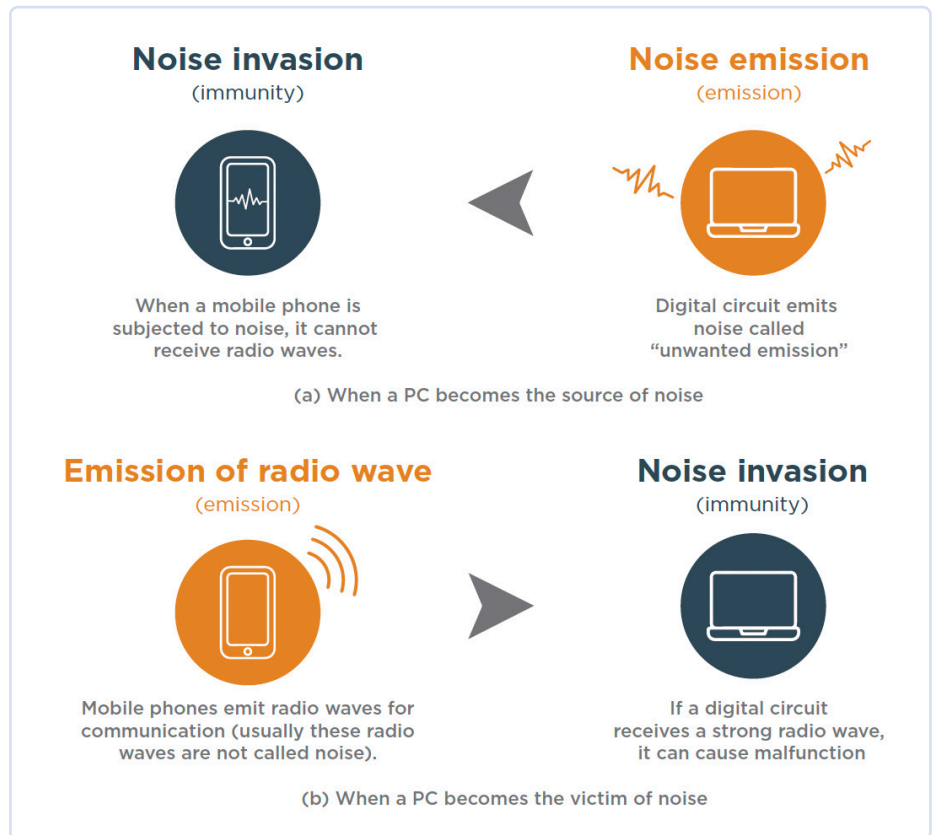


Figure 2. L'immunité aux émissions EMI est essentielle pour assurer la conformité CEM.

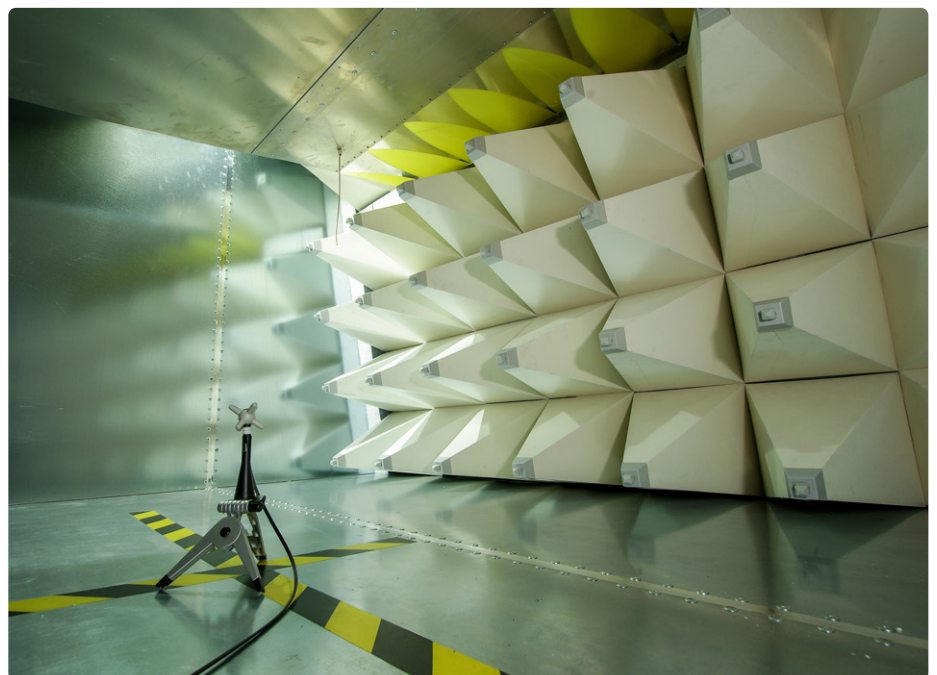


Figure 3. Essai de pré-conformité d'un dispositif testé aux émissions d'EMI.

**Tableau 1. normes EMI et CEM courantes, détaillées par secteur et par application.**

Application / Industry	EMC Standard
Aerospace, Defense and Marine equipment	DEF STAN 59-411 MIL-STD-461 MIL-STD-704 MIL-STD-1275 MIL-STD-1399
Automotive components	IEC CISPR 25 ISO 11451 ISO 11452 ISO 7637 SAE (multiple numbers)
Commercial equipment	FCC Part 15 class B IEC 61000-6-1 (generic) IEC 61000-6-3 (generic)
Industrial devices	FCC Part 15 class A IEC 61000-6-2 (generic) IEC 61000-6-4 (generic)
Medical devices	IEC 60601-1-2
Power station and substitution equipment	IEC 60000-6-5
Power station and measurement equipment (<1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 61326-1
Switch gears and control gears (1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 60947-1

IEC: International Electrotechnical Commission  
ISO: International Organization for Standards  
SAE: Society of Automotive Engineers  
FCC: Federal Communications Commission

(Source : Kemtron Ltd, now part of TE Connectivity)

### Obtention de la certification CEM

Bien qu'un centre d'essais CEM accrédité ne puisse effectuer que la certification CEM, l'équipe d'ingénieurs peut se pencher sur un certain nombre d'éléments avant de remettre le produit au laboratoire d'essais. Les mesures de base des émissions rayonnées et conduites effectuées à l'aide d'un analyseur de spectre ou d'un récepteur EMI équipé de sondes de champ H et E appropriées indiqueront si des essais supplémentaires ou des contre-mesures EMI sont nécessaires. S'il s'agit d'équipements de test coûteux pour une petite équipe de conception de produits, les sociétés spécialisées dans la location d'équipements de test et de mesure des EMI représentent une alternative rentable. Il est vivement recommandé de procéder à des essais de pré-conformité, car ils permettent à l'équipe de conception

de localiser les sources de bruit potentielles et de mettre en œuvre des méthodes de réduction des EMI, telles que le blindage,

les plans de masse et le découplage. Il est également important d'exposer un produit aux émissions d'EMI.

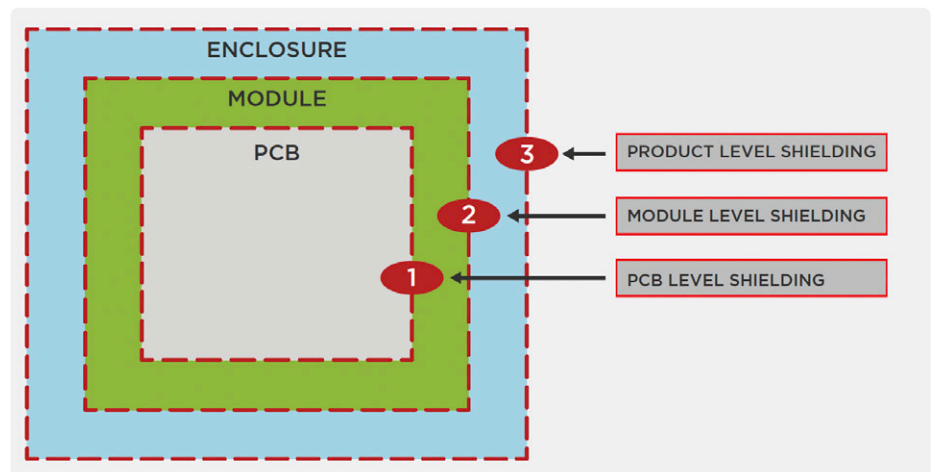
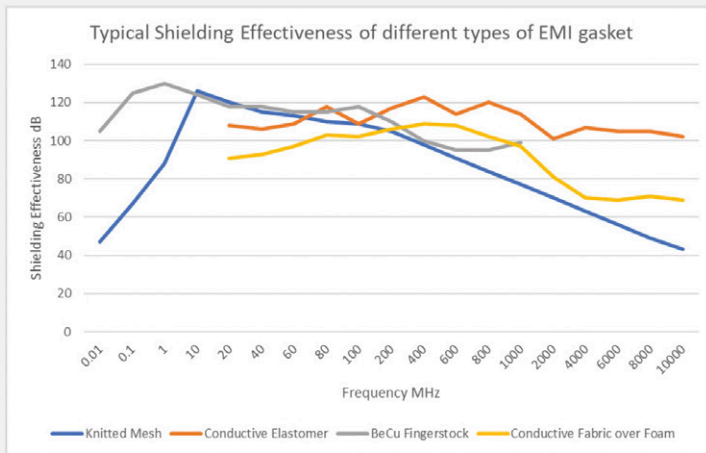


Figure 4. Approche à trois niveaux pour la mise en œuvre du blindage EMI.



## SHIELDING EFFECTIVENESS



**KNITTED WIRE MESH**  
H field (magnetic) shielding 62dB @ 10Khz achievable. SE falls off after 1GHz

**CONDUCTIVE ELASTOMERS**  
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

**FABRIC OVER FOAM**  
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

**BERYLLIUM COPPER FINGERS**  
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

Figure 5. Caractéristiques d'atténuation des EMI de quatre méthodes courantes de blindage en fonction de la fréquence.

### Niveaux de blindage EMI

La réduction des EMI et l'immunisation des fonctions des circuits contre les EMI nécessitent une approche systématique tout au long du processus de conception du produit. Cela inclut certains aspects de la conception du circuit imprimé, l'incorporation de plans de masse et la séparation des dispositifs bruyants des EMI des chaînes de signaux analogiques sensibles. Le blindage des composants, des parties fonctionnelles et des modules offre une approche pratique pour de nombreuses applications, basée sur une méthode à trois niveaux, axée sur le boîtier, le module et le PCB (voir **figure 4**). Le blindage contre les émissions rayonnées consiste à créer une cage de Faraday autour de la source d'EMI. La mise en œuvre d'un blindage au niveau du boîtier réduit toute source de bruit potentielle sortant ou entrant. Cependant, certaines fonctions du circuit peuvent nécessiter des niveaux de protection supplémentaires afin d'éviter que les EMI internes n'aient un impact sur d'autres fonctions du circuit. Le blindage au niveau modulaire est très utile. Il est régulièrement utilisé autour des modules sans fil, des convertisseurs de commutation CC/CC et des panneaux LCD. Il peut s'avérer nécessaire de prévoir un blindage au niveau de la carte pour les composants sensibles, tels qu'un convertisseur analogique-nu-

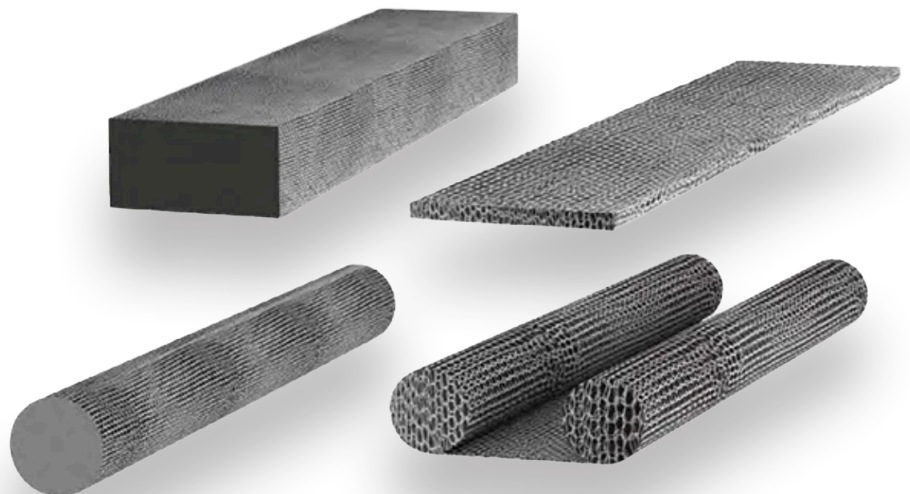


Figure 6. Les joints en treillis métallique tricoté Kemtron de TE Connectivity sont disponibles en longueurs continues et façonnés dans des dimensions spécifiques.

mérique. Le blindage convient également pour toute forme d'interconnexion, de sorte qu'il ne faut pas oublier d'empêcher les émissions rayonnées de s'échapper par les presse-étoupes, les fiches et les prises.

### Matériaux de blindage EMI

Parmi les composants de blindage EMI, on peut citer les joints en treillis métal-

lique tricoté, les élastomères conducteurs d'électricité, les tissus conducteurs et les doigts métalliques. Chaque type présente des caractéristiques d'atténuation des EMI légèrement différentes et convient à des cas d'utilisation spécifiques. La **figure 5** illustre les performances d'atténuation de ces quatre types de blindage en fonction de la fréquence.



Figure 7. Les élastomères conducteurs de Kemtron / TE Connectivity permettent une atténuation jusqu'à 100 dB, à 10 GHz.

**Trellis métallique tricoté :** l'utilisation de plusieurs couches de fils tricotés sur une éponge ou un tube en utilisant différents matériaux de maillage offre une solution efficace contre les interférences électromagnétiques et une compatibilité galvanique. Cette méthode permet la fabrication de formes complexes et le collage à des matériaux porteurs pour créer une protection contre la pénétration. Le blindage à mailles convient à divers cas d'utilisation, y compris les portes d'armoires, les couvercles et les plaques de recouvrement amovibles. Les performances du blindage tendent à diminuer au-delà de 1 GHz, à moins que des couches supplémentaires ne soient incorporées. Parmi les exemples, on peut citer la gamme Kemtron de TE Connectivity de joints en treillis métallique tricoté (voir **figure 6**), disponible en longueurs coupées ou fabriquée en formes de joints finis [1].

**Élastomères conducteurs d'électricité :** disponible en divers matériaux et formes, la gamme de Kemtron Ltd (qui fait désormais partie de TE Connectivity) (voir **figure 7**) offre une atténuation supérieure à 100 dB jusqu'à 10 GHz [2]. Les matériaux

de remplissage comprennent l'aluminium argenté et le graphite revêtu de nickel, les options de liant comprennent le silicone ou le fluorosilicone. Les formes les plus courantes sont les feuilles, les joints plats et les joints toriques. Les joints toriques «contre-écrou» sont conçus explicitement pour le blindage RF EMI et sont disponibles pour les formats de connecteurs les plus courants [3].

**Grille de ventilation en nid d'abeille :** pour les applications où le refroidissement par air forcé utilise un ventilateur, l'ouverture du ventilateur offre une voie d'échappement directe du bruit d'un boîtier par ailleurs étanche aux interférences électromagnétiques. Pour éviter cela, l'utilisation d'une grille de ventilation en nid d'abeilles, comme celles de la gamme Kemtron/TE Connectivity, offre une meilleure performance EMI tout en permettant un flux d'air adéquat grâce à sa construction de cellules en nid d'abeilles laminées, à une seule couche de feuille d'aluminium. Les grilles sont disponibles dans toutes les tailles de ventilateurs courantes, de 40 mm à 120 mm [4].

## Conformité à la CEM grâce aux blindages EMI

Les interférences électromagnétiques provenant des émissions sonores indésirables des équipements perturbent le bon fonctionnement des systèmes. Le respect de la CEM est une exigence réglementaire et une nécessité pour éviter un comportement erratique des systèmes. Ce bref article présente quelques méthodes de blindage que les ingénieurs peuvent mettre en œuvre pour améliorer l'immunité aux interférences électromagnétiques. ◀

240531-04



### À propos de l'auteur

En tant que directeur du contenu technique chez Mouser Electronics dans la région EMEA, Mark Patrick est responsable de la création et de la diffusion du contenu technique dans la région – un contenu essentiel à la stratégie de Mouser pour soutenir, informer et inspirer le public technique. Avant de prendre la direction du contenu technique, Mark Patrick faisait partie de l'équipe EMEA Supplier Marketing de Mouser et a joué un rôle important dans l'établissement et le développement de relations avec les principaux partenaires de fabrication. L'expérience antérieure de Mark comprend des tâches pratiques d'ingénieur, l'assistance technique, les ventes techniques de semi-conducteurs et divers postes de marketing. Mark est un ingénieur pratique et possède un diplôme de premier ordre en génie électrique de l'université de Coventry. Il est passionné par les vieux synthétiseurs et les motos britanniques, et n'hésite pas à les entretenir ou à les réparer.

## LIENS

- [1] Treillis métallique tricoté : <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-knitted-wire-mesh-gaskets/>
- [2] Élastomères conducteurs d'électricité : <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-emi-connector-gaskets/>
- [3] Joints toriques contre-écrou : <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-jam-nut-seals/>
- [4] Grille de ventilation en nid d'abeille : <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-honeycomb-air-vents/>

# L'outil ultime pour tous les passionnés d'électronique

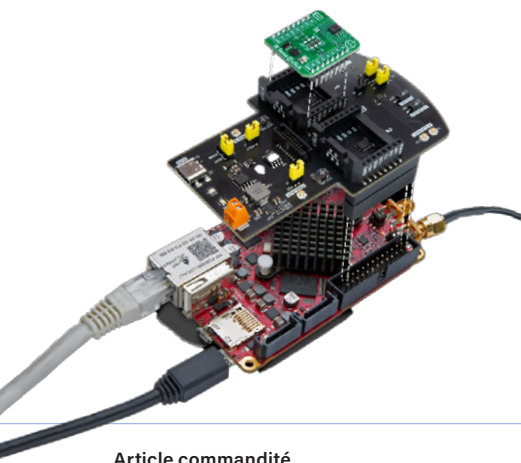
Débloquez des possibilités infinies avec Red Pitaya et plus de 1 000 Click Boards™

## contribué par Red Pitaya

Si vous êtes un féru d'électronique et que vous cherchez à améliorer vos projets, la carte Red Pitaya est l'outil qu'il vous faut. Cette plateforme révolutionnaire à code source ouvert combine plusieurs instruments en un seul appareil compact, ce qui en fait un outil indispensable pour les ingénieurs, les amateurs et les chercheurs. Souvent appelée le « couteau suisse » des électroniciens, la carte Red Pitaya remplace les équipements de laboratoire encombrants tels que les oscilloscopes, les générateurs de signaux et les analyseurs de spectre. Et ceci tout en offrant des fonctionnalités puissantes dans un boîtier compact, de la taille d'une carte de crédit, et à un prix abordable. Grâce à sa conception open source, elle contribue également à l'innovation en permettant aux utilisateurs de développer et de partager des applications personnalisées, ce qui en fait la solution tout-en-un par excellence pour vos projets d'électronique.

## Pourquoi choisir Red Pitaya ?

➤ **La polyvalence à son plus haut niveau :** une carte Red Pitaya peut s'adapter à un large éventail d'applications, allant du traitement des signaux et des télécommunications à la robotique et aux projets IdO. Sa conception modulaire signifie que vous pouvez toujours l'adapter à vos besoins spécifiques.



- **Une innovation rentable :** dites « au revoir ! » aux équipements coûteux et spécialisés. Une carte Red Pitaya vous offre des fonctionnalités haut de gamme sans se ruiner, rendant l'électronique avancée accessible à tous.
- **La portabilité et la facilité d'utilisation :** la carte Red Pitaya, avec son format compact, de la taille d'une carte de crédit, vous permet d'emporter votre laboratoire partout. Que vous soyez sur le terrain ou à votre bureau, Red Pitaya est votre compagnon de tous les instants.
- **La communauté open source :** rejoignez un réseau mondial de passionnés et de professionnels qui partagent des applications, des tutoriels et des idées. Grâce à une documentation et à une assistance complètes, vous ne vous sentirez jamais perdu.

## Présentation de Red Pitaya Click Shield : Des possibilités infinies

Comme si la Red Pitaya n'était pas assez polyvalente, la nouvelle **Red Pitaya Click Shield** la porte à un tout autre niveau. Cette carte d'extension innovante vous permet de connecter plus de **1 000 Click boards™ différents** de MikroElektronika, ouvrant ainsi un tout un monde de possibilités. Ces modules plug-and-play contiennent toutes sortes d'éléments, depuis les capteurs et les interfaces de communication jusqu'aux contrôleurs de moteur et aux écrans. Avec la Red Pitaya Click Shield, l'intégration de nouvelles fonctionnalités dans vos projets n'a jamais été aussi simple.

## Qu'est-ce que la Red Pitaya Click Shield ?

La Red Pitaya Click Shield sert de liaison entre la Red Pitaya et la vaste gamme de cartes Click board™. Elle permet une

intégration transparente sans nécessiter de câblage complexe ou d'expertise technique avancée. Il suffit de fixer la Red Pitaya Click Shield à votre Red Pitaya, de brancher les Click boards™ que vous avez choisis, et vous êtes prêt à vous lancer dans les expérimentations.

## En quoi cela peut-il aider vos projets ?

- **Personnalisation à l'infini :** imaginez que vous puissiez ajouter toutes les fonctionnalités dont vous avez besoin avec un minimum d'effort. Vous avez besoin de surveiller les conditions environnementales, de piloter des moteurs ou de mettre en œuvre une communication sans fil ? Il existe une Click board™ pour cela !
- **Simplicité d'utilisation :** conçu pour une intégration parfaite, la carte Red Pitaya Click Shield élimine les configurations compliquées. Pas de soudure ou de câblage complexe : branchez simplement votre Click board™ et commencez à travailler.
- **Une extension rentable :** améliorez les capacités de votre Red Pitaya sans investir dans de multiples dispositifs spécialisés. La Red Pitaya Click Shield est un moyen économique d'élargir l'étendue de votre projet.
- **Soutien de la Communauté :** grâce à une vaste communauté d'utilisateurs et à une documentation complète, vous disposerez de toutes les ressources nécessaires pour réussir. Partagez vos idées, trouvez l'inspiration et obtenez de l'aide quand vous en avez besoin. ◀

VF : Laurent Rauber — 240590-04

**Rendez-nous visite au salon electronica 2024, stand A3/572! 12 au 15 novembre à Munich.**

# HDI au milieu

## Un nouveau service PCB-pooling rentable pour des petits BGA

### contribué par Eurocircuits

Parfois, il y a un composant que nous voulons vraiment utiliser, mais il n'est disponible que dans un boîtier BGA à pas fin – l'utiliser ferait basculer notre conception au-delà de la « technologie PCB standard » vers le domaine HDI. HDI signifie techniquement « interconnexion à haute densité », et pratiquement, cela signifie que nous pouvons concevoir avec des isolants plus petits et des traces plus fines. De plus, nous pouvons utiliser des « microvias » : des vias avec des pastilles plus petites et des diamètres de trous plus

petits que ce qui est normalement possible avec un perçage mécanique.

Le HDI permet la miniaturisation, ce qui est formidable, mais cela peut être gênant si cela nous est « imposé » par un seul petit composant sur tout un PCB, rendant ainsi la fabrication excessivement chère. Chez Eurocircuits, nous avons la solution – « au milieu » – qui peut aider nos clients à gérer à la fois l'ennui et le coût. Notre HDI pool (**figure 1**), une construction en 8 couches, conserve les classes techniques « technologie standard » telles quelles, et ajoute des microvias

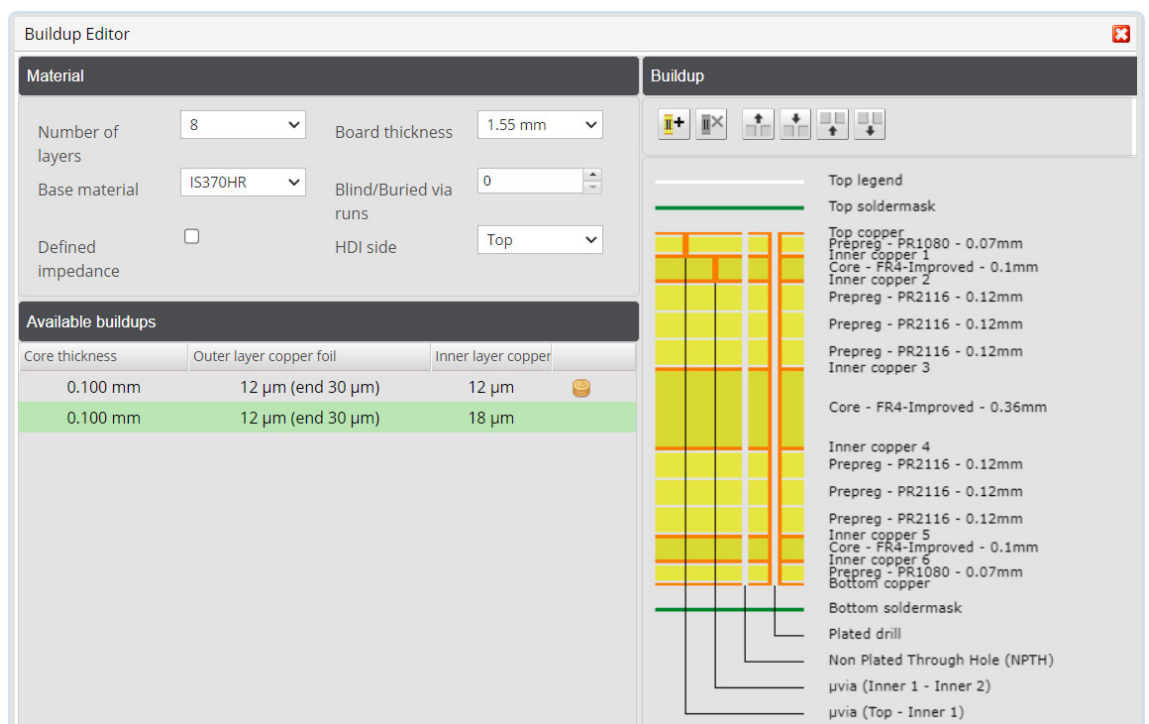


Figure 1. Notre empilage 8 couches de HDI pool



**Pattern classification**

		7	8	9
<b>Copper clearance, any layer</b>	≥	125	100	90
<b>Pad diameter, outer layers</b> Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+300	+300
<b>Pad diameter, inner layers</b> Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+350	+300
<b>Clearance from PTH, inner layers</b> From hole edge	≥	250	250	250
<b>Clearance from NPTH, inner layers</b> From hole edge	≥	200	200	200
<b>HDI microvia pad diameter</b> Available only for layers 1-2 and 2-3	≥	280	230	210
<b>HDI microvia diameter</b> Available only for layers 1-2 and 2-3	=	100	100	100

**Hole diameter classification**

		A	B	C	D	E
<b>Plated through-hole (PTH) diameter</b>	≥	500	350	250	150	100
<b>Non-plated through-hole (NPTH) diameter</b>	≥	600	450	350	250	200
<b>Max PCB thickness (mm)</b>	=	3.20	3.20	2.40	2.00	1.60

entre les couches 1-2 et 2-3 ou entre 8-7 et 7-6. Cela permet à nos clients de concevoir avec ces BGA à pas fin, où le coût reste gérable puisque le « HDI » est limité à une petite zone et à deux passages de microvias.

**En pratique**

Que signifie cela en pratique ? Prenons la classe technique 7 avec la classe de perçage E de la **figure 2**, où le plus petit diamètre de pastille possible est de 0,45 mm (0,1 + 0,35 mm) ; cela ne rentre pas dans la plupart des diamètres de pastille de BGA à pas fin. Cependant, lorsque nous utilisons la même classification avec le HDI pool, le plus petit diamètre devient 0,28 mm, ce qui conviendra ! Cela permet aux concepteurs de placer des vias au centre des pastilles de BGA sans avoir à agrandir les pastilles au-delà des recommandations du fabricant. Les pastilles de microvia plus petites signifient également que l'utilisation des motifs dogbone devient une possibilité.

Évidemment, il est impossible de couvrir toutes les matrices de broches BGA et leurs configurations pour déterminer quelle partie sera routable et laquelle ne le sera pas. Cependant, nous avons configuré nos paramètres pooling de manière à ce que les matrices 8x8 soient entièrement routables pour les BGA jusqu'à un pas de 0,4 mm. (La **figure 3** montre un exemple d'une matrice 8x8 à pas de 0,4 mm entièrement connectés.) Mais bien sûr, des matrices plus grandes sont également possibles, et cela dépend de la taille de la matrice, de la configuration des broches et de

la manière dont ces broches sont utilisées. Dans de nombreux boîtiers, il y a des broches « No Connect », et dans la plupart des conceptions, toutes les broches d'un microcontrôleur ou d'un processeur ne sont pas utilisées, ce qui peut faciliter le routage de grandes matrices BGA avec seulement deux passages de microvias.

Que faire maintenant ? Nous vous invitons à télécharger vos conceptions dans notre Visualizer [1] et à les vérifier pour leur fabricabilité. Comme toujours, nous accueillons vos retours sur la manière dont ce service peut résoudre vos problèmes de fabrication.

240593-04

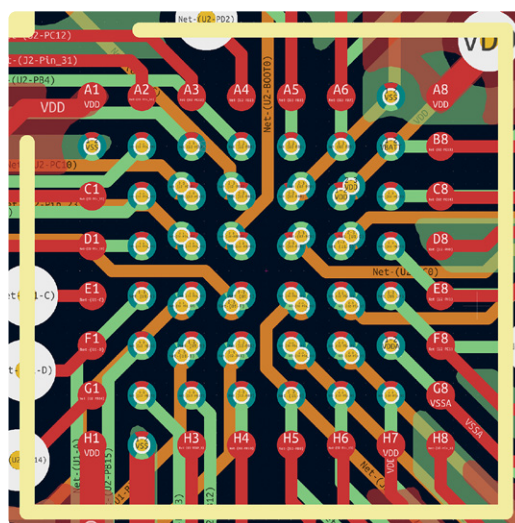


Figure 2. Les paramètres de nos classes techniques pour lesquels le regroupement HDI est disponible (notez que la classe 9 n'est pas pooling.)

Figure 3. Exemple d'une fan-out d'un boîtier WLCS64 à pas de 0,4 mm. La première « boucle » de BGA est routée sur la couche 1 (rouge), la deuxième sur la deuxième couche (verte) en utilisant des microvias L1-L2 au centre des pastilles, et la troisième et quatrième boucles sont routées sur la troisième couche (orange) en utilisant des vias décalés entre L1-L2 et L2-L3.

**LIEN**

[1] : <http://be.eurocircuits.com/shop/orders/configurator.aspx?loadfrom=web&service=hdipool&deliverycountry=fr&invcountry=fr&country=fr&lang=fr>



# Le microscope numérique Andonstar AD409 Pro-ES HDMI

Plus grand et possède un endoscope

**Clemens Valens (Elektor)**

L'Andonstar AD409 Pro-ES est ce que l'on appelle un microscope numérique HDMI. Il se compose d'un écran HDMI de 10 pouces et d'une caméra à laquelle est fixée une longue optique grossissante. L'ensemble est monté sur un pied réglable, ce qui permet un positionnement précis. Le microscope permet d'inspecter, par exemple, des circuits électroniques et d'autres objets de petite taille.

Le microscope n'est pas adapté aux applications médicales ou biologiques, car le taux de grossissement maximal est de 300 fois. Ce n'est pas suffisant pour observer des cellules et d'autres choses similaires. Le taux d'agrandissement est toutefois plus que suffisant pour observer des montages électroniques.

HDMI ne se réfère pas seulement à l'écran du microscope. Cela signifie également que l'appareil dispose d'une sortie HDMI qui peut être connectée à un autre écran (plus grand). Un seul écran peut être actif à la fois, vous devez donc choisir entre l'écran de l'AD409 ou l'écran externe.

## Utilisez l'Andonstar AD409 pour capturer et exporter des vidéos et des photos

Outre la visualisation simple, le microscope peut également enregistrer des vidéos (MP4, quatre résolutions allant de UHD 2880 x 2160 @ 24 fps à HD 1280 x 720 @ 120 fps) et prendre des photos (avec une résolution allant jusqu'à 5600 x 4200 pixels comme le montre la **figure 1**). Le microscope les stocke sur une carte microSD (jusqu'à 64 Go), mais les fichiers sont également accessibles via USB. Il est donc facile de les exporter vers l'application PC qui les accompagne, et qui est disponible pour une analyse plus poussée des images. L'outil PC (Microsoft Windows uniquement) vous permet d'annoter une image et de prendre toutes sortes de mesures de précision des

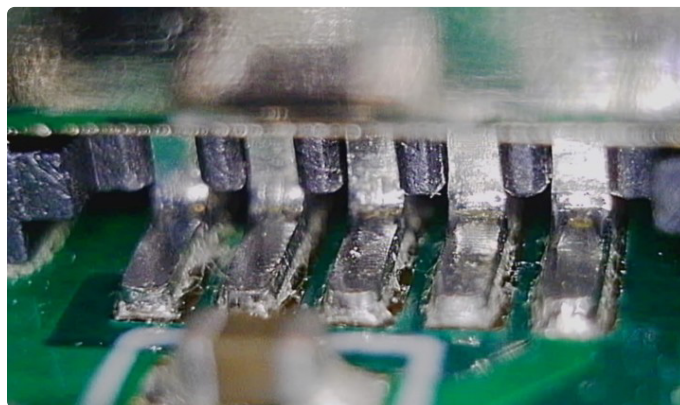


Figure 1. Une résolution de 5 600 par 4 200 pixels permet de voir de nombreux détails.

détails de l'image. Il dispose également de quelques fonctions de base d'amélioration de l'image, et peut contrôler certaines fonctions du microscope à distance.

## Quatre versions de l'AD409

L'AD409 existe en quatre versions : AD409, AD409 Pro, AD409 Max Pro et AD409 Pro-ES. Le système optique/caméra/affichage est identique pour les quatre versions, les différences se situant au niveau des options incluses dans la boîte. J'ai déjà examiné de près l'AD409 dans un autre article [1] ; je ne reviendrai donc pas sur ces détails.

## Un support plus haut avec plus de fonctionnalités

Par rapport à l'AD409, l'AD409 (Max) Pro et l'AD409 Pro-ES ont un support différent, plus haut et plus élaboré (**figure 2 et 3**). Sur l'AD409, il s'agit simplement d'une colonne courte, tandis que le Pro et le Pro-ES y ajoutent un support. Celui-ci permet de déplacer le microscope verticalement vers le haut et vers le bas, horizontalement vers l'utilisateur et à l'opposé de celui-ci. Il peut également pivoter sur 360° autour de la colonne. La colonne elle-même peut s'incliner vers l'arrière et vers l'avant, ce qui offre une grande liberté de mouvement à la caméra. Une bague réglable glissant vers le haut et le bas de la colonne peut servir de soit de butée de hauteur ou de protection contre une baisse trop importante du microscope.

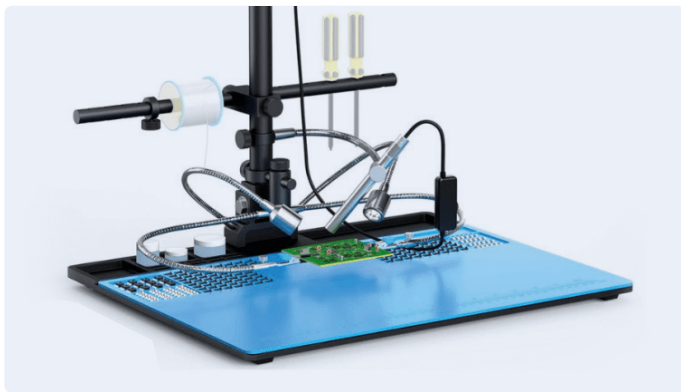


Figure 2. L'AD409 Max Pro est équipé d'un grand plateau de travail revêtu d'un tapis siliconé et inclut un support pour tenir un circuit imprimé et autres petits outils.

### Beaucoup d'espace libre

J'ai mesuré un maximum de 25,3 cm d'espace libre entre l'objectif et la plaque de base (7,7 cm pour l'AD409). La rotation de l'appareil de 90° vers la gauche ou la droite ajoute 12 mm supplémentaires (mais faites attention à ce que l'instrument ne bascule pas). C'est beaucoup d'espace non seulement pour les gros objets, mais aussi pour vos mains avec des outils. Cela signifie également que le microscope mesure plus de 50 cm de haut et qu'il peut bouger un peu si vous vous cognez contre l'établi.

### L'AD409 Pro-ES intègre un endoscope

L'AD409 Pro-ES est le modèle haut de gamme des microscopes numériques HDMI et comprend un endoscope, en plus du statif Pro. L'endoscope est une caméra en forme de stylo d'un diamètre de près de 13 mm. Il est équipé d'un bras flexible qui se fixe à la colonne (hauteur réglable). Il ne grossit pas, mais il a un anneau de LED blanches à intensité variable pour éclairer ou voir à l'intérieur de l'objet examiné. (figure 4).

L'écran HDMI peut basculer entre la caméra du microscope et l'endoscope. Il existe également un mode dans lequel l'image de l'endoscope est superposée à un quart de l'image de la caméra, ce qui permet d'obtenir deux vues différentes du sujet en même temps.

### Un vrai coup d'œil rapproché

Le fait que l'endoscope ne grossisse pas n'est pas un problème, car vous pouvez le positionner très près de l'objet à examiner. De cette manière, même les détails les plus infimes deviennent grands et visibles (voir figure 5). L'endoscope est excellent pour examiner, par exemple, les joints de soudure sous les connecteurs USB. La mise au point est réglable à l'aide d'une bague située à l'arrière

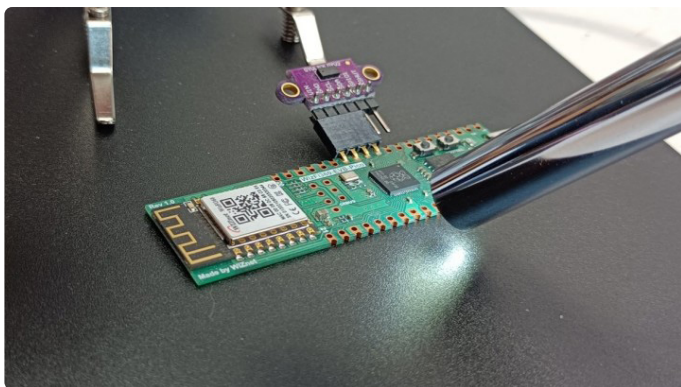


Figure 4. L'endoscope avec anneau LED intégré vous permet d'observer les détails sous un angle différent. Il permet également d'observer l'intérieur des objets.



Figure 3. L'Andonstar AD409-Pro (ES) est plus grand d'une tête complète que l'AD409.

de l'appareil. Veillez à bien serrer la poignée du bras flexible de l'endoscope, sinon la caméra risque de tourner pendant que vous essayez de régler la mise au point.

Même si le bras flexible est pratique, il manque un peu de stabilité lors du réglage de la mise au point, ce qui fait bouger l'image. Il est à noter que le réglage de la mise au point de la caméra du microscope a un effet similaire, mais c'est moins problématique.

### Regarder dans les coins

L'utilisation typique d'un endoscope est de regarder à l'intérieur des objets et des tuyaux, et pour cela, il est livré avec quelques accessoires pratiques qui se glissent sur l'embout de la caméra. Par exemple, un miroir latéral offre une vue périscopique, permettant de regarder dans le coin, derrière un objet. Deux autres spéculums permettent d'inspecter des trous d'un diamètre inférieur à celui de l'endoscope. Enfin, l'anneau LED de l'endoscope sert de troisième source lumineuse pour la caméra du microscope.

Je n'ai pas trouvé de spécifications techniques pour l'endoscope, je ne connais donc pas sa résolution et je ne sais pas s'il offre la même qualité d'enregistrement vidéo que la caméra du microscope. Pour le savoir, j'ai essayé de prendre des photos et des vidéos. Cela m'a posé quelques problèmes.

### Les problèmes liés à l'AD409 Pro-ES et à la carte SD

D'après le manuel, l'AD409 accepte les cartes microSD de 64 Go de classe 10. Il se trouve que j'en avais une que j'avais formatée sur mon PC. La prise de photos a fonctionné, mais essayer d'enregistrer une vidéo a produit une erreur. J'ai donc utilisé le microscope pour reformater la carte SD, mais cela n'a rien changé. Le remplacement de la carte SD par une carte de 8 Go a résolu le problème.

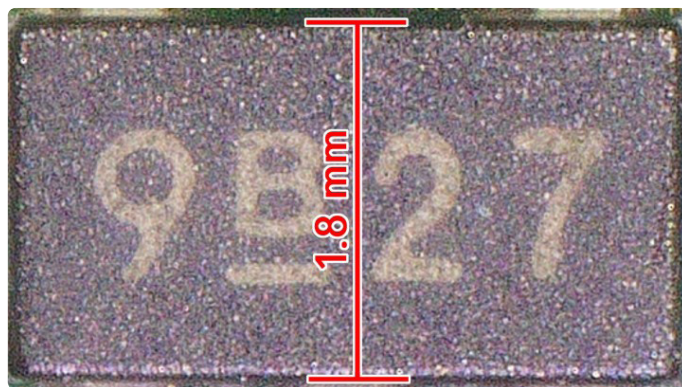


Figure 5. La capture d'images de haute qualité permet des mesures précises.

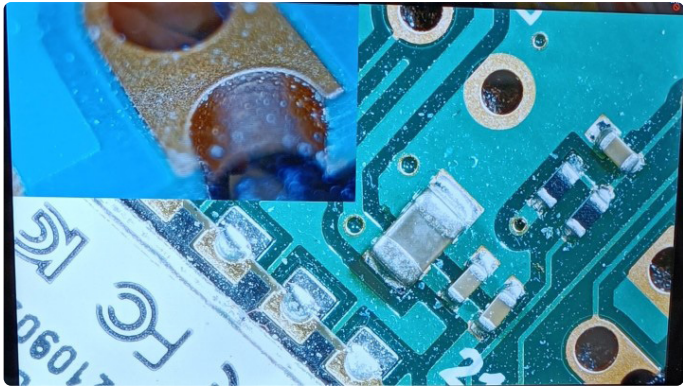


Figure 6. L'affichage image dans l'image montrant les images de l'endoscope et du microscope simultanément.

Je pouvais désormais enregistrer des vidéos et des photos. Cependant, après avoir réglé la résolution vidéo sur UHD P24 (la plus élevée), les choses ont cessé de fonctionner. Il est devenu impossible d'enregistrer des vidéos ou de prendre des photos, et le bouton de menu de la télécommande a également cessé de fonctionner. Pourtant toutes les autres fonctions fonctionnaient normalement. Le redémarrage du microscope a résolu le problème, car le microscope ne conserve pas (apparemment) tous ses paramètres entre les cycles de mise en route et d'arrêt.

### Enregistrer une vidéo à partir de deux caméras en même temps

Il m'a fallu un certain temps pour comprendre comment sélectionner la caméra utilisée pour l'enregistrement d'une vidéo. Il s'avère que cela se fait lors du réglage de la résolution vidéo. Le menu de la résolution vidéo affiche une liste de possibilités. Il y a deux entrées qui semblent un peu étranges : HD P30+HD P30 et FHD P30+FHD P30. Si vous choisissez l'une de ces options, le microscope enregistrera à partir des deux caméras en même temps (ce qui est plutôt cool, je pense). Sur la carte SD, vous trouverez deux fichiers, l'un avec un nom se terminant par « A » (microscope) et l'autre par « B » (endoscope). Toutes les autres résolutions vidéo ne s'appliquent qu'à la caméra du microscope.

### Fonctionne également pour prendre des photos

Les photos sont toujours prises par les deux caméras en même temps, quelle que soit la résolution. Il est donc possible de prendre des photos à la résolution la plus élevée (5 600 x 4 200) avec les deux caméras (même si je ne suis pas convaincu que l'endoscope ait vraiment autant de pixels). Comme pour les fichiers vidéo, les noms de fichiers se terminant par « A » correspondent au microscope, tandis que les clichés dont les noms de fichiers se terminent par « B » ont été prises par l'endoscope.

### Un instrument très performant

Le microscope numérique HDMI Andonstar AD409 Pro-ES est un instrument très performant pour l'inspection visuelle de petits objets et de détails. Avec son taux de grossissement de 300, il n'est peut-être pas adapté à un usage médical, mais il est parfait pour examiner de près, par exemple, les joints de soudure et les composants CMS minuscules.



Figure 7. L'Andonstar AD409 Pro-ES a également une télécommande.

L'endoscope de la version « ES » est idéal pour observer le sujet à examiner sous un autre angle que celui du dessus, de très près ou même de l'intérieur. Lorsque vous n'en avez pas besoin comme caméra, il est toujours utile comme troisième projecteur orientable.

### Enregistrement d'images de haute qualité avec l'AD409 Pro-ES

Le microscope et l'endoscope peuvent tous deux être utilisés pour enregistrer des vidéos de haute qualité ou prendre des photos en même temps. Toutefois, seul le microscope permet d'enregistrer des vidéos en résolution UHD-P24.

La colonne extra haute offre beaucoup d'espace pour déplacer le sujet et/ou vos mains sans risquer de heurter l'appareil photo. Les commandes de position horizontale et verticale indépendantes vous permettent d'orienter le microscope, sans le déplacer, vers presque n'importe quel point du sujet.

Le microscope numérique HDMI Andonstar AD409 Pro-ES constitue un excellent complément à tout espace de travail et laboratoire d'électronique, mais aussi à d'autres applications nécessitant une inspection minutieuse des détails les plus infimes. ◀

VF : Laurent Rauber — 240453-04

### Questions ou commentaires ?

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



### Produits

- > **Microscope numérique HDMI Andonstar AD409 10,1 pouces**  
[www.elektor.fr/19681](http://www.elektor.fr/19681)
- > **Microscope numérique HDMI Andonstar AD409 Pro-ES 10.1 pouces (endoscope inclus)**  
[www.elektor.fr/20427](http://www.elektor.fr/20427)
- > **Microscope numérique HDMI Andonstar AD409 Max-ES 10.1 pouces (endoscope inclus)**  
[www.elektor.fr/20852](http://www.elektor.fr/20852)
- > **Microscope numérique HDMI Andonstar AD409 Max-ES 10.1 pouces (endoscope inclus)**  
[www.elektor.fr/20802](http://www.elektor.fr/20802)

### LIEN

[1] C. Valens, « La précision sous vos yeux avec le microscope numérique Andonstar AD409 », [elektormagazine.fr](http://elektormagazine.fr), mai 2021 : <https://www.elektormagazine.fr/review/la-precision-sous-vos-yeux-avec-le-microscope-numerique-andonstar-ad409>



# De la Conception au Produit

Conception de PCB/PCBA

Production de PCB/PCBA

## Prix Imbattable

Production centralisée pour des économies maximales

## Qualité Garantie

Fiabilité assurée par un fabricant expérimenté

## Service Client

Assistance professionnelle et réactive, disponible en ligne

## Livraison Express

Vos produits chez vous en seulement trois jours

5,4M +

clients

6000 +

employés

14,5M +

commandes par an

9M +

PCB fabriqués chaque année

## Inscrivez-vous et recevez

60\$ en coupons de bienvenue  
24\$ de réduction mensuelle sur les services SMT

[jlcpcb.com](http://jlcpcb.com)

Scannez pour  
un coupon  
exclusif de 10\$

