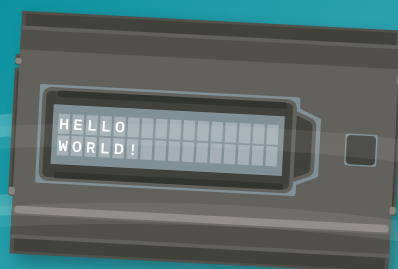


Édition spéciale  
Rédaction invitée



ARDUINO



Projets Arduino

140  
Pages

Domotique

Connectivité simplifiée

Devenez professionnel  
avec Arduino Pro

Pilotage des machines  
avec l'Arduino  
Portenta H7

Du prototypage à la production

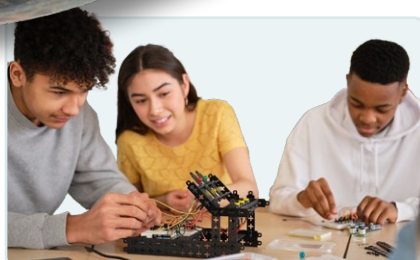
Création  
artistique  
avec Arduino

Dans ce  
numéro

- Devenez professionnel avec Arduino Pro
- Bibliothèque Mozzi Arduino pour la synthèse sonore
- Introduction à TinyML
- Les projets connectés simplifiés
- MicroPython entre dans le monde d'Arduino

aux  
commandes  
d'Elektor!

et bien plus  
encore...



Développer les compétences  
du futur  
avec Arduino

p. 90



Sauver la planète  
avec la domotique ?

p. 62



Foire aux questions  
avec Fabio, Massimo et David

p. 32

L 16651 - 2 H - F - 15,50 € - RD



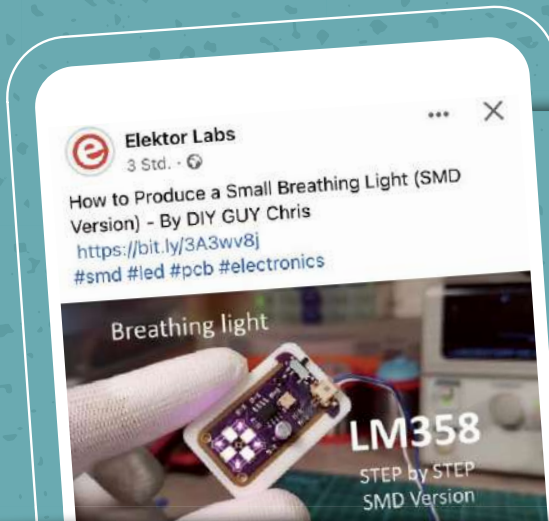
# Nouveau projet Aduino ou électronique ?

Partagez-le avec notre communauté !

Suivez-nous sur :



[www.twitter.com/ElektorFR](https://www.twitter.com/ElektorFR)



[www.facebook.com/ElektorFR](https://www.facebook.com/ElektorFR)



[www.instagram.com/elektorlabs](https://www.instagram.com/elektorlabs)





45<sup>ème</sup> année  
n° 499 – décembre 2022

ISSN 0181-7450  
Dépôt légal : novembre 2022  
CPPAP 1125 T 83713  
Directeur de la publication : Donatus Akkermans

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

Pour toutes vos questions :  
[service@elektor.fr](mailto:service@elektor.fr)

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

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

Publicité :  
Raoul Morreau  
Tél. : +31 (0)6 4403 9907  
Courriel : [raoul.morreau@elektor.com](mailto:raoul.morreau@elektor.com)

DROITS D'AUTEUR :  
© 2022 Elektor International Media B.V.

Elektor ne publie que du contenu (texte et images) produit par lui-même ou avec l'autorisation de son créateur. Avant publication, les droits d'auteur du contenu fourni par des tiers sont vérifiés. Si l'ayant droit est inconnu, Elektor s'efforce de le retrouver pour le rémunérer. Il n'est pas toujours possible de retrouver le détenteur des droits d'auteur. Si vous êtes ou connaissez le titulaire inconnu des droits d'auteur d'une publication, veuillez nous contacter à l'adresse [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr).

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

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

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

# L'innovation avec Arduino



Comme la plupart d'entre vous s'en souviennent, l'édition du 60<sup>e</sup> anniversaire du magazine Elektor de l'année dernière incluait une excellente interview de David Cuartielles, cofondateur d'Arduino. L'impact indéniable qu'Arduino a eu sur notre domaine, et par conséquent sur Elektor, rendait inévitable une conversation approfondie. L'entretien avec David a débouché sur l'idée d'inviter Arduino à relever le défi de devenir le rédacteur en chef invité de 2022 du magazine Elektor. Nous sommes maintenant heureux de vous présenter le résultat du travail acharné des équipes d'Arduino et d'Elektor.

Que pouvez-vous attendre de cette énorme édition spéciale du magazine Elektor ? Au cours des derniers mois, nos ingénieurs et rédacteurs ont travaillé en étroite collaboration avec David et ses collègues en Arduino pour préparer des projets, des interviews et des tutoriels sur les nombreuses solutions Arduino actuellement à votre disposition, de l'Arduino Uno à l'Arduino Cloud et même les nouveaux produits professionnels d'Arduino, dont la gamme Portenta. De même que dans tous les cas chez Elektor, nous avons travaillé dur avec nos amis d'Arduino pour vous offrir un magazine rempli, non seulement de projets innovants comme celui de David qui tourne autour du système de surveillance des sols, mais aussi des idées d'artistes créatifs comme celles de Jacob Remin qui utilisent Arduino de manière innovante. Que vous soyez un maker cherchant à démarrer un nouveau projet « maison », ou un ingénieur professionnel concevant un nouveau produit, vous trouverez certainement les articles, les conseils et les tutoriels de ce numéro utiles et inspirants. Bonne lecture !

C.J. Abate (directeur du contenu, Elektor) et  
Jens Nickel (rédacteur en chef, Elektor)



## notre équipe

Rédacteur en chef :

Rédaction :

Laboratoire :

Maquette :

Jens Nickel

Asma Adhimi, Eric Bogers, Rolf Gerstendorf, Thomas Scherer,  
Brian Tristam Williams

Mathias Claussen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens

Giel Dols, Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders

Ma passion pour l'électronique remonte au moment où j'ai découvert – à la dure – que la petite ampoule de ma lampe flash ne pouvait pas être connectée au secteur pour longtemps sans faire sauter les fusibles de tout l'appartement. J'avais 5 ans et je considérais l'électronique comme un mystère à résoudre. Je ne pouvais pas imaginer à quel point ce moment serait important pour ma vie future. En grandissant, j'ai compris que l'électronique ne se construisait pas – toujours – dans la solitude de la chambre d'un adolescent nerd. C'est grâce à Elektor que j'ai découvert toute une communauté de personnes partageant les mêmes idées. Des inventeurs prêts à partager leurs connaissances et leurs projets dans les pages du magazine Elektor. Ce concept de communauté est devenu un autre pilier fondamental de mon parcours professionnel.

Les années ont passé et nous – mes partenaires Massimo, Dave, Tom et moi – avons construit Arduino avec une énorme communauté de collaborateurs. Ce numéro spécial du magazine Elektor est un hommage à notre communauté, à tous ceux qui ont pris un Arduino dans leurs mains pour réaliser un projet, à ceux qui ont passé leur temps à enseigner aux autres l'importance de la technologie numérique, aux artistes, aux designers, aux ingénieurs et aux scientifiques désireux de réaliser un travail remarquable à l'aide d'une carte Arduino, et – pourquoi pas – à la communauté Elektor qui nous a inclus et qui a contribué à amplifier notre message au fil des ans.

Dans ce numéro, vous trouverez des entretiens avec des membres de la communauté Arduino, des projets spéciaux que nous – chez Arduino – réalisons pendant notre temps libre, et des exemples concrets de la manière dont la communauté Arduino contribue à améliorer le monde connecté. Ceci n'est qu'une infime partie de tout ce qui s'est passé depuis la création d'Arduino à Ivrea en 2005. Nous espérons que vous aimerez les articles et les projets que nous avons sélectionnés pour vous. Et n'oubliez pas : le partage, c'est l'entraide !

David Cuartielles (cofondateur, Arduino)





les projets  
connectés simplifiés  
plongez dans l'Arduino Cloud 18

## ALTAIR 8800 SIMULATOR

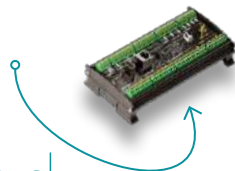
46

simulation matérielle d'un ordinateur ancien



## Rubriques

- 3 Édito : l'innovation avec Arduino
- 13 le kit LCR-mètre 2 MHz d'Elektor
- 32 Arduino en questions
- 102 la carte Portenta Machine control en détail
- 138 l'avenir de l'Arduino



## Articles de fond

- 14 MicroPython entre dans le monde d'Arduino
- 18 les projets connectés simplifiés  
plongez dans l'Arduino Cloud
- 23 introduction à TinyML  
plus gros n'est pas toujours mieux
- 28 l'écriture des croquis Arduino en net progrès  
l'EDI Arduino 2.0
- 36 débiter avec le Portenta X8  
gestion sécurisée des logiciels avec les conteneurs
- 40 créez, déployez et maintenez des applications évolutives  
et sécurisées  
avec Arduino Portenta X8 équipé du mini processeur  
d'applications i.MX 8M de NXP et de l'élément de sécurité  
EdgeLock® SE050

- 66 devenez professionnel avec Arduino Pro
- 71 les fours intelligents font un bond dans le futur
- 72 Tagvance conçoit des chantiers de construction plus sûrs  
avec Arduino
- 73 Santagostino respire facilement  
avec une surveillance à distance qui tire parti de l'IA pour  
une maintenance prédictive
- 74 la sécurité atteint des sommets avec la solution basée sur  
les cartes MKR de IoT Secure
- 75 l'open-source apporte au monde du progrès dans la  
gestion de l'eau
- 82 bibliothèque Mozzi Arduino pour la synthèse sonore  
le point de vue de Tim Barrass
- 88 les nouveaux Portenta X8 (avec Linux !) et Max Carrier  
redéfinissent le champ des possibles
- 90 comment l'utilisation d'Arduino aide les étudiants à  
acquérir des compétences futures
- 93 bien s'équiper  
pour mieux travailler
- 96 l'importance de la robotique dans  
l'enseignement
- 98 LoRa fiabilise l'IdO
- 126 création artistique dans l'environnement Arduino  
des idées inspirantes d'artistes et de designers







## cultivez-le vous-même

une jardinière numérique  
d'intérieur tout-en-un



54

## les nouveaux Portenta X8 (avec Linux !) et Max Carrier redéfinissent le champ des possibles



88

## Projets

- 6 Arduino Portenta Machine Control et Arduino Portenta H7**  
démonstration avec une passerelle CAN vers MQTT
- 43 comment j'ai automatisé ma maison**  
Fabio Violante, PDG d'Arduino, partage ses solutions
- 46 simulateur Altair 8800**  
simulation matérielle d'un ordinateur ancien
- 50 MS-DOS sur le Portenta H7**  
exécuter des logiciels old-school sur du matériel moderne
- 54 cultivez-le vous-même**  
une jardinière numérique d'intérieur tout-en-un
- 62 sauver la planète avec la domotique ?**  
MQTT sur l'Arduino Nano RP2040 Connect
- 76 Senso**  
Détecter la déforestation grâce à l'analyse sonore
- 104 rétro-gaming avec Arduboy**
- 110 réduire l'utilisation de l'eau sur les pistes d'équitation**  
un IoT pour surveiller en permanence les niveaux d'humidité et de température du sol
- 116 le projet Panettone**  
système de gestion et de maintien d'un ferment au levain
- 124 Space Invaders avec Arduino**



### Le numéro de janvier - février 2023

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 « électronique audio et vidéo »

#### Quelques-uns des points forts :

- > sortie vidéo avec microcontrôleurs
- > caméra ESP32
- > amplificateur de casque 32 Ω
- > atelier: framework de développement audio pour ESP32
- > amplificateur à tubes
- > ChipTweaker
- > générateur de nombres aléatoires USB True
- > alimentation ATX pour Raspberry Pi

#### Et bien d'autres choses encore !

Le numéro de janvier-février 2023 du magazine Elektor sera publié aux alentours du 5 janvier 2023. La date d'arrivée du magazine papier chez les abonnés dépend des aléas d'acheminement. Le contenu et les titres des articles peuvent être modifiés.

Vous voulez plus de contenu d'Elektor et d'Arduino ? Dans les semaines à venir, nous publierons une édition bonus du magazine Elektor (dont Arduino est la rédaction invitée) qui regorgera de projets et d'articles liés à Arduino : contrôleur pour Spotify, rétro-gaming avec Arduino, et plus encore ! Abonnez-vous à la lettre d'information d'Elektor ([www.elektormagazine.fr/newsletter](http://www.elektormagazine.fr/newsletter)), pour recevoir l'édition bonus !



# Arduino Portenta Machine Control et Arduino Portenta H7

démonstration avec une passerelle CAN vers MQTT



Figure 1. Arduino Portenta Machine Control.

Mathias Claussen (Elektor)

L'Arduino Portenta Machine Control peut-il rivaliser avec un automate programmable (PLC) ? Arduino met le pied dans la porte de l'industriel. Voici un bref aperçu de l'Arduino Portenta Machine Control et de l'Arduino Portenta H7.

Arduino en environnement industriel : c'est la voie que la série Arduino Pro aimerait emprunter. Avec l'Arduino Portenta Machine Control (figure 1), on découvre une plate-forme munie d'E/S compatibles avec les classiques 24 V ou 4-20-mA. On y trouve en plus les systèmes de bus Ethernet, CAN-FD, RS-232, RS-485 et RS-422. Le wifi, le Bluetooth et l'USB sont présents pour encore plus de connectivité. Bien entendu, l'I<sup>2</sup>C et les connexions pour thermocouples ne sont pas oubliés. Les branchements sont très faciles sur l'Arduino Portenta Machine Control grâce aux borniers, visibles sur la figure 2.

Ceux qui se souviennent maintenant des connexions Siemens S7 n'ont pas tort. L'Arduino Portenta Machine Control est destiné à offrir une alternative aux développeurs dans les usines existantes - alternatives qui ne seraient pas réalisables

avec des PLC classiques. Il n'est pas non plus surprenant que l'Arduino Portenta Machine Control dispose d'un boîtier fonctionnel pour rail DIN.

## Arduino Portenta Machine Control

En quoi l'Arduino Portenta Machine Control est-il différent d'un PLC classique ? En cherchant un peu, vous trouverez des informations sur le fonctionnement interne d'un Siemens S7-1200 [1]. Mais qu'est-ce qui rend l'Arduino Portenta Machine Control meilleur ? Il n'y a pas de Raspberry Pi ou de Beagle Bone Black à l'intérieur. Le cœur de la machine est l'Arduino Portenta H7 et son microcontrôleur (MCU) STM32H747XI. Le MCU est de type double cœur asymétrique avec un ARM Cortex-M7, qui peut être cadencé jusqu'à 480 MHz, et un ARM Cortex-M4, qui

peut être cadencé à 240 MHz. En plus des 2 Mo de Flash et 1 Mo de SRAM internes du STM32, on dispose de 8 Mo de SD-RAM et 16 Mo de QSPI-Flash (*Quad Serial Peripheral Interface Flash*) [2].

Le MCU STM32 Dual-core de l'Arduino Portenta H7 fournit ainsi suffisamment de ressources pour exécuter plus que de simples applications d'automate. Dans cet univers, le système est parfaitement apte à mettre en œuvre des réseaux neuronaux et permettre de nouvelles applications, grâce à l'apprentissage automatique. L'Arduino Portenta H7 est directement pris en charge par Edge Impulse pour une introduction facile dans l'apprentissage automatique. Mieux encore, l'Arduino Portenta H7 dispose d'un port USB-C qui peut non seulement fonctionner en tant qu'hôte ou esclave USB, mais qui, grâce à une conception intelligente, est capable de fournir une

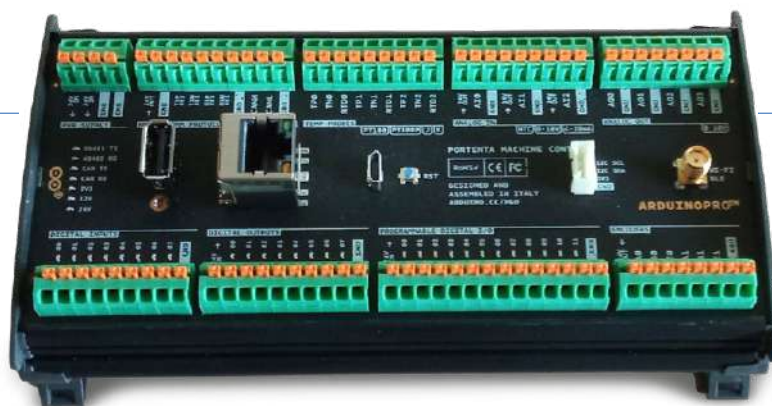


Figure 2. Les borniers de l'Arduino Portenta Machine Control.

thèque d'abstraction matérielle (HAL) pour le matériel. On trouve en plus la bibliothèque *openAMP* [5], pour la communication entre les processeurs. Pour les pilotes spécifiques au matériel, STM32Cube de STMicroelectronics permet d'utiliser du code éprouvé provenant directement du fabricant. Les couches logicielles sont présentées à la **figure 5**.

## Bibliothèques Arduino utiles pour l'Arduino Portenta Machine Control et l'Arduino Portenta H7

En plus du noyau de l'EDI Arduino et du package de cartes, il y a un certain nombre de bibliothèques qui permettent d'accélérer le développement. Pour l'Arduino Portenta Machine Control, c'est la bibliothèque nommée *Arduino Portenta Machine Control*. Cette bibliothèque fournit des fonctions appropriées pour l'interface du capteur de température de l'Arduino Portenta Machine Control et des commandes adaptées pour les modules de pilotage RS-485 et les GPIO 24 V. On y trouve aussi la commande de l'interface CAN. Pour se servir du wifi intégré pour installer un nouveau micrologiciel à distance, vous pouvez

sortie vidéo jusqu'à 720 p (1280×720 pixels). Il est donc possible d'installer directement un moniteur comme interface homme-machine (IHM) avec l'Arduino Portenta H7. Malheureusement, le port USB-C qui fournit le signal vidéo n'est pas directement accessible sur l'Arduino Portenta Machine Control.

Avec toutes ces nouvelles options, vous aurez probablement des idées pour vos propres applications. Dans cet article, je vais vous montrer comment aborder un petit projet avec l'Arduino Portenta H7 et l'Arduino Portenta Machine Control.

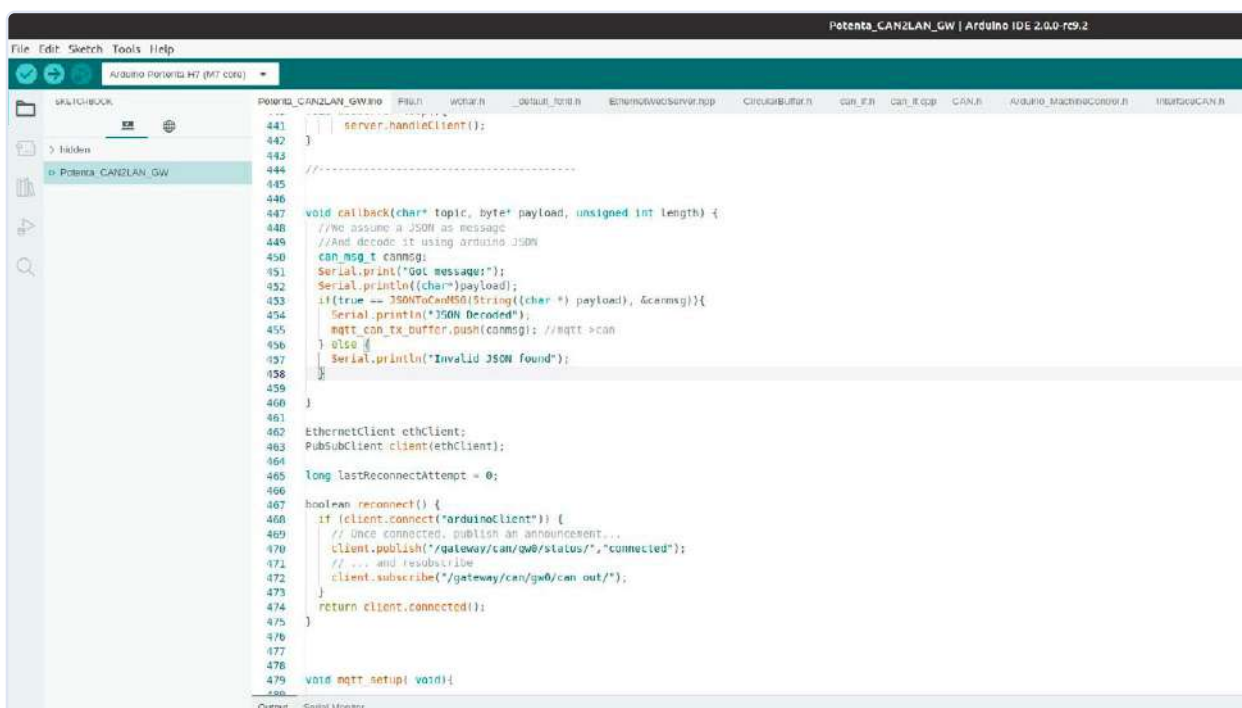
## Atelier logiciel et EDI

On peut utiliser l'environnement Arduino pour l'Arduino Portenta H7 avec l'EDI Arduino en version 1.x ou le nouvel EDI en version 2.x.

L'éditeur en version 1.x n'est pas le meilleur de sa catégorie, mais la version 2.x apporte des améliorations significatives. L'interface utilisateur de la version 2.x est présentée à la **figure 3**.

Pour communiquer avec l'Arduino Portenta H7 ou l'Arduino Portenta Machine Control avec l'EDI Arduino et commencer à développer, il suffit d'installer le package de cartes approprié (**figure 4**).

Vous pouvez également considérer PlatformIO [3]. L'Arduino Portenta H7 est ici aussi directement pris en charge, avec Visual Studio Code comme éditeur. L'EDI Arduino et l'interface de programmation d'application (API) cachent en arrière-plan d'autres manipulations logicielles. Il s'agit du système d'exploitation Mbed OS [4] et de sa biblio-





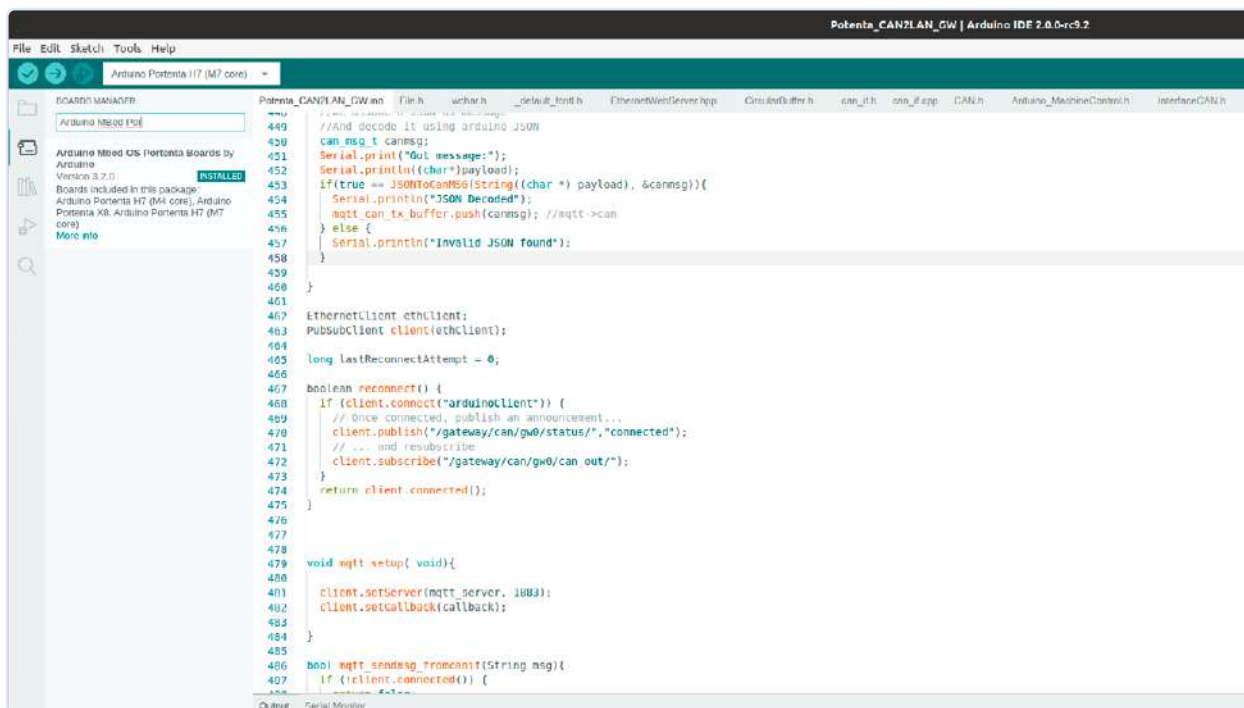


Figure 4. La carte dans le gestionnaire de cartes.

utiliser la bibliothèque *Arduino\_Portenta\_OTA*. Elle permet d'écrire un nouveau micrologiciel sur la mémoire flash externe ou une carte SD. Le micrologiciel sera mis à jour au prochain lancement du chargeur d'amorce.

Comme le *Bluetooth Low Energy* (BLE) est aussi pris en charge, il faut une pile BLE. Celle-ci s'appelle *ArduinoBLE* et peut être téléchargée via le gestionnaire de bibliothèques.

En ce qui concerne la sortie graphique, l'Arduino Portenta H7 s'appuie sur une bibliothèque qui organise comme il faut les pixels. C'est le cas de la bibliothèque *Little Versatile*

*Graphics Library* (LVGL) qui, dans sa version actuelle, est une bonne base pour votre propre développement d'IHM.

### Presqu'un automate classique : Arduino Portenta Machine Control et IEC 61131-3

Au moment de la rédaction de cet article, la prise en charge de la norme IEC 61131-3 [6] était encore en version bêta et les captures d'écran proviennent d'une version bêta (figure 6 et figure 7). Mais qu'est-ce que la norme IEC 61131-3, et pourquoi est-ce une bonne chose que l'Arduino Portenta Machine Control la prenne en charge ?

Quiconque travaille avec des automates classiques tels que le S7-1200 de Siemens a déjà été confronté aux langages IL (liste d'instructions), LD (diagramme en échelle) ou ST (texte structuré). La création de contrôleurs avec ces langages de programmation est devenue un standard industriel. Ces langages et procédures sont décrits dans la norme IEC 61131-3. Prise en charge par l'Arduino Portenta Machine Control, les utilisateurs peuvent ainsi s'appuyer sur leurs acquis et mettre en œuvre des concepts éprouvés sans trop d'efforts.

### Un MCU, deux cœurs de processeur

La programmation du MCU STM32 diffère

de celle des autres Arduino. Ici, nous avons deux processeurs qui travaillent indépendamment, mais qui peuvent accéder aux mêmes ressources. Dans l'EDI Arduino, vous pouvez maintenant choisir si le projet doit fonctionner sur l'ARM Cortex-M4 ou -M7 et comment la mémoire flash disponible est divisée entre les processeurs. Par exemple, la supervision en temps réel de la machine peut s'exécuter sur l'un des cœurs, tandis qu'une instance de MicroPython fait son travail sur l'autre cœur. De même, vous pouvez faire calculer votre application d'intelligence artificielle sur le cœur Arm Cortex-M7 et utiliser le cœur M4 pour d'autres communications, telles que TCP/IP, CAN ou Modbus. Un schéma fonctionnel du MCU STM32 est présenté à la figure 8.

### RAM externe, Flash et Secure Element

Comme mentionné au début, 8 Mo de SD-RAM sont connectés, et les deux UC peuvent y accéder. On peut accéder aux données, mais aussi exécuter du code à partir de cette RAM externe. De plus, le STM32 pourrait aussi monter directement dans sa zone de mémoire la Flash QSPI de 16 Mo. Cela permettrait à l'unité centrale de disposer de la Flash de 16 Mo comme mémoire interne et d'exécuter du code directement à partir de celle-ci (XiP - *Execution in Place*), mais cette option n'est pas prévue dans la

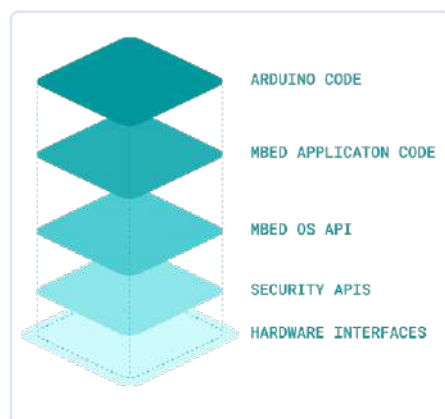


Figure 5. Couches logicielles pour l'Arduino Portenta H7. (Source : Arduino, <https://bit.ly/arduino-mbed-stack>)

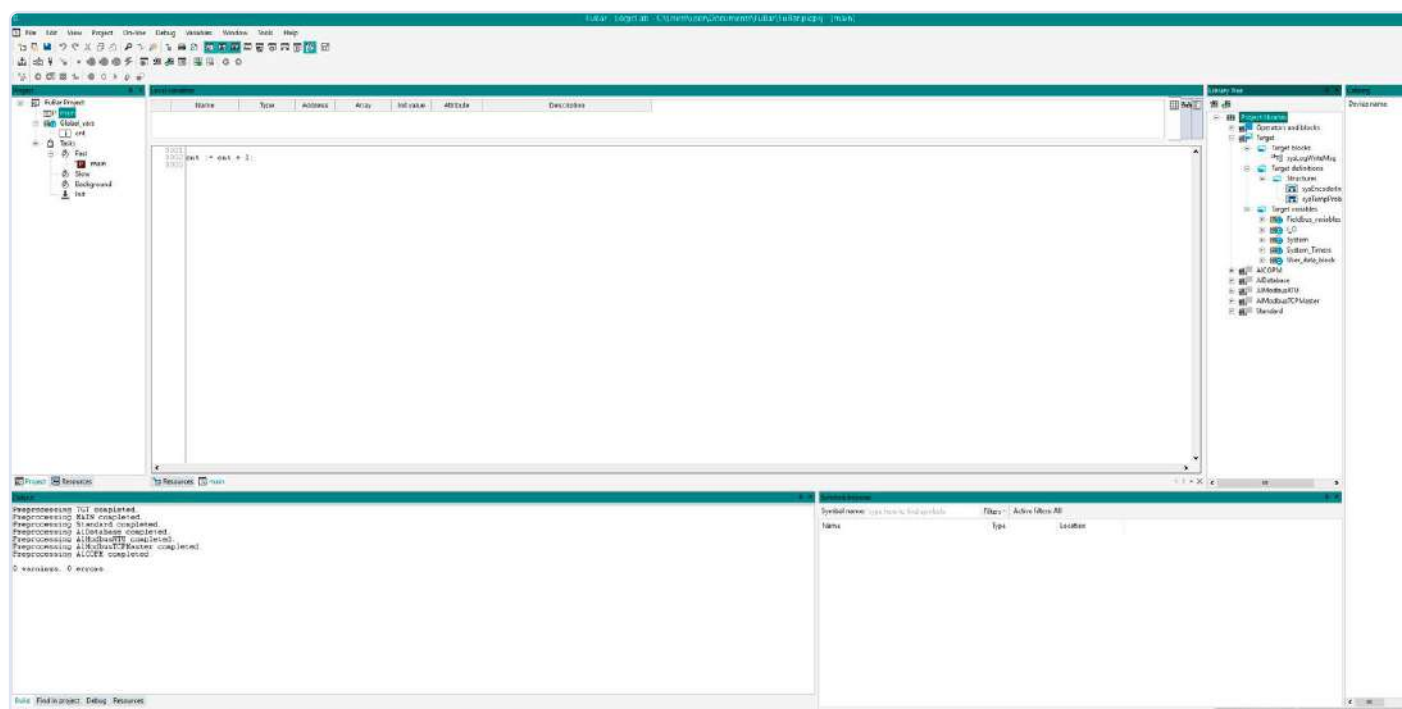


Figure 6. Compteur simple dans l'éditeur Arduino PLC.

pile logicielle Arduino. La flash de 16 Mo est traitée comme une flash QSPI externe et utilisée comme mémoire de masse avec un système de fichiers flash correspondant. Cela permet de stocker jusqu'à 16 Mo de données en mémoire, ce qui peut être très pratique pour les mises à jour *over-the-air* (OTA) ou

d'autres données.

Lors de son développement, il faut tenir compte de l'endroit où le code est placé. L'exécution à partir de la mémoire flash interne ou de la mémoire SD-RAM obligera le MCU à attendre le code et les données pendant des périodes plus ou moins longues. Un placement

maladroit peut entraîner une perte importante de puissance de traitement.

L'Arduino Portenta H7 possède un élément sécurisé. Il s'agit du *Secure Element NXP SE050*, dont une déclinaison réduite, le SE050E, a fait l'objet d'une critique sur le site Web d'Elektor. [7]



Figure 7. Vue d'ensemble du projet dans l'éditeur Arduino PLC.

## Exemple de projet avec l'Arduino Portenta Machine Control

Maintenant que le matériel a été présenté, un petit exemple de projet vous montrera comment écrire du logiciel pour l'Arduino Portenta Machine Control. On doit réaliser ici une passerelle CAN vers MQTT. Cette passerelle traitera les messages CAN selon la norme CAN 2.0B et les transmettra sous forme de messages MQTT à un serveur connecté via un LAN. Ce logiciel n'est qu'une simple démonstration et le code source ne peut certainement pas être considéré comme apte à la production.

## Pourquoi une passerelle CAN vers MQTT ?

Si vous voulez enregistrer et évaluer des données sur un bus CAN, vous pouvez le faire confortablement à distance. Les données peuvent ensuite être écrites dans une base de données ou examinées pour détecter des anomalies à l'aide d'autres méthodes (avec l'IA par exemple). Grâce au transport via MQTT, plusieurs participants peuvent évaluer les données CAN ou envoyer des messages au bus CAN. Et le CAN n'est pas seulement utilisé dans l'industrie ou les voitures ; on peut aussi le trouver dans les modèles réduits de chemin de fer. [8]

## Bibliothèques CAN, MQTT et WebSocket

Pour envoyer ou recevoir des messages CAN, on utilise le contrôleur CAN intégré, qui gère également le CAN-FD (*Controller Area Network Flexible Data-Rate*) du côté matériel. Malheureusement, le contrôleur CAN est quelque peu ralenti ici par Mbed OS, qui agit comme une couche intermédiaire, et est actuellement limité à CAN 2.0B.

On utilise PubSubClient [9] version 2.8 pour la connexion MQTT et EthernetWebServer de Khoi Hoang pour la connexion WebSocket [10]. Celui-ci fournit aussi un serveur web qui peut fournir des pages web. En termes de fonctionnalité, il est très similaire à celui de l'ESP32, de sorte que les applications peuvent être facilement migrées à partir d'un ESP32 ou ESP8266, du moins en théorie. Le serveur web lui-même est inclus dans le projet et renvoie aussi une page statique avec l'erreur 404 (page non trouvée). En ce qui concerne la lecture du système de fichiers flash de l'Arduino Portenta, il existe quelques incompatibilités mineures entre l'API de la bibliothèque *EthernetWebServer* et l'API d'accès au système de fichiers



Figure 8. Vue d'ensemble du STM32H747XI (Source : STMicro, <https://bit.ly/3xoRTDF>)

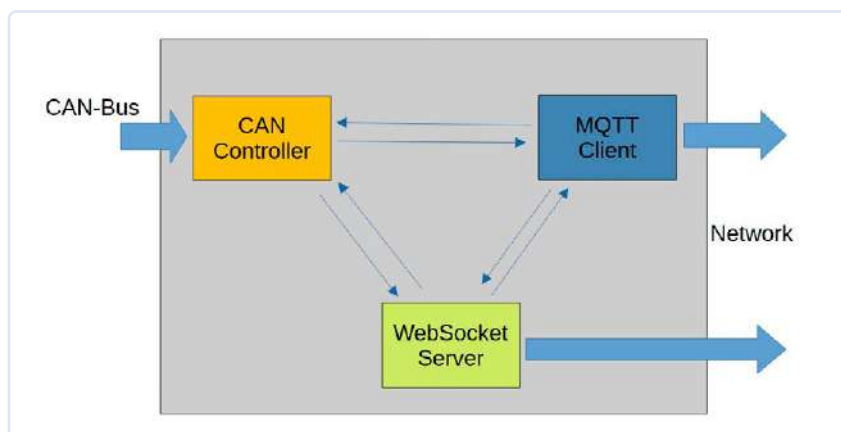


Figure 9. Schéma de principe du logiciel.



```

7 core)
Potenta_CAN2LAN_GW.ino File.h wchar.h _default_fcnl.h EthernetWebServer.hpp CircularBuffer.h can_if.h can_if.cpp CAN.h
1 // Project configuration
2 //-----
3
4 #define CAN_BIT_RATE CAN_SPEED_500KBPS
5 IPAddress mqtt_server(10, 10, 10, 10);
6
7 //-----
8
9 #if ( ( defined(ARDUINO_PORTENTA_H7_M7) || defined(ARDUINO_PORTENTA_H7_M4) ) && defined(ARDUINO_ARCH_MBED)
10
11     #if defined(BOARD_NAME)
12         #undef BOARD_NAME
13     #endif
14
15     #if defined(CORE_CM7)

```

Figure 10. Configuration du CAN et du serveur MQTT.

de l'Arduino Portenta. Avec un peu plus de temps et d'effort, cependant, on peut le corriger en ajoutant une petite classe qui fournit alors au serveur web un accès adapté aux fichiers. Le principe du logiciel peut être vu dans la **figure 9**.

Le logiciel avait déjà été écrit avec l'idée d'un serveur web fonctionnel et fournit les messages CAN non seulement via MQTT, mais aussi via WebSocket. Cela permettrait aussi l'affichage et l'interaction avec le bus CAN via un navigateur Web.

### Structure du logiciel

Pour la passerelle, les trois composants sont un client MQTT, un serveur WebSocket et le traitement des données CAN. Étant donné que ni WebSocket ni MQTT ne prescrivent la manière dont les données sont échangées,

on utilise ici JSON.

La configuration du logiciel se fait ici entièrement dans le code source, à cause du court délai de développement du projet, ainsi que de complications mineures avec le serveur web. Le débit binaire approprié doit être réglé pour CAN et l'adresse IPv4 du réseau doit être saisie pour le serveur MQTT. On peut voir la partie du logiciel dédiée à la configuration à la **figure 10**. Les messages CAN reçus par le contrôleur CAN sont transmis par le logiciel via MQTT et WebSocket. Si les données JSON contenant des messages CAN sont décodées avec succès via MQTT, elles sont transmises au contrôleur CAN et au serveur WebSocket. Pour les données WebSocket contenant des messages CAN, celles-ci sont transmises au serveur MQTT et au contrôleur CAN.

Le serveur WebSocket devait permettre

d'afficher les données CAN via une interface Web ou d'envoyer des données. Cela n'aurait nécessité qu'un terminal avec un navigateur. Néanmoins, le serveur a été laissé dans le logiciel parce que d'autres systèmes peuvent se connecter directement à l'Arduino Portenta Machine Control pour échanger des données via WebSocket. Aucun serveur MQTT ne serait alors nécessaire ici.

### JSON dans les messages MQTT et les connexions WebSocket

On utilise la notation d'objet JavaScript (JSON) [11] pour l'échange de données. La structure du JSON est assez simple et contient les données du message CAN ainsi que l'interface (CAN, MQTT ou WebSocket) par laquelle le message a été reçu. Un exemple d'une telle chaîne JSON se présente comme suit :



## Arduino & Co – Measure, Control, and Hack

Avec une simple carte Pro Mini et quelques autres composants, des projets qui étaient impensables il y a 20 ou 30 ans (ou qui auraient coûté une petite fortune) sont réalisés facilement et à moindre coût dans ce livre : des effets LED simples à une station complète de chargement et de test de batterie qui mettra un rechargeable à l'épreuve, il y en a pour tous les goûts.

[www.elektor.fr/20243](http://www.elektor.fr/20243)





```
{
  "src": "can_if0",
  "type": "can",
  "extid": false,
  "canid": 2047,
  "length": 8,
  "data": [
    0,
    0,
    255,
    255,
    0,
    0,
    0,
    128
  ]
}
```

Pour la connexion MQTT, on utilise le *topic* « /gateway/can/gw0/can\_in/ » pour les messages CAN reçus par le contrôleur CAN. Le message CAN est publié ici en tant que message JSON afin que tous ceux qui ont souscrit à ce topic MQTT reçoivent une copie du message. Les messages reçus via WebSocket sont publiés dans le *topic* « /gateway/can/gw0/ws\_in/ » du serveur MQTT. Cela permet de distinguer les messages envoyés via MQTT de ceux envoyés via WebSocket à l'interface CAN. Le *topic* « /gateway/can/gw0/can\_out/ » est souscrit sur le serveur MQTT. Si un message y est maintenant publié, le logiciel tente de le décoder en tant que message JSON et d'en générer un message CAN approprié. Si cela réussit, le message est transmis à l'interface CAN et au serveur WebSocket.

## Et la suite ?

Le logiciel présenté ici n'est qu'un avant-goût et est loin d'être complet. Il est destiné à donner des indications sur la manière dont vos propres projets pourraient être conçus et à montrer comment vous pouvez rapidement écrire vos propres applications avec les bibliothèques existantes et quelques connaissances sur l'environnement Arduino. Le logiciel peut être téléchargé sur le site d'Elektor Labs. [12] L'Arduino Portenta Machine Control coûte 300 €. Lorsque vous établissez le budget de votre projet, gardez à l'esprit que, bien que le boîtier soit bien conçu, il est dépourvu d'antenne wifi, donc prévoyez en conséquence. Pensez aussi à prendre une antenne avec un gain d'au plus 3 dB pour respecter la réglementation. Comme souvent, le logiciel peut être une épreuve. Mais commencer avec l'environnement Arduino est très simple et vous pouvez réutiliser beaucoup de vos connaissances. Avec l'Arduino EDI 2.x, l'éditeur a été beaucoup amélioré et obtenir tous les composants logiciels pour l'Arduino Portenta Machine Control est juste une question de minutes. À un moment donné, les bibliothèques ont besoin de l'apport des utilisateurs, donc si vous trouvez des bogues, veuillez les signaler. Cela permettra de garantir finalement une meilleure expérience pour tous. Quant à l'Arduino Portenta Machine Control, l'impression est la suivante : beaucoup de potentiel. Son Arduino Portenta H7 est une base très solide en termes de matériel, et le prix d'environ 120 € le rend intéressant pour de nombreux projets. L'option permettant de réaliser une IHM est très attrayante. De plus, le fait d'avoir de la RAM et de la Flash connectées au STM32H7 sur l'Arduino Portenta H7 lui permet de contenir des données plus

complexes et même d'exécuter des modèles d'intelligence artificielle plus importants sur le MCU. Avec le wifi, le Bluetooth et l'Ethernet, ainsi que le matériel pour les systèmes de bus courants, très peu d'attentes restent insatisfaites. L'Arduino Portenta H7 peut non seulement servir de base aux applications de contrôle industriel, mais en termes de matériel serait certainement aussi bien adapté comme cœur d'autres applications. 

(220448-04) — VF : Denis Lafourcade

## À propos de l'auteur

Mathias Claussen est ingénieur senior et rédacteur technique chez Elektor. N'hésitez pas à le contacter à l'adresse mathias.claussen@elektor.com. Vous pouvez lire plusieurs de ses articles sur [www.elektormagazine.com/claussen](http://www.elektormagazine.com/claussen). Vous pouvez également regarder Mathias lors du livestream mensuel Elektor Lab Talk sur YouTube ([www.elektormagazine.com/elt](http://www.elektormagazine.com/elt)), où vous pouvez lui poser vos questions en direct !



## Produits

- > **Arduino Portenta H7**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7)
- > **Arduino Portenta Machine Control**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control)
- > **Arduino Portenta Vision Shield**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-vision-shield](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-vision-shield)

## LIENS

- [1] L'intérieur d'un Siemens S7-1200 : <https://sec-consult.com/blog/detail/reverse-engineering-architecture-pinout-plc/>
- [2] Wikipedia : QSPI : [https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface#Quad\\_SPI](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface#Quad_SPI)
- [3] PlatformIO : <https://platformio.org/>
- [4] ARM Mbed OS : <https://os.mbed.com/mbed-os/>
- [5] Dépôt GitHub d'OpenAMP : <https://github.com/OpenAMP/open-amp>
- [6] Wikipedia : IEC 61131-3 : [https://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_61131-3](https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3)
- [7] M. Claussen, « Evaluation du Secure Element NXP EdgeLock® SE050E », Elektor, juin 2022 : [www.elektormagazine.fr/news/evaluation-du-secure-element-nxp-edgeloock-se050e](http://www.elektormagazine.fr/news/evaluation-du-secure-element-nxp-edgeloock-se050e)
- [8] Märklin CS2 Protocole CAN : [www.maerklin.de/fileadmin/media/produkte/CS2\\_can-protokoll\\_1-0.pdf](http://www.maerklin.de/fileadmin/media/produkte/CS2_can-protokoll_1-0.pdf)
- [9] pubsubclient Dépôt GitHub : <https://github.com/knolleary/pubsubclient>
- [10] Dépôt GitHub d'EthernetWebServer : <https://github.com/khoih-prog/EthernetWebServer>
- [11] JSON : [www.json.org/json-en.html](http://www.json.org/json-en.html)
- [12] Projet sur Elektor Labs : [www.elektormagazine.fr/labs/can-to-mqtt-gateway-with-arduino](http://www.elektormagazine.fr/labs/can-to-mqtt-gateway-with-arduino)

# déballage

du kit LCR-mètre  
avec David Cuartielles

Réservez la date : 26 janvier 2023



Voulez-vous déballer le kit LCR-mètre d'Elektor avec moi ? Regardez l'épisode du 26 janvier 2023 (18:00 CET) d'Elektor Lab Talk, où je rejoindrai les ingénieurs d'Elektor Mathias Claussen et Jens Nickel pour discuter du kit LCR-mètre, ainsi que pour répondre à vos questions sur la technologie Arduino et sur cette édition d'Elektor. Ne manquez pas le livestream. Venez poser vos questions !

220555-04

**Elektor** LabTalk

Regardez David live  
sur Elektor Lab Talk  
le 26 janvier 2023 !



[www.elektormagazine.com/  
labtalk-david](http://www.elektormagazine.com/labtalk-david)

Post  
discipline.



# MicroPython entre dans le monde de l'Arduino

Stuart Cording (Elektor)

MicroPython vient d'arriver dans l'EDI Arduino, offrant la 1<sup>ère</sup> alternative significative à la programmation en C et C++. Pourquoi cet émoi ? Est-il si facile à utiliser ? À qui ce langage assez récent sur les  $\mu$ contrôleurs profite-t-il ? Pour en savoir plus, Elektor s'est entretenu avec Sebastian Romero, le responsable des contenus chez Arduino.



## À propos de Sebastian Romero (Responsable du contenu @Arduino)

Technologue créatif, Sebastian Romero est responsable du contenu chez Arduino. Il conçoit des processus interactifs et enseigne avec empathie. Lui et son équipe sont chargés de créer de passionnantes expériences d'apprentissage pour aider des millions d'ingénieurs, concepteurs, artistes, amateurs et étudiants à innover.

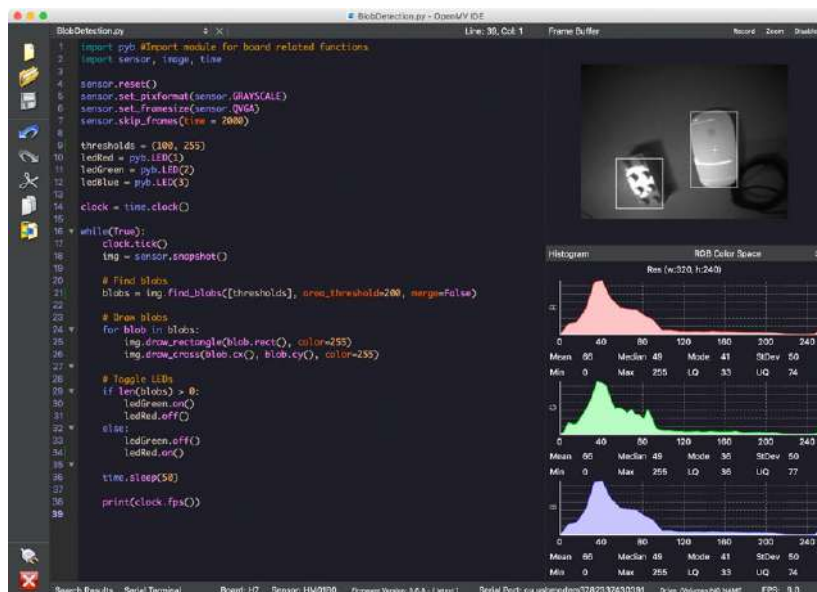
Dès la création d'Arduino, début des années 2000, le C et le C++ sont à la base de son développement logiciel. Grâce à une structure de programme prédéfinie par les fonctions `setup()` et `loop()`, les débutants en développement de logiciels embarqués furent guidés dans la configuration de leur carte et l'exécution de leur application dans une boucle. Voici qu'un nouveau langage est disponible. MicroPython est une version légèrement dépouillée de Python, un langage de programmation interprété polyvalent destiné aux  $\mu$ contrôleurs. Mais, pourquoi utiliser un langage interprété sur du matériel destiné à des applications en temps réel ?

« Par sa simplicité MicroPython est bien adapté aux débutants, les enseignants furent donc parmi les premiers à nous le demander », explique Sebastian Romero.

En C, on interagit avec les registres des  $\mu$ contrôleurs bien plus facilement qu'en assembleur et la programmation orientée objet (POO) du C++ produit un code plus concis avec moins d'erreurs. Cependant en C, l'analyse syntaxique des chaînes de caractères est ardue et rien n'est prévu pour gérer les formats Web actuels tels que HTTP, JSON [1] ou RegEx [2] (expression régulière). L'enseignement actuel étant axé sur l'interaction avec Internet et les services Web, le C/C++ fut mis de côté au profit de langages comme Python qui simplifie le codage de telles applications.

« Il s'ensuit qu'un enseignant en Python, préférera s'y tenir pour aborder le sujet des  $\mu$ contrôleurs », explique Sebastian.

Mais il n'y a pas que les enseignants. Les créateurs ont pu accéder à la vaste gamme de cartes compatibles avec MicroPython proposées par d'autres fabricants :



Détection de Blob sur Arduino Portenta H7 dans OpenMV.



par ex. ESP32, Raspberry Pi Pico, pyboard. L'industrie se tourne aussi de plus en plus vers MicroPython. L'existence de bibliothèques Python explique en partie la croissance rapide de l'apprentissage machine (ML). Peu d'équipes compétentes en Python, souhaitent passer à C/C++ pour transférer leur modèle et leur application ML sur un  $\mu$ contrôleur. Elles préfèrent s'en tenir à une seule pile de développement. L'autre problème est lié à la formation : trouver des programmeurs C/C++ devient plus difficile car les ingénieurs sont en majorité formés en Python.

### Quelles différences entre MicroPython et Python ?

Au départ, Python fut imaginé par Guido van Rossum en 1989 [3]. Il est conçu pour être ludique, explicite plutôt qu'implicite, simple et pour aboutir à un code lisible. En 2013, Damien George lança avec succès une campagne Kickstarter [4] pour livrer une version conçue de A à Z pour les  $\mu$ contrôleurs ainsi que le matériel pyboard pour l'exécuter. Micro Python, ainsi nommé à l'époque, promettait un langage de script « permettant de faire clignoter des LED sans effort, lire des tensions, etc. ». Un PC reconnaît un  $\mu$ contrôleur compatible USB comme clé USB et peut y télécharger du code. L'appareil peut aussi apparaître comme périphérique série, offrant une ligne de commande dite REPL (Read-Evaluate-Print-Loop).

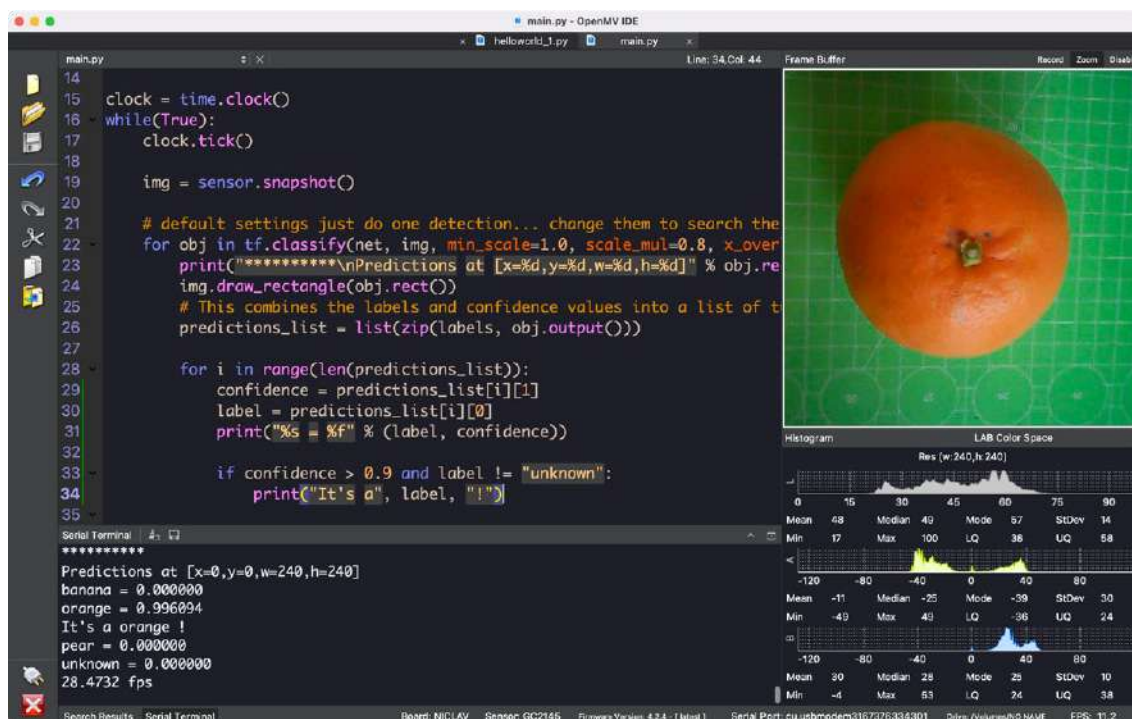
Comme prévisible, MicroPython nécessite une modeste quantité de mémoire tant pour s'exécuter que pour prendre en charge le code téléchargé et l'inter-

préter. Mais, même si 128 Ko de flash et 8 Ko de SRAM suffisent, cela n'autorise pas des fonctionnalités convenables. C'est pourquoi la plupart des cartes MicroPython ont un  $\mu$ contrôleur doté d'au moins 256 Ko de flash et 16 Ko de SRAM. Corollairement, un dispositif doté d'un processeur assez puissant, cadencé à 50 MHz ou plus et offrant une gamme respectable de périphériques est préférable.

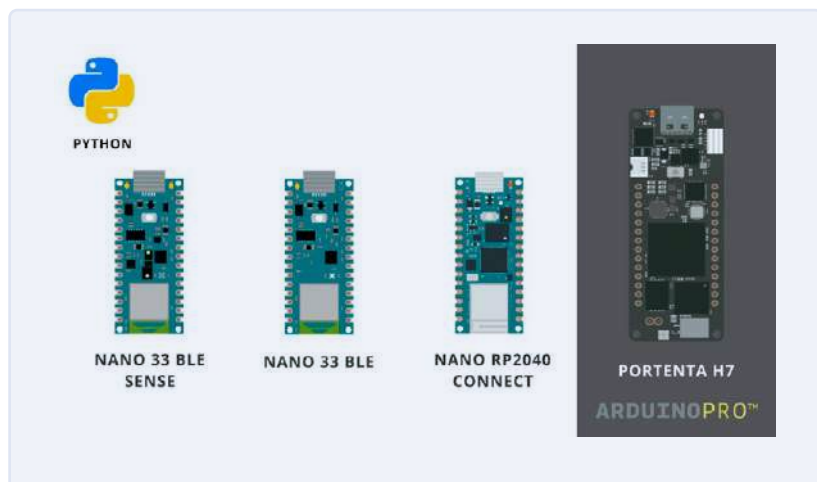
Sebastian nous confie en citant Jim Mussared, ingénieur embarqué de micropython.org, « Je reste toujours surpris de voir tout ce qui est réalisable avec seulement 16 Ko de SRAM ». « Pour les projets d'initiation, la plupart des étudiants n'utilisent que peu de mémoire, puis la taille du code augmente et les projets se complexifient. »

Souvent, ces projets MicroPython évaluent des données de capteurs et mettent en œuvre des machines à états.

*MicroPython peut s'exécuter immédiatement après chaque modification, contrairement aux croquis C/C++ qu'il faut d'abord compiler et télécharger.*



Classement d'images sur Arduino Nicla Vision dans OpenMV.



Cela dit, la SRAM n'est pas utilisée que pour stocker des variables. Elle abrite aussi du *bytecode* (par ex. des modules importés) à exécuter par la machine virtuelle (VM) de MicroPython. La manipulation de données volumineuses, comme des chaînes de caractères, ou bien la création ou destruction de nombreux objets risquent de ne pas laisser assez de SRAM pour exécuter le compilateur. Mais, une fois le code mature, le *bytecode* peut être précompilé et stocké en système de fichiers flash ou implémenté en tant que *bytecode* gelé pour utiliser encore moins de SRAM [5].

MicroPython est plus délicat que Python lors de la saisie du code car l'espacement est rigoureux. Les utilisateurs apprennent vite que des fonctionnalités par défaut (comme l'implémentation complète de la bibliothèque standard) sont absentes à cause des limites du matériel.

### Environnement de développement pour MicroPython Arduino

L'équipe d'Arduino a choisi le MicroPython maintenu par OpenMV, car les nouveaux Arduino équipés de caméra bénéficient ainsi des fonctions de vision industrielle et de la prise en charge intégrée de Tensor Flow Lite fournis par OpenMV [6]. L'utilisateur dispose donc d'un matériel et d'un EDI matures avec une prise en charge de qualité. OpenMV a été créé pour accéder à la vision industrielle sur les  $\mu$ contrôleurs. Cela correspond bien au désir de nombreux utilisateurs de créer des applications ML basées sur les images.

OpenMV IDE (*Integrated Development Environment*, EDI en français) fournit l'EDI pour les codeurs MicroPython plutôt que l'EDI Arduino traditionnel. Il offre les fonctionnalités centrales attendues, comme la fenêtre de développement du code et le terminal série. Il prend aussi en charge les applications de vision industrielle, comme l'affichage d'un tampon d'images et des histo-

grammes des plages de couleur et de luminosité. En outre, un outil intégré permet de télécharger des images de caméra directement dans le studio Edge Impulse pour faciliter l'entraînement d'un modèle d'apprentissage automatique.

Mais la manière dont le code est développé et déployé constitue la plus grande innovation.

Sébastien poursuit : « MicroPython peut s'exécuter immédiatement après chaque modification, contrairement aux croquis C/C++ qu'il faut d'abord compiler et télécharger. Cela accélère considérablement le développement et rapproche la tâche de codage de celle de Python ».

Le REPL est un autre avantage qui permet d'exécuter de courts scripts ou de tester des fonctions individuelles directement sur le contrôleur cible.

### Prise en charge matérielle Arduino pour MicroPython

En tout, cinq cartes Arduino prennent MicroPython en charge : Nano 33 BLE et Nano 33 BLE Sense ; Nano RP2040 Connect ; Portenta H7 et Nicla Vision. Sur la plupart, il faut débiter par une m. à j. du  $\mu$ logiciel pour télécharger le runtime MicroPython en flash. Nous avons constaté que ce processus est simple, mais également bien documenté [7]. Les cartes Nano 33 ont une étape de préparation qui utilise l'EDI Arduino ; les autres sont immédiatement reconnues par OpenMV et programmées avec le  $\mu$ logiciel nécessaire. Dans OpenMV, l'application est écrite sous forme d'un script Python qui est téléchargé sur la carte cible. Entre la programmation et l'exécution du code, il n'y a qu'un clic sur le bouton Play.

### Et ensuite ?

Quel futur pour Arduino maintenant que MicroPython est là ? Il est naturel de craindre que l'introduction de MicroPython relègue le classique croquis C/C++ au rang d'artefact historique. Mais ce n'est ni souhaité ni prévu. Si l'exécution en temps réel est une exigence, C/C++ sera toujours l'arme de prédilection.

« La demande de prise en charge de Python sur les  $\mu$ contrôleurs croît, notamment dans l'industrie de pointe qui utilise déjà une pile Python et travaille au développement d'applications ML », explique Sébastien.


La prise en charge de MicroPython étend les options accessibles aux utilisateurs d'Arduino, sans les remplacer. Graduellement, les développeurs C/C++ trouve-



ront des cartes de taille habituelle prenant en charge MicroPython.

« Avec la plupart des cartes Arduino classiques, MicroPython aurait des fonctionnalités très limitées et ce ne serait donc pas une option raisonnable », ajoute Sebastian.

Avec MicroPython, les utilisateurs peuvent comme autrefois perpétuer le succès d'Arduino [8]. Le code C/C++ contribué depuis 15 ans est toujours maintenu et utilisé pour des pilotes en combinaison avec MicroPython. Des liens sont ensuite utilisés pour lier MicroPython à ce code de base. Pour ceux qui souhaitent contribuer au développement de MicroPython [10], GitHub héberge aussi OpenMV [9], un projet auquel l'équipe Arduino participe également.

On peut voir MicroPython comme un ajout à l'écosystème Arduino actuel, son adoption étant motivée par le succès de Python, le langage préféré pour les applications ML et l'interaction avec les services en nuage. Les  $\mu$ contrôleurs étant de plus en plus souvent cadencés à des centaines de MHz et dotés d'une vaste mémoire, le passage à un langage interprété sera souvent considéré comme indolore. Bien sûr, il existe des exceptions où l'exactitude et la précision en temps réel sont cruciales, et le C/C++ sera toujours là en cas de besoin. Mais, pour l'instant, les enseignants et les étudiants ont l'avantage significatif de pouvoir transférer les connaissances de Python aux  $\mu$ contrôleurs (avec en prime la syntaxe simplifiée et de la lisibilité du code). En outre, les développeurs industriels peuvent développer des applications avec un seul langage. 

220415-04 — VF : Yves Georges

### À propos de l'auteur

Stuart Cording est ingénieur et journaliste. Il a plus de 25 ans d'expérience dans l'industrie électronique. Un grand nombre de ses articles Elektor récents sont ici : [www.elektormagazine.com/cording](http://www.elektormagazine.com/cording). Pour Elektor, il anime aussi le mensuel de diffusion en direct, Elektor Engineering Insights ([www.elektormagazine.com/eei](http://www.elektormagazine.com/eei)), et enseigne à Elektor Academy ([www.elektormagazine.com/elektor-academy](http://www.elektormagazine.com/elektor-academy)).

### Des questions, des commentaires ?

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



### Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- > **Arduino Nano 33 BLE Sense**  
[elektormagazine.fr/arduino-nano33sense](http://elektormagazine.fr/arduino-nano33sense)
- > **Arduino Nano RP2040 Connect**  
[elektormagazine.fr/arduino-nano-rp2040-connect](http://elektormagazine.fr/arduino-nano-rp2040-connect)
- > **Arduino Portenta H7**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7)
- > **Arduino Nicla Vision**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-vision](http://www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-vision)

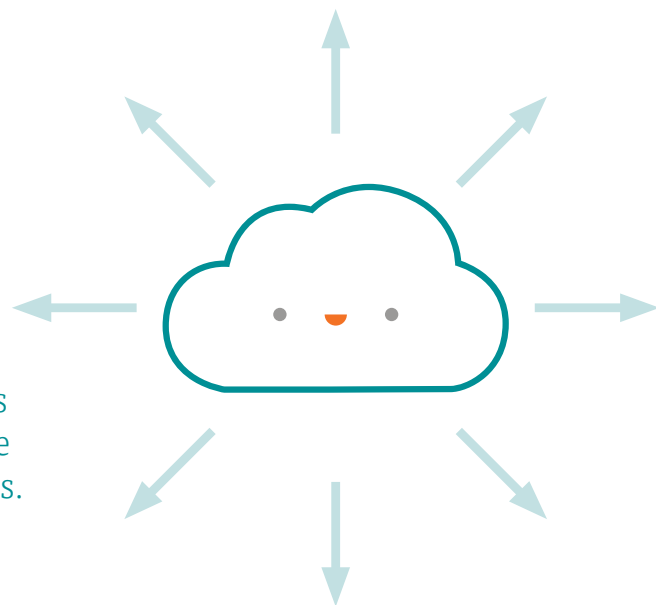
### LIENS

- [1] JSON, Wikipédia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/JavaScript\\_Object\\_Notation](https://fr.wikipedia.org/wiki/JavaScript_Object_Notation)
- [2] Expression régulière, Wikipédia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Expression\\_r%C3%A9guli%C3%A8re](https://fr.wikipedia.org/wiki/Expression_r%C3%A9guli%C3%A8re)
- [3] Python, Wikipédia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Python\\_\(langage\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Python_(langage))
- [4] D. George, « Micro Python: Python for microcontrollers », Kickstarter, 2016 : [www.kickstarter.com/projects/214379695/micro-python-python-for-microcontrollers](http://www.kickstarter.com/projects/214379695/micro-python-python-for-microcontrollers)
- [5] « MicroPython sur les  $\mu$ contrôleurs » : <https://docs.micropython.org/en/latest/reference/constrained.html>
- [6] OpenMV : <https://openmv.io/>
- [7] K. Soderby, « Python with Arduino Boards », Arduino, 2022 : <https://docs.arduino.cc/learn/programming/arduino-and-python>
- [8] Arduino, GitHub : <https://github.com/arduino>
- [9] OpenMV, GitHub : <https://github.com/openmv>
- [10] Repo officiel de  $\mu$ Python : <https://github.com/micropython/micropython>

# les projets connectés simplifiés

Sebastian Romero (Arduino)

Depuis l'apparition du mot à la mode « Internet des objets » (IdO), les fabricants ont cherché une rampe d'accès facile à l'autoroute des dispositifs connectés. Arduino IoT Cloud les a couverts.



La croissance rapide de l'internet des objets s'est manifestée par des milliards d'appareils IdO qui échangent des données avec des capteurs en permanence, dans le monde entier. La liste des produits qui envoient leurs données à l'internet ou qui peuvent être télécommandés grâce à l'IdO est infinie. Citons par exemple les lampes intelligentes, les mangeoires à distance pour animaux de compagnie, les brosses à dents connectées, les thermostats, les réfrigérateurs,

les systèmes de ventilation, les caméras intelligentes, et bien d'autres encore. Certains appareils sont même déployés en pleine nature, connectés par des technologies sans fil à faible puissance telles que LoRaWAN. Que faire si vous souhaitez développer vous-même un tel produit ? Ou si vous avez besoin d'une solution pour laquelle il n'existe pas de produit prêt à l'emploi ? Arduino a une solution pour vous, qui est Arduino IoT Cloud.

## Caractéristiques principales

Arduino IoT Cloud se compose d'une variété de services web pour vos projets connectés. En quelques minutes seulement, vous avez votre appareil Arduino compatible avec l'IdO en état de marche. Pour ce faire, vous pouvez configurer un conteneur de données pour votre projet appelé *thing* (bidule). Celui-ci contiendra toutes les données échangées entre l'appareil final et le cloud. Chaque appareil doit être associé à son objet correspondant. Pour stocker les propriétés de votre *thing*, vous pouvez définir des variables (voir **figure 1**). Les variables peuvent être de type fondamental, comme un nombre entier, ou plus avancé, comme une couleur de lumière. Chaque fois que de nouvelles données sont disponibles, elles sont synchronisées automatiquement entre les appareils et le cloud. Vous pouvez également choisir de synchroniser les variables qui contiennent les données à intervalles réguliers.

Pour visualiser les données reçues des appareils, mais aussi pour modifier les valeurs des variables du cloud afin de contrôler les appareils à distance, vous pouvez mettre en place des tableaux de bord constitués de widgets. Chacun d'eux peut être lié à une variable de vos objets. Il peut être en lecture seule et se contenter d'afficher des données, ou il peut être un élément de contrôle avec lequel l'utilisateur peut interagir pour modifier la variable sous-jacente. Ainsi, vous pouvez,

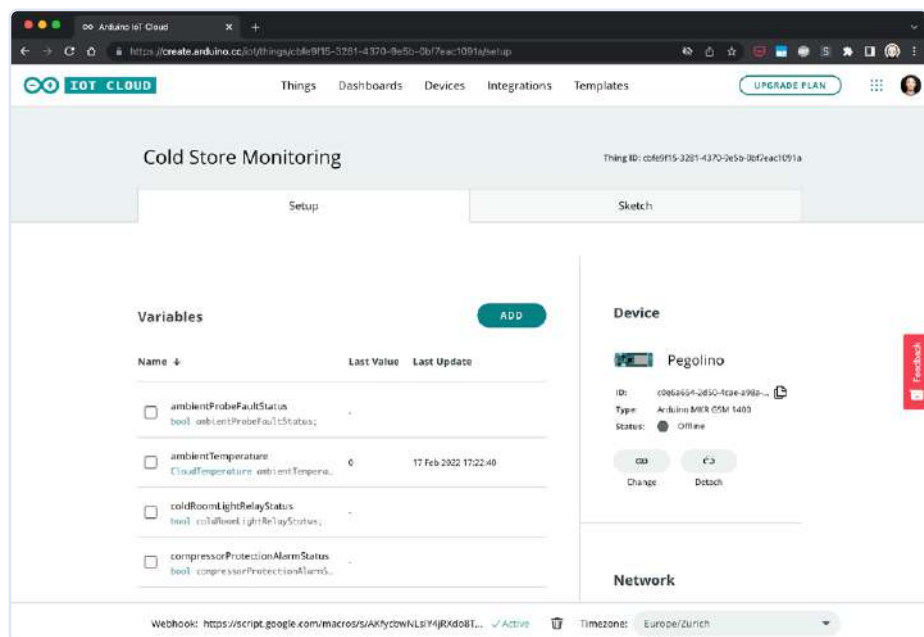


Figure 1. Exemple de configuration d'un « thing » pour la surveillance d'une chambre froide.

par exemple, allumer un ventilateur à distance ou ouvrir une porte verrouillée. Voici une liste des widgets de tableau de bord (voir **figure 2**) qui sont actuellement disponibles dans Arduino IoT Cloud :

- › Interrupteur
- › Bouton-poussoir
- › Curseur
- › Roue codeuse
- › Messenger
- › Couleur
- › Lumière tamisée
- › Lumière colorée
- › Sélecteur de temps
- › Planificateur
- › Valeur
- › Statut
- › Jauge
- › Pourcentage
- › LED
- › Plan
- › Graphique
- › Bloc-notes

Les tableaux de bord créés dans Arduino IoT Cloud peuvent facilement être partagés avec d'autres personnes, afin que celles-ci puissent accéder aux propriétés des choses de la même manière visuelle agréable (voir **figure 3**). Arduino IoT Cloud offre également un éditeur basé sur le cloud pour vos croquis (programme Arduino qui est compilé en firmware). Vous n'aurez plus jamais à vous soucier de les perdre ou de les retrouver dans les profondeurs de votre disque dur. De plus, toutes les bibliothèques disponibles qui sont liées dans le dépôt officiel d'Arduino sont disponibles sans qu'il soit nécessaire de les installer. Vous pouvez travailler sur vos croquis depuis n'importe quel ordinateur équipé d'un navigateur Web et les télécharger sur vos cartes Arduino à l'aide d'un petit outil appelé *Arduino Create Agent*. Il facilite la communication entre le port série de votre carte Arduino et votre navigateur. Les croquis créés avec l'Arduino Cloud Editor peuvent facilement être partagés avec d'autres personnes, et même intégrés à votre site Web.

## Domotique

Arduino IoT Cloud propose également l'intégration d'Alexa. Il est donc plus facile de mettre en œuvre votre propre installation domotique. Vous pouvez dire « Alexa, allumer lumières », par exemple, pour allumer votre installation lumineuse contrôlée par Arduino. Vous pouvez égale-

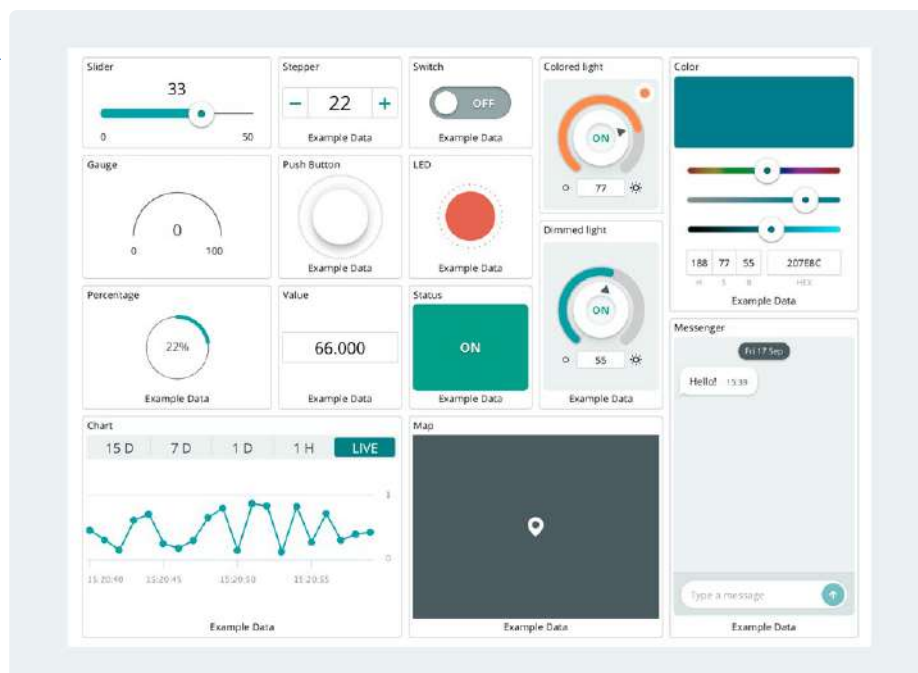


Figure 2. Un aperçu de certains des widgets de tableau de bord disponibles.

ment utiliser Alexa pour allumer votre machine à café, modifier la température du salon ou changer de chaîne sur votre téléviseur, pour ne citer que quelques exemples. Pour que cela fonctionne, il vous suffit d'installer la compétence Alexa Arduino [1]. Une fois qu'elle est installée, elle apprend à connaître les objets que vous avez configurés dans votre compte Arduino Cloud et lui transmet les demandes. Vous pouvez cibler des propriétés spécifiques de vos objets en utilisant les mêmes noms de variables dans vos commandes vocales que ceux que vous avez définis dans la configuration de vos objets. Grâce à Arduino IoT Cloud, vous pouvez créer votre propre appareil IdO alimenté par Alexa en quelques minutes seulement. Si vous souhaitez en savoir plus,

consultez le tutoriel *Arduino IoT Cloud, MKR RGB Shield and Alexa integration* [2] sur le site Arduino Docs.

## Synchronisation des variables

Comme mentionné précédemment, un seul appareil peut être affecté à une chose à la fois. Cependant, vous pouvez vouloir permettre à vos appareils IdO de communiquer entre eux. La façon de le faire avec Arduino IoT Cloud est d'utiliser des variables synchronisées. Dans les paramètres de la variable, vous pouvez lui ordonner de refléter la valeur d'une autre variable (voir **figure 4**). Cela permet d'avoir un état commun entre plusieurs appareils. Par exemple, vous pouvez ajouter une variable booléenne nommée *enabled* à

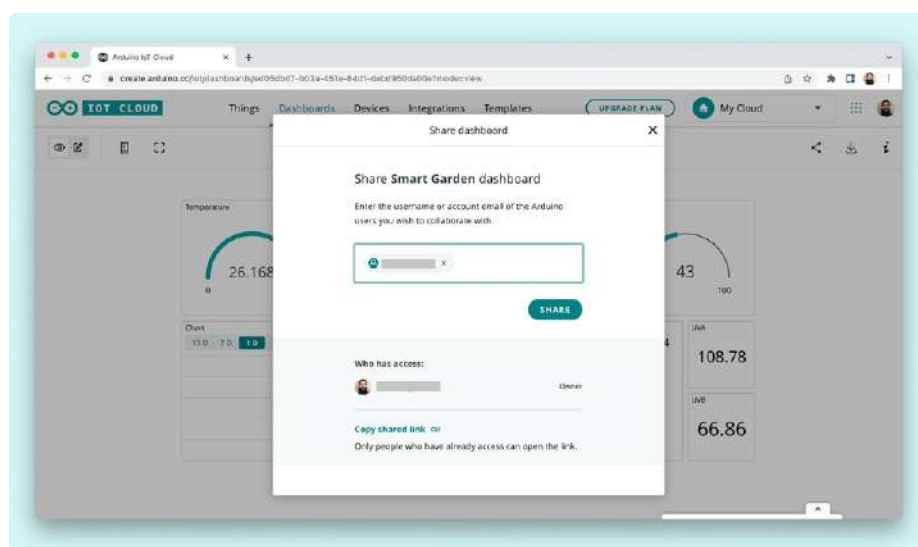


Figure 3. Les tableaux de bord peuvent être partagés avec d'autres personnes possédant un compte Arduino.



plusieurs éléments. Cela permettrait d'activer ou de désactiver une fonction sur les appareils correspondants en fonction de sa valeur. Vous pouvez également configurer certains paramètres de configuration partagés pour vos appareils IdO par le biais de variables, de sorte que vous pouvez modifier les paramètres de tous ces appareils en une seule fois sans télécharger un nouveau firmware.

## Webhooks

Arduino IoT Cloud offre la possibilité d'interagir avec des services tiers tels que Google Apps Script [3], Zapier [4], IFTTT [5] ou les fonctions cloud de Google [6]. Ceci est réalisé par le biais de *webhooks*. Chaque fois que de nouvelles données sont disponibles dans Arduino IoT Cloud, le *webhook* est déclenché, de sorte que le service tiers est notifié. Cela permet, par exemple, de mettre en œuvre un service de notification personnalisé et d'envoyer un e-mail d'avertissement si la valeur d'une variable dépasse un certain seuil. Dans un scénario du monde réel, cela pourrait vous permettre de prendre des mesures si votre dispositif de télésurveillance IdO remarque que la température de votre chambre froide augmente, ce qui indiquerait un dysfonctionnement de la machine (voir **figure 5**).

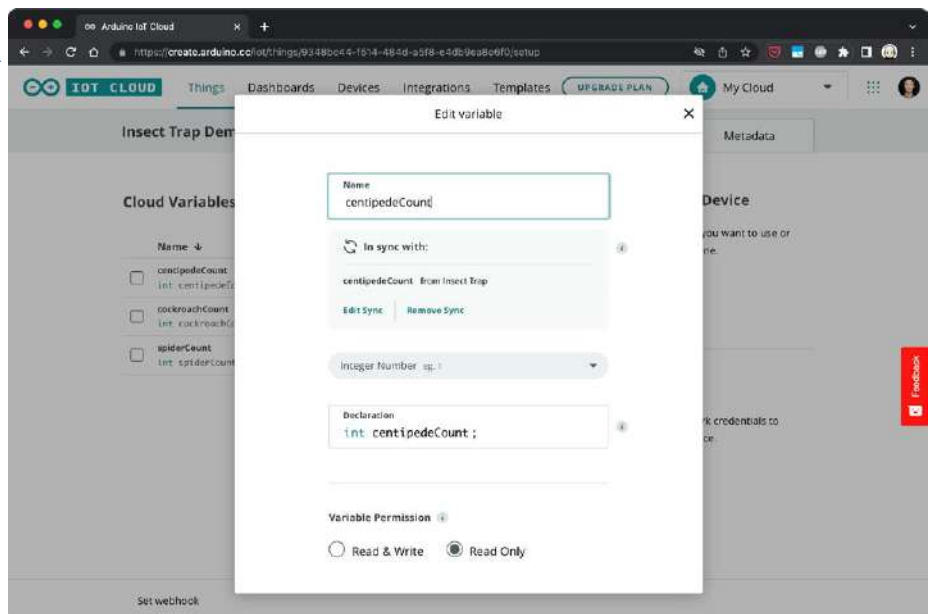


Figure 4. Les variables peuvent être synchronisées avec une ou plusieurs autres variables.

## Modèles

Les modèles sont une nouvelle fonction qui rend la configuration de vos projets cloud avec Arduino IoT Cloud beaucoup plus efficace. Il en existe pour les objets et aussi pour les tableaux de bord. Ils vous permettent de dupliquer une chose, y compris ses propriétés et tout tableau de bord associé. Par exemple, si vous avez une multitude de nœuds de capteurs qui doivent collecter le même type de données, vous n'aurez plus à configurer manuellement chacun de ces objets. Au lieu de cela, vous pouvez utiliser le même modèle pour chacun d'entre eux. Et, puisque Arduino est synonyme de partage des connaissances,

vous pouvez désormais partager le modèle de votre projet IdO avec le monde entier. Ainsi, quelqu'un d'intéressé peut reproduire votre configuration en un seul clic et la rendre opérationnelle en quelques minutes. Si vous voulez essayer, il existe une collection de projets d'exemples inspirants qui incluent le modèle correspondant, disponible directement dans Arduino IoT Cloud (voir **figure 6**).

## Arduino Cloud CLI

Si vous n'avez besoin de configurer que quelques éléments pour vos propres projets, vous pouvez facilement le faire grâce à l'interface web Arduino IoT Cloud.

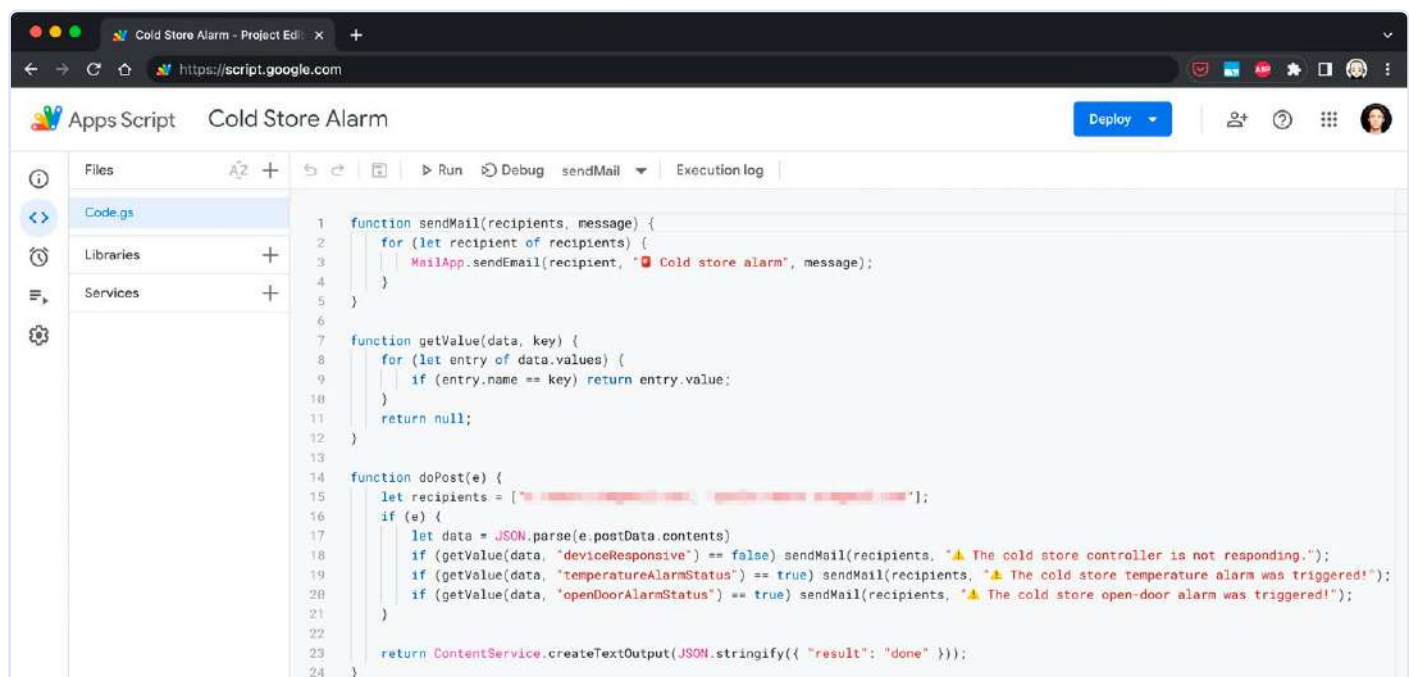


Figure 5. Exemple de Google App Script qui envoie une notification lorsqu'il y a un problème avec la chambre froide.

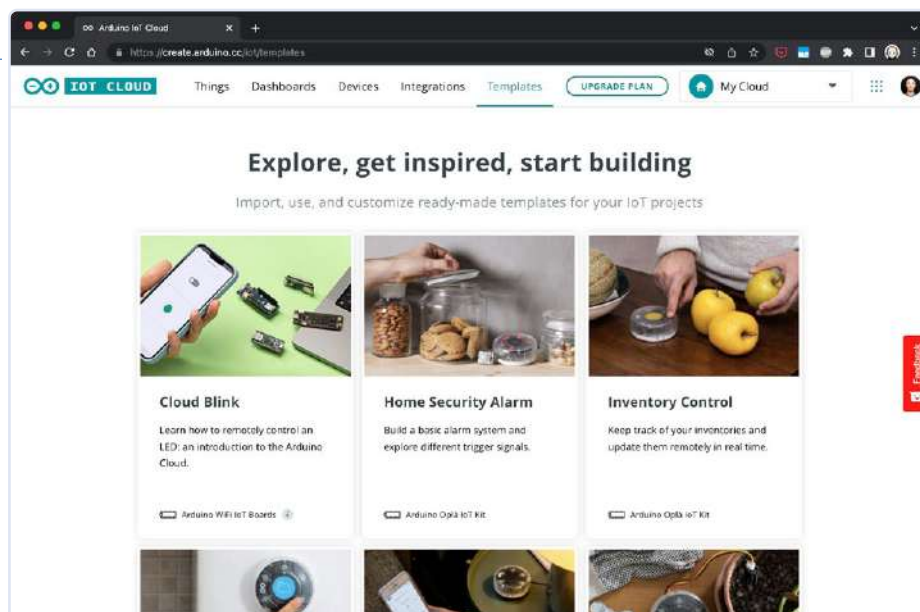


Figure 6. Quelques projets de démonstration disponibles dans Arduino IoT Cloud.

Cependant, si vous souhaitez configurer une multitude de périphériques IdO, cette option est un peu restrictive. C'est pourquoi Arduino a créé un outil en ligne de commande [7] qui permet d'automatiser cette tâche. Vous pouvez également l'utiliser pour répertorier les choses, les tableaux de bord et les appareils existants, et les modifier. Par exemple, vous pouvez ajouter des étiquettes, ce qui vous permet de créer des groupes de périphériques qui peuvent être gérés de manière unifiée.

Vous pouvez l'utiliser pour provisionner des périphériques pour Arduino IoT Cloud, pour affecter ou réaffecter un périphérique, pour extraire les propriétés d'un objet dans un modèle, pour effectuer des mises à jour *Over-the-Air* (OTA) de vos périphériques (voir **figure 7**), et bien plus encore. En combinaison avec les modèles, cet outil vous permet de faire évoluer vos projets IdO avec très peu d'efforts.

Si vous avez besoin d'accéder à ces fonctions dans votre configuration d'outils personnelle,

lisée, vous pouvez également utiliser l'API REST [8] qui est fournie avec un client pour JavaScript, Python et Golang.

## Arduino IoT Remote

Vous n'avez peut-être pas toujours accès à un ordinateur lorsque vous êtes en déplacement, mais vous pouvez tout de même vouloir inspecter ce qui se passe avec vos appareils IdO. Peut-être souhaitez-vous vérifier l'état du système de refroidissement de votre fabrique, ou bien activer votre système d'irrigation à distance, ou encore libérer de la nourriture pour votre chien, à l'aide de votre mangeoire connectée pour animaux. Pour tous ces cas d'utilisation et plus encore, il existe l'application mobile Arduino IoT Remote, qui met tous vos tableaux de bord à portée de main (**figure 8**). Avec cette application, vous pouvez accéder à vos projets IdO, les surveiller ou les contrôler de n'importe où dans le monde, en utilisant simplement votre téléphone. Elle est disponible à la fois pour iOS [9] et Android [10].

## Intégration de Things Stack

Selon l'endroit où vous déployez vos dispositifs IdO, vous devez choisir un type de

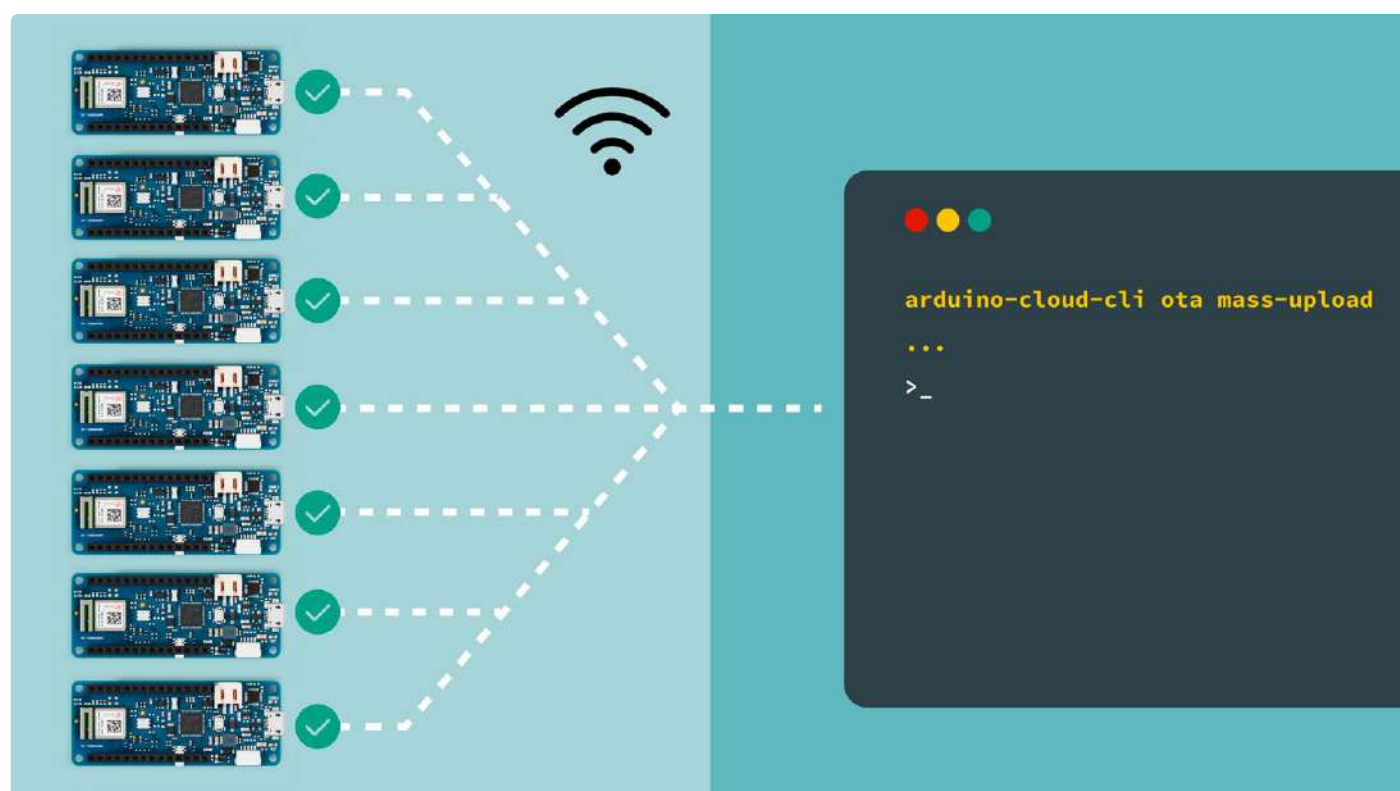


Figure 7. Avec la CLI Arduino Cloud, vous pouvez mettre à jour vos appareils simultanément, par voie hertzienne.

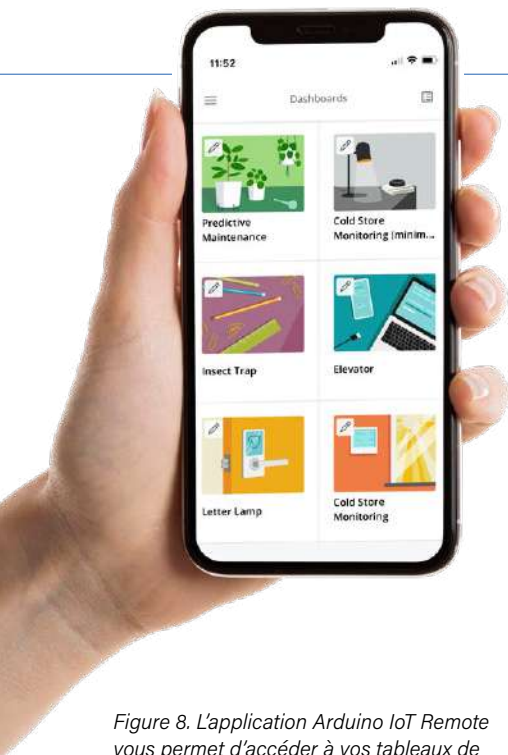


Figure 8. L'application Arduino IoT Remote vous permet d'accéder à vos tableaux de bord de n'importe où.

connectivité différent pour connecter vos appareils à Arduino IoT Cloud. S'il s'agit d'une installation fixe et que le wifi est disponible, c'est une option pratique, mais parfois, c'est impossible, alors vous pouvez opter pour une connexion par réseau cellulaire. L'inconvénient, c'est qu'ils sont assez gourmands en énergie. Si vous souhaitez alimenter votre appareil avec une batterie, celle-ci ne durera pas très longtemps lorsque vous utilisez un réseau cellulaire. Pour ces cas d'utilisation, et également si aucun réseau cellulaire n'est disponible, il existe des réseaux étendus à faible consommation d'énergie (LPWAN), tels que LoRaWAN. The Things Network [11] est l'une des plateformes les plus populaires pour gérer les données des dispositifs IdO par LoRa. Il existe une énorme communauté de personnes qui partagent leurs passerelles LoRaWAN avec d'autres. Par conséquent, il existe une bonne couverture dans de nombreux endroits. Vous pouvez également configurer votre propre passerelle ou utiliser le réseau d'un fournisseur officiel.

Obtenir des données de vos dispositifs LoRaWAN vers Arduino IoT Cloud nécessitait auparavant un effort de configuration important. Désormais, il existe une intégration officielle entre The Things Stack [12] et Arduino IoT Cloud qui rend cette opération très facile. Lorsque vous configurez votre carte Arduino compatible LoRaWAN dans Arduino IoT Cloud, une nouvelle application est automatiquement créée sur une

instance dédiée de Things Stack et votre appareil y est ajouté. Aucune configuration manuelle n'est nécessaire. Auparavant, vous deviez réfléchir à la manière de grouper et dégroupier vos données lors de leur transmission d'un appareil sur la plateforme LoRaWAN vers une autre plateforme. Si vous utilisez Arduino IoT Cloud et la bibliothèque correspondante, tout cela se fait automatiquement.

Parce que l'instance Arduino Things Stack offre un niveau de service (SLA) de 99,9 %, vous n'aurez plus jamais à vous poser la question si votre solution LoRaWAN est en ligne ou pas. Vous verrez les données de vos dispositifs IdO apparaître sur vos tableaux de bord, qu'elles proviennent d'un appareil LoRa, d'un appareil alimenté en wifi ou d'un appareil connecté à un réseau cellulaire.

## Sécurité

La sécurité est un sujet très important pour l'IdO. Après tout, les dispositifs IdO traitent des données personnelles et sensibles, c'est pourquoi Arduino a mis l'accent sur la sécurité à différents niveaux. Les cartes connectées sont équipées d'une puce cryptographique. Cet élément dit sécurisé fournit une base de confiance au niveau du circuit intégré qui ne peut être compromise. Les secrets utilisés pour établir une connexion cryptée sont stockés en toute sécurité sur une puce dédiée et ne peuvent pas être extraits. Vos croquis Arduino IoT Cloud et les données de votre projet sont stockés dans des *data stores* chiffrés AES 256 bits.

Pour la sécurité au niveau des applications, Arduino a récemment introduit l'accès basé sur des rôles à sa plateforme cloud. Cela vous permet de contrôler avec précision qui peut accéder à quoi. Cela est particulièrement utile dans un environnement professionnel où des personnes ayant différents rôles doivent accéder aux mêmes données de différentes manières. ◀

220569-04 — VF : Maxime Valens

## Des questions, des commentaires ?

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

## À propos de l'auteur

Sebastian Romero, responsable du contenu chez Arduino, est un concepteur d'interactions, un éducateur et un technologue créatif ayant un faible pour les humains. Avec son équipe, il est chargé de créer des expériences d'apprentissage passionnantes pour aider des millions d'ingénieurs, de concepteurs, d'artistes, d'amateurs et d'étudiants à innover.



## LIENS

- [1] Arduino Alexa Skill : <https://amazon.com/Arduino-LLC/dp/B07ZT2PK2H>
- [2] Arduino IoT Cloud, MKR RGB Shield et intégration d'Alexa : <https://elektor.link/ArduinoIoTRGBAlexa>
- [3] Google Apps Script : <https://google.com/script/start/>
- [4] Zapier : <https://zapier.com/>
- [5] IFTTT Maker Webhooks : [https://ifttt.com/maker\\_webhooks](https://ifttt.com/maker_webhooks)
- [6] Fonctions de Google Cloud : <https://cloud.google.com/functions>
- [7] GitHub - Arduino Cloud CLI : <https://github.com/arduino/arduino-cloud-cli>
- [8] Arduino IoT Cloud API : <https://arduino.cc/reference/en/iot/api/>
- [9] Arduino IoT Cloud Remote pour iOS : <https://elektor.link/arduinoiot4ios>
- [10] Arduino IoT Cloud Remote pour Android : <https://elektor.link/arduinoiot4android>
- [11] The Things Network : <https://thethingsnetwork.org/>
- [12] The Things Stack : <https://thethingsindustries.com/stack/>



# introduction à TinyML

plus gros n'est pas toujours mieux

José Bagur (Guatemala)

L'un des domaines de l'apprentissage en profondeur (*deep learning*) qui connaît la croissance la plus rapide est l'apprentissage automatique (*machine learning*) miniature (TinyML). C'est un domaine de pointe qui introduit des modèles de machine learning dans des dispositifs informatiques à faible puissance et à faible coût, tels que les microcontrôleurs. Cet article explique pourquoi TinyML nous montre que les gros systèmes ne sont pas toujours meilleurs.

## Qu'est ce que TinyML?

TinyML est un sous-domaine de l'apprentissage automatique (*machine learning* ou ML, AA en français) axé sur le développement de modèles pouvant être exécutés en temps réel, à faible puissance et dans des dispositifs embarqués à faible coût [1]. Le développement du TinyML suit le processus typique de ML tel qu'illustré dans la **figure 1**, à la différence que l'inférence a lieu sur des dispositifs embarqués plutôt que sur des dispositifs de calcul traditionnels ou des services basés sur le cloud.

Habituellement, un TinyML utilise des données collectées à partir de dispositifs de l'Internet des objets (IdO) qui sont exploitées pour entraîner des systèmes (généralement dans le cloud) qui extraient des modèles de connaissances à partir de l'ensemble de données. Ils sont ensuite

intégrés dans un modèle qui tient compte des ressources informatiques du dispositif embarqué, telles que la mémoire et la puissance de traitement [1]. Le modèle résultant peut alors être déployé dans des dispositifs embarqués qui évaluent de nouvelles données de capteurs en temps réel et *in situ*, sans utiliser de ressources externes telles que des services cloud. Les besoins en énergie des applications TinyML

sont généralement de l'ordre du mW ; cela permet aux appareils alimentés par batterie de rejoindre l'univers ML (**figure 2**).

## Caractéristiques principales de TinyML

Maintenant que nous savons ce qu'est TinyML, énumérons ses principales caractéristiques :

### The TinyML Workflow using Edge Impulse

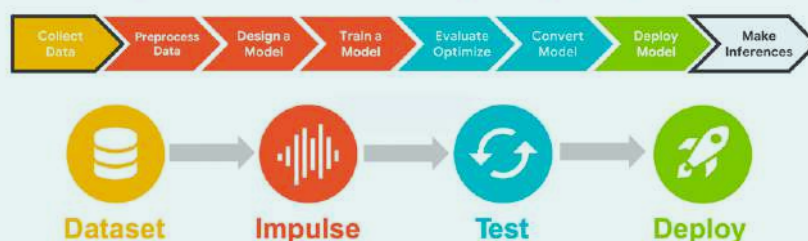


Figure 1. Flux de travail typique de TinyML. (source : TinyMLedu)



Figure 2. Processus d'inférence dans un système embarqué. (source : TinyMLedu)

- **Latence** : puisque l'inférence se fait directement sur le dispositif embarqué, la latence est faible dans les applications TinyML.
- **Consommation d'énergie** : les modèles TinyML tiennent compte des contraintes des dispositifs embarqués ; ils peuvent fonctionner dans des dispositifs à faible consommation tels que les microcontrôleurs, dont les besoins en énergie sont généralement de l'ordre du mW. Cela signifie que les dispositifs alimentés par batterie peuvent être utilisés pour les applications TinyML.
- **Bande passante** : comme le modèle s'exécute directement dans le dispositif embarqué, les données collectées n'ont pas besoin d'être envoyées à un service externe, ce qui signifie que la bande passante Internet est moins utilisée.
- **Confidentialité** : les données utilisées dans les modèles TinyML sont collectées et analysées en temps réel et *in situ* ; les données ne sont à aucun moment envoyées ou partagées vers des services externes.

## Applications et cas d'utilisation de TinyML

TinyML a l'énorme potentiel d'éliminer le goulot d'étranglement des applications IdO : les données. Puisque l'inférence est faite localement, TinyML permet l'ère de l'Internet des objets pensants (IdO2), ce qui signifie un univers d'applications améliorées et nouvelles. Voici quelques exemples d'applications et de cas d'utilisation de TinyML dans le monde réel :

- **Économie d'énergie/optimisation** : la consommation d'énergie peut être améliorée de manière drastique au sein d'un modèle TinyML en fournissant une puissance de pointe à la consommation la plus faible possible. Ceci peut être traduit dans le monde électrique ou même mécanique à l'aide de TinyML.
- **Prévision des catastrophes naturelles (stades précoces)** : les premiers stades des catastrophes naturelles pourraient être prévus afin de prévenir les dommages importants causés aux infrastructures en utilisant plusieurs dispositifs équipés d'un modèle TinyML dans un réseau maillé. Cela peut être réalisé en apprenant un large spectre



Figure 3. Le kit Arduino Tiny Machine Learning comprend une carte Nano 33 BLE Sense.



Figure 4. Arduino Portenta H7.

de signaux et de modèles qui sont émis dans des environnements concernés.

- **Réponse prédictive aux problèmes de santé** : ils pourraient être détectés plus tôt dans le but d'éviter des blessures internes spontanées ou la mort. Par exemple, les problèmes cardiaques pourraient être prédits suffisamment à l'avance afin de permettre la consultation d'un médecin. Le modèle TinyML serait intégré à un dispositif portable qui peut être connecté à des services externes en cas d'urgence.

## Arduino et TinyML

Arduino offre plusieurs options matérielles et bibliothèques logicielles qui peuvent être utilisées pour les applications TinyML. Parlons de deux excellentes cartes qui peuvent être utilisées comme un bon point de départ pour en développer : l'Arduino Nano 33 BLE Sense et l'Arduino Portenta H7.

L'Arduino Nano 33 BLE Sense (figure 3) utilise le nRF52840 de Nordic Semiconductor. Il s'agit

d'un microcontrôleur ARM Cortex-M4F à 32 bits, fonctionnant à 64 MHz, avec 1 MB de Flash et 256 KB de RAM [2]. Il possède plusieurs capteurs embarqués qui peuvent être utilisés dans de nombreuses applications TinyML :

- Accéléromètre, gyroscope et magnétomètre (LSM9DS1)
- Microphone (MP34DT05)
- Gestes, lumière et proximité (APDS9960)
- Pression barométrique (LPS22HB)
- Température et humidité (HTS221)

L'Arduino Portenta H7 (figure 4) est une carte haute performance, homologuée pour l'industrie, conçue pour les applications exigeantes. La Portenta H7 utilise le microcontrôleur STM32H747 de STMicroelectronics, qui combine un cœur Cortex-M7, fonctionnant à 480 MHz, et un cœur Cortex-M4, fonctionnant à 240 MHz. Le Portenta H7 peut exécuter simultanément du code compliqué et des tâches en temps réel. Par exemple, nous

pouvons exécuter du code compilé Arduino en même temps que du code compilé Micro-Python et faire communiquer les deux cœurs via le mécanisme RPC (*Remote Procedure Call*) [3].

En ce qui concerne les logiciels, le Nano 33 BLE Sense et le Portenta H7 peuvent utiliser le cadre logiciel TensorFlow Lite pour développer des modèles TinyML. L'intelligence artificielle pour les systèmes embarqués (*AI/ES*), développée par l'Institut Fraunhofer pour les circuits et systèmes microélectroniques, est également un excellent cadre logiciel optimisé pour les systèmes embarqués. Edge Impulse, un service de ML basé sur le cloud, gagne également en popularité au sein de la communauté, il prend en charge les cartes Arduino, le Nano 33 BLE Sense et le Portenta H7.

### Autres ressources

Se renseigner sur un domaine émergent peut être difficile, mais pour TinyML, il existe d'excellentes ressources en ligne :

- Le livre de Pete Warden et Daniel Situnayake, *TinyML : Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power*, [4] est une lecture incontournable et un bon point de départ pour l'univers TinyML.
- Le certificat professionnel en TinyML [5] de l'université de Harvard est disponible sur edX. Cette spécialisation gratuite en ligne de quatre cours, plonge plus profondément dans l'univers TinyML.
- Le cours introductif sur les machines embarquées [6] de Edge Impulse est disponible sur Coursera. Ce cours gratuit en ligne donne une vue d'ensemble du fonctionnement du ML, de l'entraînement des modèles TinyML à l'aide de Edge Impulse et du déploiement de ces modèles dans les microcontrôleurs.

- L'initiative TinyML Open Education (TinyMLedu) [7]. Cette initiative est un groupe international d'universitaires et de professionnels de l'industrie qui s'efforcent d'améliorer l'accès mondial au matériel pédagogique dans le domaine de pointe de TinyML.
- Le TinyML pour les pays en développement (TinyML4D) [8]. Cette dernière travaille à l'élaboration de contenu pour un réseau de chercheurs et de praticiens axé sur la mise en place de solutions innovantes pour les défis uniques auxquels les pays en développement sont confrontés.

### L'ère de l'IdO2

TinyML est un domaine émergent qui étudie les modèles ML pouvant être déployés dans des dispositifs de petite taille, à faible coût et à faible puissance, tels que les microcontrôleurs. Grâce à la polyvalence des outils matériels et logiciels tels que l'écosystème Arduino, et des cadres logiciels tels que TensorFlow Lite et Edge Impulse, l'ère de l'IdO2 est désormais possible. ◀

220573-04 – VF : Maxime Valens

### À propos de l'auteur



José Bagur est maître de conférences et chercheur à l'Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Il a étudié l'ingénierie mécatronique à l'UVG avant d'obtenir un master en IdO à l'université de Salamanque. Avec un intérêt particulier pour les projets liés à l'espace, ses recherches se concentrent sur le développement de matériel de nanosatellite open-source à faible coût. Il travaille également pour Arduino en tant que créateur de contenu.

### Des questions, des commentaires ?

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



### Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- **Kit Tiny Machine Learning Arduino (SKU 19943)**  
[www.elektor.fr/arduino-tiny-machine-learning-kit](http://www.elektor.fr/arduino-tiny-machine-learning-kit)
- **Arduino Pro Mini Vision (SKU 20152)**  
[www.elektor.fr/20152](http://www.elektor.fr/20152)
- **Carte de développement Arduino Portenta H7 (SKU 19351)**  
[www.elektor.fr/19351](http://www.elektor.fr/19351)

### LIENS

- [1] M. Zennaro, « TinyML : L'IA appliquée aux défis du développement avec le machine learning dans les pays en développement » : <https://sdgs.un.org/sites/default/files/2022-05/2.1.3-9-Zennaro-TinyML.pdf>
- [2] Nano 33 BLE Sense : <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-ble-sense>
- [3] Portenta H7 : <https://docs.arduino.cc/hardware/portenta-h7>
- [4] P. Warden et D. Situnayake, TinyML (O'Reilly Media, 2019) : [www.oreilly.com/library/view/tinyml/9781492052036/](http://www.oreilly.com/library/view/tinyml/9781492052036/)
- [5] Tiny Machine Learning Open Education Initiative (TinyMLedu) : <https://tinyml.seas.harvard.edu/>
- [6] TinyML4D : TinyML pour les pays en développement : <http://tinymledu.org/4D>
- [7] Certificat professionnel Tiny Machine Learning (TinyML) : [www.edx.org/professional-certificate/harvardx-tiny-machine-learning](http://www.edx.org/professional-certificate/harvardx-tiny-machine-learning)
- [8] Introduction au machine learning embarqué : [www.coursera.org/learn/introduction-to-embedded-machine-learning](http://www.coursera.org/learn/introduction-to-embedded-machine-learning)



# averti de votre air

Imaginez les possibilités : quelles nouvelles expériences peuvent être créées en intégrant une IA avancée et des capteurs puissants dans l'une des vestes d'extérieur les plus emblématiques ? Commencez à ressentir et à interagir avec le monde qui vous entoure comme jamais auparavant.

Dans une veste K-Way, nous avons placé un Nicla Sense ME, le nouveau cerveau sensoriel d'Arduino, alimenté par l'IA Edge Impulse, pour

libérer une nouvelle génération de vêtements intelligents.

Le Nicla Sense ME est un outil minuscule à basse consommation qui établit de nouvelles références pour les solutions de détections intelligentes. Avec la simplicité d'intégration et l'évolutivité de l'écosystème d'Arduino, la carte combine quatre capteurs de mouvements et d'environnements Bosch Sensortec de pointe.

Une lumière colorée indique la qualité de l'air ambiant.

Un boîtier tactile parfait pour protéger le petit Nicla Sense ME.

## caractéristiques

**Microprocesseur :** Arm® Cortex M4 à 64 MHz (nRF52832)

**Capteurs :** BHI260AP - Capteur intelligent à apprentissage automatique avec IA et accéléromètre et gyroscope intégrés.

BMP390 - Capteur de pression numérique.

BMM150 - Capteur géomagnétique.

BME688 - Capteur numérique de gaz, pression, température et humidité à basse consommation avec IA.

**Connectivité :** Bluetooth® 4.2

L'IA à la pointe, là où les choses se passent.

Port USB magnétique pour une recharge facile.





 K-WAY ARDUINO

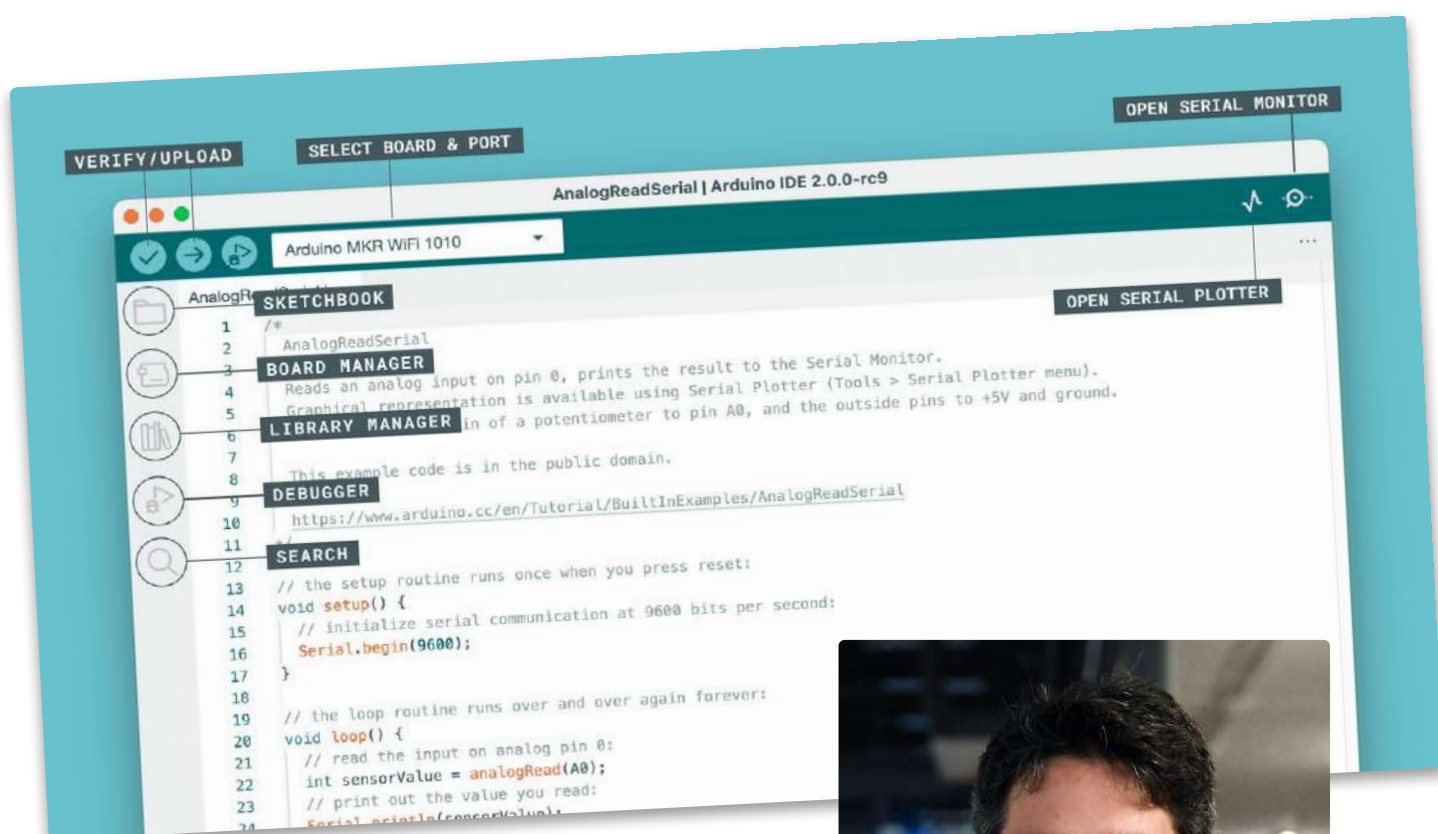
**GAGNEZ**

Vous avez maintenant une chance d'obtenir cette veste unique, car Arduino et K-Way ont réservé une des cent vestes produites (non-disponibles à la vente) pour les lecteurs de l'édition Arduino d'Elektor. Ces vestes sont conçues pour explorer des applications ingénieuses de surveillance de l'environnement personnel des personnes, en poussant les vêtements à l'extrême ! Alors, pour participer, déposez simplement votre idée ici :

**[elektormagazine.com/k-way-arduino](https://elektormagazine.com/k-way-arduino)**



(\*La promotion se termine le 31 janvier 2023.)



# l'écriture des croquis Arduino en net progrès



Alessandro Ranellucci

Stuart Cording (Elektor)

L'EDI Arduino 2.0 innove en préservant l'acquis Arduino. Alessandro Ranellucci d'Arduino vous invite à découvrir ce nouvel EDI en détail.

Pour une majorité d'utilisateurs Arduino, le 1er contact avec la programmation fut l'environnement de développement intégré (EDI) d'Arduino. Au fil de l'écriture et des « téléversements » de leurs croquis, les débutants ont passé des heures à décrypter les messages de sortie de l'écran à bordures vertes. Depuis son lancement en 2005, l'EDI n'a cessé de gagner en puissance : toujours plus de cartes prises en charge, accès amélioré aux bibliothèques partagées et même un traceur graphique de données. Cependant, la compétence des amateurs et le nombre de développeurs professionnels allant croissant, l'absence de débogage se faisait cruellement sentir. Pour en avoir le cœur net, j'ai récemment rencontré Alessandro Ranellucci, responsable « *Maker business, Open Source & Community* » chez Arduino.





*L'EDI Arduino 2.0  
garde la clarté de l'opus  
précédant et offre une  
foule de nouvelles  
fonctionnalités aux  
développeurs pro et aux  
amateurs éclairés.*

## Une réécriture complète

En 2018, l'équipe Arduino prit une décision cruciale qui allait non seulement changer les capacités de l'EDI, mais aussi rafraîchir l'ensemble de la base de code. Un bloc monolithique de code Java constituait L'EDI 1 (figure 1). Il était donc difficile d'obtenir le soutien d'une communauté enthousiaste. De plus, la prise en charge de Java comme application de bureau sur les OS et dans les boutiques d'applis était de plus en plus difficile : résoudre les problèmes de compatibilité prenait trop de temps.

Alessandro évoque la 1<sup>ère</sup> étape : « Refonte de toute la chaîne d'outils, avec création d'une interface en ligne de commande (CLI) *Arduino CLI* ». « Écrite en *Golang* et *TypeScript*, elle présente toutes les fonctionnalités de l'ancien EDI ainsi que toutes les nouvelles ». [1] L'approche modulaire permet à la fois son association à l'EDI préféré du développeur et la création du nouvel EDI d'Arduino. En outre, les développeurs professionnels plébiscitent la CLI, qui leur permet d'intégrer facilement l'environnement Arduino à d'autres composants très utilisés dans le développement de logiciels, par ex. des outils d'intégration continue/déploiement continu (CI/CD).

## Rafraîchir l'EDI

Vu l'avancement de la CLI Arduino, il devenait temps de s'attaquer à l'amélioration de l'interface visuelle. Si les débutants se contentaient de l'éditeur d'origine, les plus aguerris déplorait l'absence des extras livrés avec ceux des éditeurs d'outils de développement et des grands fondeurs. À mesure que le code s'étoffe, s'y retrouver peut devenir difficile : beaucoup souhaitaient une bascule de visualisation des commentaires.

La plupart des EDI bénéficient de l'autoindentation qui préserve la lisibilité du code, et de l'autofermeture des parenthèses qui évite bien des erreurs de saisie. Mais surtout, le débogueur faisait l'unanimité au sein de la communauté. Pour un développeur expérimenté de logiciels embarqués, pouvoir explorer le contenu des variables et suivre l'exécution du code est une capacité standard d'un EDI. Pour beaucoup, le cycle édition-compilation-téléchargement de l'EDI 1 pour déboguer chaque croquis était lent et frustrant.

« Le choix de *Theia* et *Electron* comme pile logicielle pour l'EDI est idéal : ce sont des projets open-source fournissant une prise en charge (cloud et bureau) souple et multilingue de l'EDI » poursuit Alessandro. Cela garantit la prise en charge de plus de 60 traductions linguistiques. La 1<sup>ère</sup> version bêta de l'EDI 2.0 fut partagée avec la communauté en 2021. [2]

## Capacité de débogage

Certaines cartes Arduino, par ex. équipées de microcontrôleurs Arm Cortex-M (MCU), ont déjà le matériel permettant la prise en charge du débogage. Souvent appelé *puce de débogage intégré* (EDBG), ce matériel communique avec l'interface de débogage du MCU cible et fournit aussi l'interface série COM virtuelle via USB. D'autres ont un connecteur pour les débogueurs tiers, tel que J-Link. [3]. Les deux sont généralement pris en charge par un autre projet de logiciel libre, GDB (GNU Project Debugger). [4]

« Le débogage était une exigence claire de la communauté des développeurs pro. », rappelle Alessandro. Notez aussi la cohérence avec le lancement d'*Arduino Pro* [5], une nouvelle gamme de matériel s'appuyant sur une connectivité sécurisée qui offre une plateforme IdO tout-en-un. Cependant, tout ne change pas. Les développeurs débutent toujours par le classique croquis *.ino*, mais à l'inverse des autres EDI, ces fichiers sont reconnus comme code exécutable.

## Aperçu de l'EDI 2.0

Le nouvel EDI Arduino [6] conserve la charte couleur caractéristique et la disposition familière (figure 2). Cependant, un nouveau bouton « **Start Debugging** » apparaît en haut ainsi qu'un panneau sur le

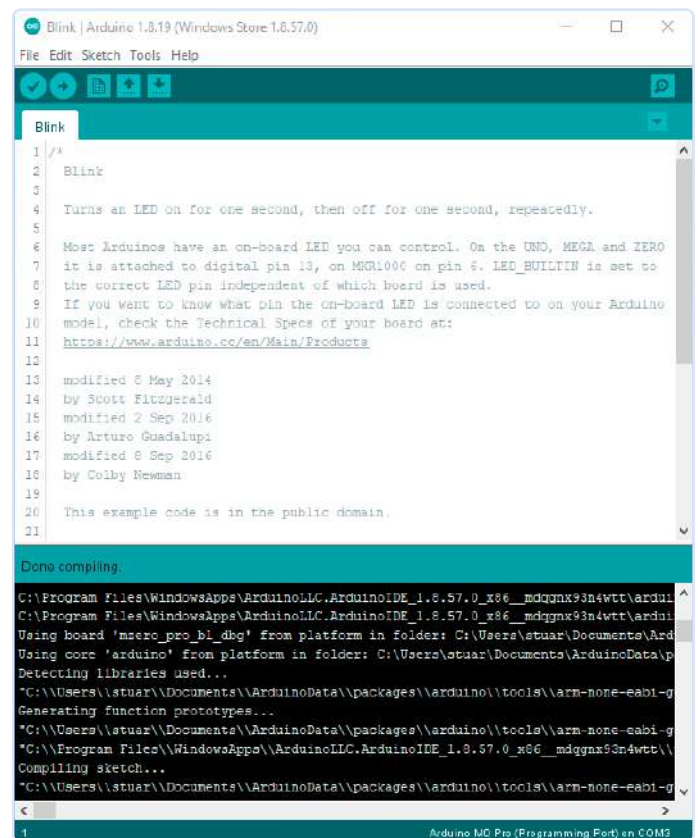


Figure 1. Le célèbre EDI Arduino 1.0, basé sur Java.

côté gauche. C'est là que le développeur accède aux registres du MCU et au déroulement de son code. Par ailleurs, presque identique, le menu comprend des ajouts dans certaines listes déroulantes. À gauche, un bandeau vertical d'icônes donne accès à divers composants de l'EDI, par ex, les gestionnaires de cartes et bibliothèques : ces utilitaires sont intégrés dans une fenêtre placée à gauche de l'éditeur de texte (**figure 3** et **figure 4**). Malgré ces changements

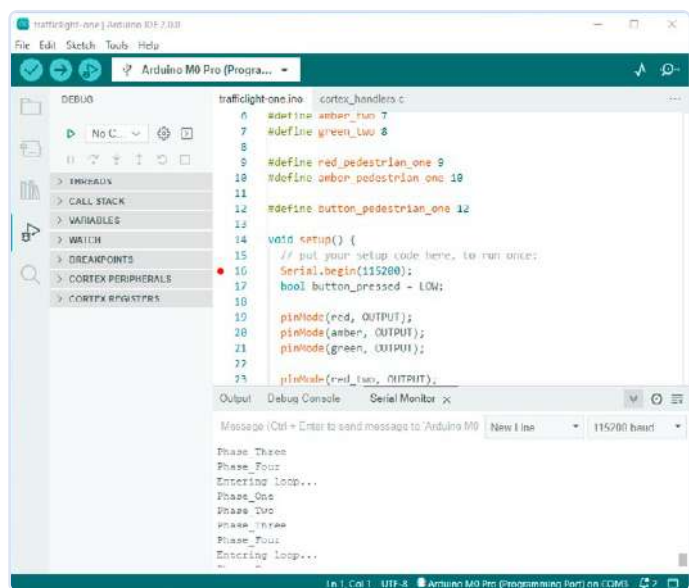


Figure 2. Familier, mais différent. L'EDI Arduino 2.0 garde la clarté de l'opus précédant et offre une foule de nouvelles fonctionnalités aux développeurs pro. et aux amateurs éclairés.

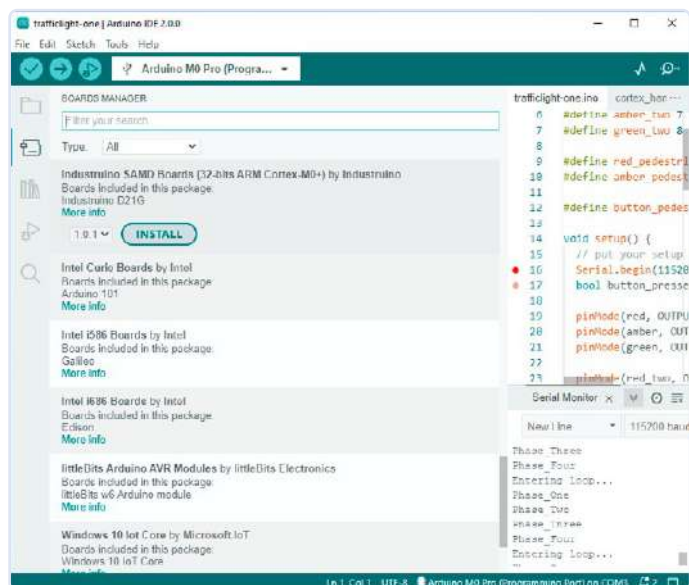


Figure 3. Le gestionnaire de cartes est familier, mais il a déménagé.

visuels, les utilisateurs seront ravis de noter que la fonctionnalité est globalement identique. Cette fenêtre montre aussi l'icône de débogage et les vues y afférentes. Le moniteur série s'ouvre désormais sous forme d'onglet dans la fenêtre principale de l'EDI, à côté des messages de compilation et téléchargement, et non dans des fenêtres séparées. Pour voir les données, la fonction *traceur série* est toujours là et ouvre sa propre fenêtre (**figure 5**).

L'éditeur bénéficie de quelques améliorations. « Parmi les principales, citons la complétion de code et l'environnement propose de possibles noms de variables en cours de frappe », confirme Alessandro. « Autre ajout : le développeur peut désormais naviguer dans le code et sauter rapidement à la ligne de définition d'une fonction ».

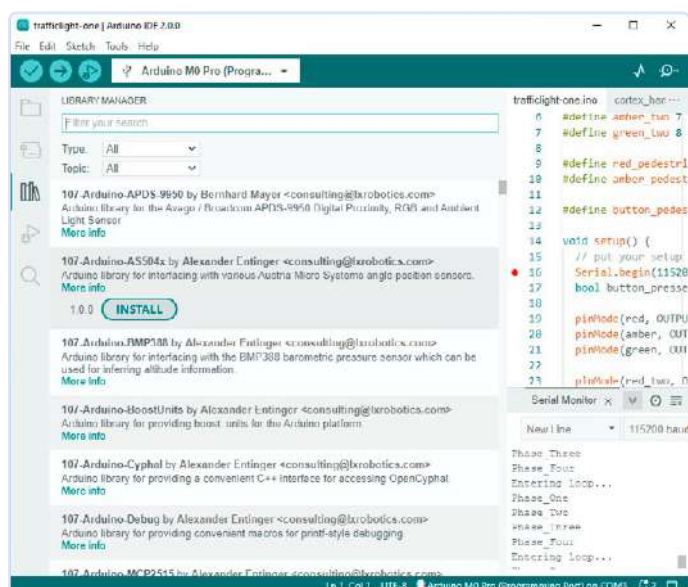


Figure 4. Le gestionnaire de bibliothèque fonctionne comme avant, mais est ancré à côté de l'éditeur.



Figure 5. Une fenêtre traceur série mise à jour dessine les graphes de données.


La fonction de m. à j. du logiciel des cartes wifi et des certificats SSL racine aide les développeurs d'applications IdO.

De nos jours, l'un des plus grands défis des outils de développement de logiciels embarqués est la gestion des versions de bibliothèques. Construire un même projet sur divers ordinateurs en est un autre : c'est acrobatique car les chemins de fichiers soit n'existent pas encore, soit changent d'un système d'exploitation à l'autre. Arduino résout ce problème grâce à un métafichier stockant la version de toutes les bibliothèques et paquets de cartes utilisés. Les développeurs peuvent changer de poste de travail, partager leur projet et même le rendre disponible sur GitHub tout en gardant la capacité de le compiler. La durée de compilation n'est pas encore optimisée : le code source est toujours recompilé en totalité, même si une seule ligne de code a été modifiée. Alessandro me dit que « Arduino CLI peut se contenter de recompiler les seuls fichiers modifiés », on peut donc espérer que l'EDI en bénéficiera aussi un jour.

### Évolution probable de l'EDI Arduino

Après les versions destinées au test fonctionnel par la communauté, le 1<sup>er</sup> « build » officiel d'Arduino IDE 2.0 fut annoncé en septembre 2022. Comme l'EDI 1.0, c'est un projet à durée indéfinie : il va évoluer et se développer au gré des observations des utilisateurs.

Alessandro note aussi que « Grâce à l'approche modulaire, il sera plus facile pour la communauté de contribuer à développer l'EDI ». C'est ainsi que le développement fonctionne désormais. Arduino ne compte que six développeurs internes à plein temps sur le projet. Des centaines de contributeurs les soutiennent avec compétence, des dizaines ont participé à l'élaboration de nouvelles fonctionnalités et aux tests. Le projet étant hébergé sur GitHub, tout le monde peut contribuer, signaler des problèmes ou suggérer des améliorations.

En tant que vétéran de l'open-source, j'interroge Alessandro sur le plus grand défi de la gestion d'un projet auquel tant de monde contribue. « Garder tout le monde concentré sur la mission d'Arduino », répond-il. « En tant que facilitateur technique, il faut nous rappeler que l'EDI Arduino va au-delà des cartes Arduino – toute une industrie devient possible. » 

220520-04 – Yves Georges

### À propos de l'auteur

Stuart Cording est ingénieur et journaliste. Il a plus de 25 ans d'expérience dans l'industrie électronique. Un grand nombre de ses articles Elektor récents sont ici : [www.elektormagazine.com/cording](http://www.elektormagazine.com/cording). Pour Elektor, il anime aussi le mensuel de diffusion en direct, Elektor Engineering Insights ([www.elektormagazine.com/eei](http://www.elektormagazine.com/eei)), et enseigne à Elektor Academy ([www.elektormagazine.com/elektor-academy](http://www.elektormagazine.com/elektor-academy)).

### Des questions, des commentaires ?

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

### À propos d'Alessandro Ranellucci

**(responsable Maker Business, Open Source & Community)**

Alessandro Ranellucci, responsable Maker Business, Open Source & Community, rejoint Arduino en 2020 pour diriger les produits et la stratégie pour les créateurs, ainsi que l'écosystème open source. Auparavant, il a travaillé comme responsable de l'open source et a été membre du groupe de travail « transformation numérique » pour le gouvernement italien. Il est le conservateur de Maker Faire Rome et l'auteur principal de Slic3r, un outil d'impression 3D open-source répandu.

## LIENS

[1] Le projet Go : <https://go.dev/>

[2] Arduino, « Annonce de l'édition EDI Arduino 2.0 (beta) », 1er mars 2021 : <https://blog.arduino.cc/2021/03/01/announcing-the-arduino-ide-2-0-beta/>

[3] Sondes de débogage Segger, J-Link : [www.segger.com/products/debug-probes/j-link/](http://www.segger.com/products/debug-probes/j-link/)

[4] Free Software Foundation, « GDB : Le projet débogueur GNU » : [www.sourceware.org/gdb/](http://www.sourceware.org/gdb/)

[5] Arduino Pro : [www.arduino.cc/pro/](http://www.arduino.cc/pro/)

[6] Téléchargements Arduino : [www.arduino.cc/en/software](http://www.arduino.cc/en/software)





# en questions

À quoi est dû le succès d'Arduino ?  
D'où vient son nom ? Que trouve-t-on dans le labo de Massimo Banzi ? Qu'est-ce qui inspire David Cuartielles ? Nos amis d'Arduino répondent à toutes nos questions.

*En juin 2022, Arduino a annoncé une levée de fonds de 32 millions de dollars à l'issue d'un tour de table de série B. Fabio, expliquez-nous en quoi ce financement a aidé Arduino ? Quels sont vos projets pour 2023 ? — C. J. Abate (États-Unis)*



Fabio Viola

Merci. Cette levée de fonds a été d'autant plus réussie que nous étions en accord avec nos investisseurs sur la direction à prendre et la façon d'avancer. La hauteur du financement reçu correspond à ce que nous attendions pour tirer parti des nouvelles opportunités commerciales qui s'offrent à nous avec l'arrivée d'une nouvelle génération d'ingénieurs dans nos effectifs. Le financement avait deux objectifs principaux :

Technologique d'abord – investir dans la R&D pour étendre et améliorer la plate-forme Arduino, c'est-à-dire le matériel, l'EDI, le micrologiciel et les services cloud destinés aux utilisateurs. Pour ces derniers, nous voulions répondre aux cas d'utilisation liés à l'IdO et à l'IA, en particulier pour les entreprises. Nous disposons de matériel plus puissant et pouvons gérer des flottes d'appareils de façon sécurisée et avec de nouveaux paradigmes d'interaction. Nous investissons également dans des contenus et des bibliothèques open source de qualité professionnelle afin de faciliter l'adoption d'Arduino. *Makers* et formateurs en bénéficient déjà, mais d'autres sont en cours de réalisation et seront bientôt publiés. Commercial ensuite – consolider notre réputation auprès des milliers d'entreprises qui utilisent Arduino pour du prototypage ou autre dessein, expliquer la force de la plateforme, et prendre en compte le retour des utilisateurs. — **Fabio Viola**

**Quel a été le défi le plus difficile à relever pour Arduino durant la pandémie de Covid-19 de 2019 ? — Raoul Morreau (Pays-Bas)**

Vous dire quel a été le plus grand défi à relever durant la pandémie est... un défi en soi. La conjoncture était très mouvante, surtout en Italie. C'est là qu'est basée notre équipe de R&D, et elle a été particulièrement touchée au début de la pandémie. Les cartes Arduino étaient utilisées dans diverses applications médicales et sanitaires, notamment pour la conception et la production de ventilateurs à code source ouvert, et aussi de distributeurs de gel désinfectant. Nous avons donc été autorisés à poursuivre notre activité en dépit du confinement, et dans ces circonstances notre plus grand défi a probablement été le même que bien d'autres entreprises plongées dans la même situation : motiver des employés répartis aux quatre coins de la planète, soucieux de leur santé et de celle de leur entourage, et confrontés à des règles de confinement plus ou moins strictes selon leur localisation. Le confinement a rendu plus difficile le prototypage de nouveaux produits et provoqué plusieurs retards. Les frais d'expédition ont augmenté, les chaînes d'approvisionnement ont été perturbées, et finalement il y a eu pénurie de composants. Ces facteurs ont encore plus compliqué notre travail de R&D, mais je suis fier de la façon dont nous avons surmonté les difficultés durant ces deux années. Nous sommes restés positifs et engagés auprès de la communauté. Massimo, dans son émission Bar Arduino diffusée en direct, a monté comment s'occuper à la maison avec Arduino. Notre équipe Arduino Education, elle, a conçu en deux mois un kit d'apprentissage à distance. Là aussi il y avait un défi à relever puisque les programmes d'Arduino Education avaient été conçus pour être enseignés en salle de classe. Le kit a été adopté par des écoles et des parents partout dans le monde, donc le succès a été au rendez-vous. — **Fabio Viola**



### D'où vient le nom Arduino ? — Udo Bormann (Allemagne)

Nous nous apprêtons à enregistrer notre projet sur BerliOS, un ancien dépôt de logiciels libres. À cette époque le langage le plus utilisé à l'université était Java. Nous avons passé plusieurs jours à aider nos étudiants à coder des projets interactifs et avons bu beaucoup de café. Étant en Italie, nous voulions baptiser notre propre projet avec un nom évoquant le café, comme mocaccino, marroccino, quelque chose de ce genre. Mais tout était pris, sans doute parce que c'était lié à Java. C'est devant l'ordinateur, avec une fenêtre ouverte sur BerliOS, que l'idée nous est venue : pourquoi ne pas nommer le projet d'après le café de la place principale du village, Arduino ? C'était aussi le nom du premier roi italien, et il était libre. Le reste appartient à l'histoire. — Massimo Banzi

### Qu'attend Arduino de ses partenaires ? — Margriet Debeij (Pays-Bas)

L'expérience de l'utilisateur final est le moteur du développement de nos cartes, et par conséquent celui du choix de leurs composants. Autrement dit nous sélectionnons nos fournisseurs en fonction de ce qui se révèle le plus adapté à la création et à la production d'outils jugés innovants par nos clients. Pour améliorer notre service aux clients professionnels, nous avons lancé le programme Systems Integrators. Nous l'utilisons pour sélectionner des collaborateurs dont nous exigeons un engagement fort envers le service à la clientèle. Nous recherchons des partenaires au savoir-faire établi, qui apportent des solutions et des stratégies complémentaires aux nôtres et en synergie avec elles, afin de contribuer à l'innovation et à la croissance de l'IdO. — David Cuartielles

Massimo Banzi



### Que trouve-t-on sur la paillasse du labo de Massimo ? Travaille-t-il sur des projets particuliers ? — C. J. Abate (États-Unis)

On trouve surtout un bazar permanent sur ma paillasse ! Actuellement deux projets m'occupent. Le premier est l'assemblage de diverses « machines » composées d'actionneurs linéaires et de moteurs pas à pas. J'ai donné un cours sur ce sujet en juillet dernier et en prépare la suite. Le second projet consiste à restaurer d'anciens ordinateurs, dont des Apple II et de vieux Minitel. Bref, ma paillasse est jonchée de moteurs pas à pas et de composants d'ordinateurs anciens. — Massimo Banzi

### En plus de travailler pour Arduino, David Cuartielles enseigne à l'université suédoise de Malmö. Comment concilie-t-il ces deux postes ? Y a-t-il synergie entre les deux ? — Beatriz Sousa (Pays-Bas)

À vrai dire c'est mon travail à l'université de Malmö qui m'a donné envie de travailler sur un système comme Arduino. Je n'ai pas à concilier ces deux activités, elles se nourrissent l'une de l'autre. L'enseignement inspire la conception de cartes et de contenu, et vice versa. D'un point de vue pratique, quitter mon bureau d'Arduino pour aller donner un cours ou assister à une réunion à la School of Arts me prend dix minutes en vélo. J'adore enseigner et apprend beaucoup de mes élèves et anciens étudiants. J'applique ces nouvelles connaissances dans mon travail pour Arduino. — David Cuartielles



David Cuartielles

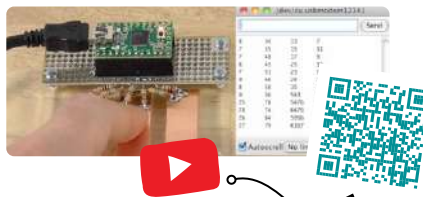
### La carte UNO et l'EDI Arduino ont apporté aux amateurs et aux makers une plateforme de développement simple et abordable qui n'existait pas auparavant. Arduino est même devenu leader dans ce domaine. À l'inverse, la série Arduino Pro entre en concurrence avec de nombreux produits, outils et acteurs déjà bien établis sur ce marché. Comment comptez-vous faire la différence ? — Clemens Valens (France)

L'objectif premier d'Arduino Pro est de permettre aux étudiants et aux makers de transférer leur savoir-faire Arduino vers une activité commerciale. Nous aidons les entreprises à transformer leurs modèles économiques avec l'IdO, en fournissant du matériel robuste et intelligible, ainsi que des plateformes SaaS. Nous faisons la différence en prenant en charge tout le développement du projet (matériel, logiciel et cloud) et en offrant une transition sans heurts entre prototypage et production. — Keith Jackson

On trouve sur le web des milliers de projets à Arduino. David et Massimo ont-ils leurs préférés ? Peuvent-ils en citer qui sortent du lot ? – Jens Nickel (Allemagne)

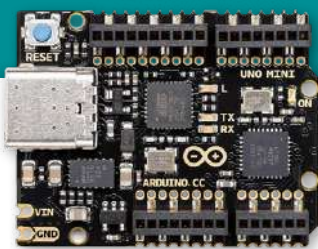
Je pourrais citer de nombreux projets complexes, mais ma préférence va à ceux qui aident les autres à mettre en œuvre leurs propres idées. Je pense aux bibliothèques présentes depuis longtemps dans Arduino, celles qui facilitent les réalisations. Un exemple est la bibliothèque CapacitiveSensor de Paul Bagder et Paul Stoffregen qui permet de remplacer les habituels boutons par des commandes tactiles. Bon nombre de projets leur doivent leur réussite. Et s'il me fallait choisir du côté des projets matériels, je citerais la machine à faire des bulles réalisée par les élèves d'un lycée de Catalunya. Comme ils n'avaient pas de relais, ils ont utilisé un servomoteur pour court-circuiter mécaniquement deux câbles déclenchant la mise en route du ventilateur soufflant les bulles. — David Cuartielles

Regardez la vidéo  
CapacitiveSensor Arduino Library



Le succès d'Arduino vient en grande partie des innombrables bibliothèques open source écrites par les utilisateurs des cartes UNO et d'autres modèles. La série Arduino Pro vise le monde industriel, qui sera sans doute moins enclin à partager son code. Ne craignez-vous pas que cela limite vos chances de succès ? – Clemens Valens (France)

Arduino a toujours été open source et le restera puisqu'il s'agit de son essence même. L'open source est l'indispensable moteur de créativité et d'innovation de la communauté Arduino, mais il permet aussi aux concepteurs professionnels d'adopter rapidement une technologie en diminuant les risques d'enfermement et de dépendance liés à une technologie propriétaire. L'open source n'est une limitation qu'aux yeux des entreprises s'appuyant sur un modèle traditionnel. Des milliers d'entreprises – sinon des millions – cherchent à s'échapper de ce modèle. Aujourd'hui, beaucoup utilisent des logiciels open source dans leurs applications critiques, que ce soit des bases de données ou Linux comme OS. Et rien n'empêche de greffer une application ou du code propriétaire sur une technologie Arduino. Nous fournissons déjà des outils pour de tels scénarios hybrides, afin que nos clients puissent sereinement combiner des logiciels à code source ouvert et fermé. – Keith Jackson



La popularité d'Arduino vient en grande partie de la carte UNO. Songez-vous à une Rev. 4, peut-être avec un processeur plus rapide et un module Wi-Fi ? – Muhammed Söküt (Elektor, Allemagne)

En fin d'année dernière, nous avons lancé une version miniature de la carte UNO appelée UNO Mini LE. Même s'il s'agissait d'une petite série, l'épuisement rapide des stocks nous a montré que le concept UNO restait populaire. Il y a quelques mois, nous avons sorti le kit Make Your UNO (MY UNO en abrégé) qui permet aux débutants d'apprendre à souder, à souder leur propre UNO en partant de zéro, et à assembler un synthétiseur audio – c'est un kit « trois en un ». Nous cherchons toujours à tirer parti de nos produits les plus appréciés, et aussi à les améliorer avec des processeurs plus rapides et l'ajout de fonctions demandées par nos clients. C'est pourquoi nous avons une équipe spécialement en charge de ce modèle. — David Cuartielles

Des milliers d'entreprises du monde entier utilisent Arduino comme plateforme d'innovation. Pouvez-vous citer une ou deux applications « pro » exceptionnelles ? – C. J. Abate (États-Unis)

Vous l'avez noté, ce sont des milliers d'entreprises qui utilisent Arduino, donc n'en sélectionner que deux est un défi intéressant.

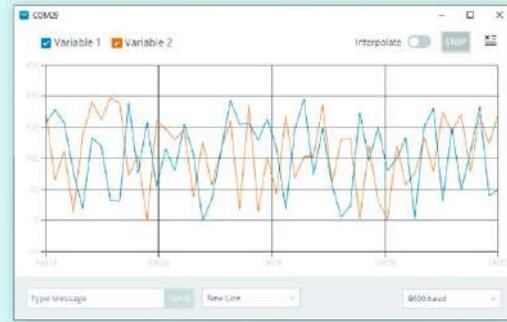
Je citerais d'abord le système de surveillance Fluid Eye conçu par Fluid Intelligence, car il aura été un des premiers cas d'utilisation d'Arduino à nous montrer que nous pouvions viser le marché professionnel. Fluid Eye anticipe les changements de comportement de fluides utilisés dans des machines de l'industrie lourde, ce qui permet de planifier les coûteuses opérations de maintenance et d'éviter les arrêts de production inopinés. La solution IdO comprend une unité de transmission des données reliée à Fluid Cloud. L'interface d'analyse, qui repose sur un système de vision artificielle et des algorithmes d'apprentissage, fournit des rapports mensuels et annuels. Différents modèles de cartes Arduino MKR lisent, traitent et envoient les données à un serveur. Arduino a prouvé ici son adaptation à des conditions industrielles difficiles.

Je citerais ensuite le système conçu par Arol avec Arduino Pro. Arol cherchait à coupler des systèmes d'acquisition de données à des fonctions intelligentes pour sa chaîne d'embouteillage et de conditionnement – 50 000 bouteilles et plus de 150 palettes par heure. Leur système de maintenance prédictif Nicla Sense ME surveille la température et les vibrations en des points critiques de la chaîne. Il fournit des données de diagnostic et de pronostic afin d'intercepter les erreurs et anomalies susceptibles de provoquer un arrêt de la chaîne, et s'en sert pour indiquer si et quand une machine a besoin de maintenance. — Keith Jackson



**Le traceur série de l'EDI Arduino est un outil vraiment utile, surtout pour représenter graphiquement des données en temps réel. Le problème est qu'il n'est pas configurable (p. ex. l'axe S est fixé à 500 points). Prévoyez-vous de le rendre configurable ? — Dogan Ibrahim (Royaume-Uni)**

Merci, ce genre d'observation est toujours apprécié, car les commentaires des utilisateurs nous aident à comprendre ce qu'il est essentiel d'améliorer pour le bien du plus grand nombre. Tel qu'il est, le traceur série offre effectivement un référentiel fixe, toutefois il ne s'agit pas de 500 points mais de 5000 millisecondes (5 secondes). Tout ce qui peut être affiché dans cette fenêtre le sera. Une fonction de zoom globale et locale est à l'étude.  
— **David Cuartielles**



**Je m'intéresse à ce que fait Arduino pour la jeune génération. Parlez-nous du programme Arduino Education. Quelle sera la prochaine étape ? — Alina Neacsu (Allemagne)**



Le programme Arduino Education entend préparer les étudiants à leur avenir. Arduino est déjà au service de l'éducation, mais le point clé ici est « futur » : compétences, technologies et préparation aux problèmes du futur. Nous travaillons activement à la définition des compétences industrielles et à leur intégration à l'enseignement. Cela aidera les étudiants à développer leur savoir-faire étape par étape, avec un objectif clair.

Arduino Education enseigne des technologies de pointe : le kit Explore IoT permet ainsi à différents groupes d'âge d'assembler des projets d'initiation à l'IdO. Les objectifs de développement durable sont aussi au cœur de notre enseignement, car nous voulons montrer aux étudiants les défis auxquels ils seront confrontés, et comment la technologie pourrait aider à bâtir un monde meilleur.

Nous comptons par ailleurs faciliter nos objectifs grâce aux services numériques. C'est-à-dire qu'en dehors de l'utilisation de cartes et composants polyvalents, peu chers et faciles à utiliser, nous cherchons à mettre notre savoir-faire en matière d'IdO au service de l'éducation. Arduino Cloud est à cet égard un outil pédagogique puisqu'il offre des fonctions de gestion des programmes éducatifs, des tableaux de bord et des ressources pour l'IdO. Nous travaillons aussi à l'amélioration de notre appli Science Journal qui a déjà aidé des millions d'étudiants en sciences à consigner leurs résultats d'expériences. Tout service numérique peut servir de passerelle entre apprentissage physique et numérique.

Afin d'aider les établissements scolaires à se transformer en environnement d'apprentissage innovant, Arduino Education a lancé le programme Inspiration. Un labo Inspiration est un espace dédié, que ce soit au sein d'un lycée, d'une université, d'une entreprise ou de tout autre institution, qui offre des opportunités d'apprentissage STEAM innovantes et passionnantes, ainsi que des certifications. Vous pouvez y organiser des cours STEAM pour des étudiants, des enseignants ou des salariés, ainsi que des ateliers ou des projets à thème. Vous pouvez même ouvrir le laboratoire au public afin qu'il puisse, lui aussi, découvrir les solutions Arduino Education, étendre ses connaissances STEAM – et s'amuser !

Un labo Inspiration promeut aussi le quatrième objectif de développement durable des Nations unies, à savoir l'accès pour tous à une éducation inclusive et équitable durant toutes les étapes de la vie, ainsi que l'acquisition de compétences professionnelles. Nous nous efforçons de créer des labos Inspiration dans le monde entier pour poursuivre notre mission : enseigner aujourd'hui pour demain. — **Yu Hu**

**J'utilise Arduino Cloud depuis plus de six mois et, en tant que maker, apprécie que ses fonctions avancées n'empêchent pas sa simplicité. En tant qu'éducateur, j'apprécie son rôle potentiel d'outil de formation. Comment envisagez-vous l'avenir d'Arduino Cloud ? Que pouvons-nous espérer voir au cours des deux prochaines années en matière de fonctions, prise en charge de matériel non Arduino, et sécurité ? — Peter Dalmaris (Australie)**

Arduino Cloud a d'abord été pensé pour les makers, mais avec le temps sont apparues de nombreuses fonctions, comme le contrôle RBAC ou la programmation et le déploiement à grande échelle. Il est ainsi devenu un outil adapté aux environnements industriels, professionnels, personnels et éducatifs. D'autres fonctions seront ajoutées à l'avenir, comme les notifications et le traitement d'événements, l'intégration à des plateformes tierces et la prise en charge d'autres matériels. Ces ajouts changeront le visage d'Arduino Cloud, mais sans nuire à sa simplicité, l'essence même des produits Arduino. — **Keith Jackson**

# débuter avec le Portenta X8

gestion sécurisée des logiciels avec les conteneurs



Figure 1. L'Arduino Portenta X8.

**Benjamin Dannegård (Arduino)**

L'Arduino Portenta X8 est un puissant système sur module (SoM) de qualité industrielle qui fonctionne avec une distribution Yocto Linux de Foundries.io. Grâce à l'intégration de l'Arduino Cloud, il est facile de créer une FoundriesFactory, de composer des conteneurs Docker et de les télécharger en toute sécurité sur votre ou vos cartes.

Le révolutionnaire Arduino Portenta X8 (**figure 1**) est un puissant système sur module (SoM) de qualité industrielle préchargé avec l'OS Linux, ce qui en fait une solution clés en main apte à exécuter des logiciels indépendants du dispositif, grâce à son architecture modulaire en conteneur. La connectivité wifi et *Bluetooth Low Energy* (BLE) intégrée permet d'effectuer à distance des mises à jour de l'OS et des applications, en maintenant toujours l'environnement du noyau Linux à un niveau de performance optimal. La combinaison du microprocesseur et du microcontrôleur du X8 offre une flexibilité sans précédent pour exécuter des applications Linux et effectuer des tâches en temps réel simultanément et en toute sécurité. Les nombreuses bibliothèques Arduino disponibles, associées à une distribution Linux basée sur des conteneurs, permettent aux professionnels de l'informatique, aux intégrateurs de systèmes et aux sociétés de conseil de construire et de

dynamiser une grande variété de solutions pour les contextes industriels. Il se prête également aux applications d'automatisation des bâtiments et d'agriculture intelligente. Quelques applications possibles :

- Ordinateur de périphérie connecté pour la production
- Véhicules guidés autonomes (AGV)
- Bornes interactives sécurisées Full-HD et affichage numérique
- Systèmes de contrôle pour bureaux et habitations
- Navigation et contrôle pour l'agriculture intelligente
- Analyse comportementale pour les bureaux et les usines

## Concepts de base

L'Arduino Portenta X8 utilise un environnement Linux embarqué, ce qui signifie qu'il nécessite une distribution de base, un

mécanisme pour la mettre à jour et quelques applications qui peuvent fonctionner sur la carte. Comme base, le X8 utilise une distribution Linux construite avec le *Yocto Project*, avec des applications installées et empaquetées sous forme de conteneurs confinés (**figure 2**). Le projet Yocto a été créé spécifiquement pour les systèmes embarqués afin de garantir la flexibilité nécessaire pour atteindre les tailles d'encombrement des cibles et ajuster les fonctionnalités.

En collaboration avec Foundries.io [1], nous avons développé une solution simple pour connecter l'Arduino Portenta X8 à leur distribution *FoundriesFactory*. En connectant le Portenta X8 à un ordinateur, on peut immédiatement accéder à la page web de configuration (**figure 3**). Cela permet un processus d'installation fluide et rapide. On peut y configurer le wifi de la carte, puis la connecter facilement à une FoundriesFactory de votre choix (voir **figure 4**). Grâce à l'intégration de Foundries.io avec Arduino Cloud, vous pouvez facilement créer votre FoundriesFactory directement à partir de la page Arduino Cloud.

La page *FoundriesFactory* vous permet d'ajouter des membres, ce qui facilite le suivi d'une équipe qui doit avoir accès aux Portenta X8 liés à la Factory. On peut également constituer des équipes pour une meilleure gestion. La page présente aussi une liste de tous les appareils liés à la Factory, avec leurs noms et les versions des conteneurs actuellement téléchargés sur les cartes. Il existe enfin une page qui répertorie toutes les différentes versions de conteneurs téléchargées vers l'usine. Tout cela permet d'avoir une

vue d'ensemble et de gérer facilement les personnes de l'équipe, ainsi que les appareils et les cibles. Ceci permet déjà de gérer facilement la flotte de dispositifs, mais Waves, l'outil de gestion de flotte de Foundries.io, permet un contrôle encore plus poussé. Pour mieux comprendre comment cet outil fonctionne avec le Portenta X8, consultez le tutoriel *FoundriesFactory Waves Fleet Management* pour le X8 [2].

Initialement, Foundries.io a créé sa distribution générique (mais pas trop) à partir de Yocto avec un minimum de logiciels installés. Par défaut, elle met en œuvre des fonctionnalités de cybersécurité de haut niveau telles que OP-TEE, un système qui permet de sécuriser l'OS, en prenant en charge de manière facultative un secure element et OSTREE, un système permettant de vérifier chaque fichier et répertoire du système. Cela rend leur solution idéale pour les applications professionnelles. Un mécanisme personnalisé de mise à jour *OTA* du système est basé sur un client fonctionnant sur une cible et un robuste serveur du nuage. Foundries.io a connecté docker-compose comme moyen de déployer une solution logicielle sur une cible. Cela revient à avoir un app-store pour un appareil particulier - à la différence qu'on n'installe pas une application mais un conteneur qui peut contenir une distribution complète ou une distribution minimale exécutant uniquement notre application ou notre ensemble d'applications. En plus de cela, ils ont également développé l'aspect cloud. Cela signifie que vous pouvez utiliser FoundriesFactory, un service d'abonnement DevSecOps en nuage, pour construire, tester, déployer et maintenir des produits IdO et de périphérie sécurisés et actualisables. On obtient au même endroit un identifiant unique et les générations automatiques du système de base et de ses conteneurs.

## Conteneurs

Comme brièvement mentionné précédemment, les conteneurs constituent une partie importante de la fonctionnalité du X8. Un conteneur est une unité logicielle standard qui regroupe le code et toutes ses dépendances, afin que l'application s'exécute rapidement et de manière fiable d'un appareil à un autre. Une image de conteneur Docker est un paquet de logiciels léger, autonome et exécutable qui comporte tout ce qui est nécessaire pour exécuter une application. Avec l'utilisation intégrée de Docker sur le Portenta X8, il est facile de télécharger des conteneurs déjà existants ou de créer votre propre conteneur hautement personnalisable.

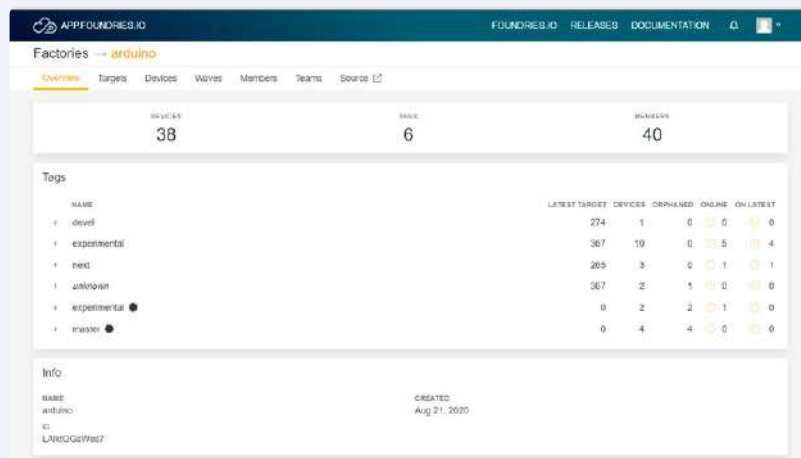


Figure 2. Infographie du système.

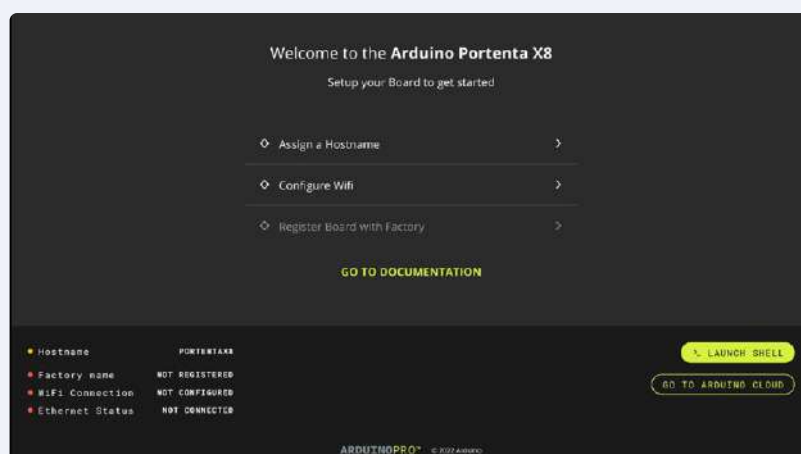


Figure 3. Page web de configuration du Portenta X8.

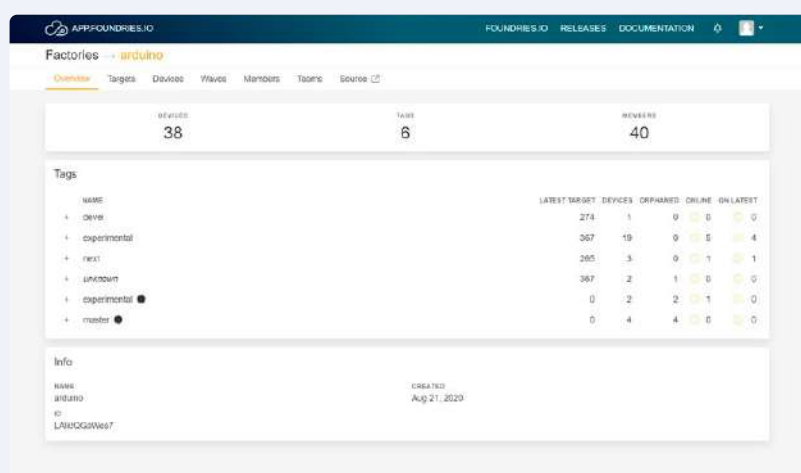


Figure 4. Page de présentation de FoundriesFactory. (Source : Foundries.io)



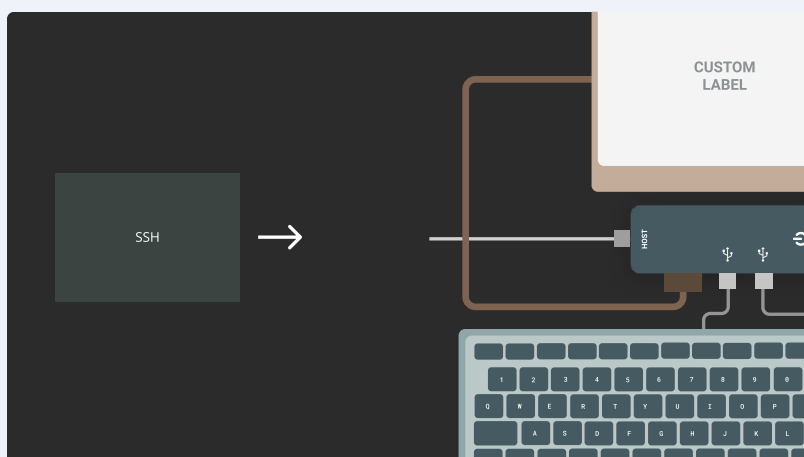


Figure 5. Illustration de la connexion du Portenta X8.



Figure 6. Démo fonctionnant sur Portenta X8.

L'utilisation d'un site tel que Docker Hub [3], qui contient une pléthore de conteneurs prêts à l'emploi, permet l'emploi du Portenta X8 dans de nombreux domaines différents. Lors de la création d'un conteneur à partir d'une image, celle-ci doit contenir l'ensemble du système de fichiers du conteneur. Cela signifie qu'elle doit contenir tout ce qui est nécessaire pour exécuter une application, toutes les dépendances, les configurations, les scripts, les binaires, etc. L'image contient également d'autres configurations pour le conteneur, comme des variables d'environnement, une commande par défaut à exécuter et d'autres métadonnées. En revanche, un conteneur est une application unique, alors que vous voulez en utiliser plusieurs, donc, avec le X8, nous utilisons docker-compose, qui nous aide à les gérer. La structure de fichiers d'une application docker-compose peut ressembler à ceci :

- `docker-build.conf` contient la commande minimale de « test d'unité » à exécuter sur le conteneur pour prouver qu'il fonctionne.
- `docker-compose.yml` définit le nom de l'application au sein de la Factory, ses permissions et les paramètres des conteneurs impliqués
- `Dockerfile` est un fichier qui construit une image Docker. L'image contient toutes les dépendances dont l'application Python a besoin.
- `requirements.txt` contient les dépendances Python que votre application devra copier et télécharger
- Le répertoire `src` contient le code source de l'application que vous voulez exécuter dans le conteneur ou un script de démarrage.

Cette procédure est facilitée grâce à Foundries.io, avec un script de construction de conteneur qui s'exécute sur le serveur de construction CI associé à FoundriesFactory, et qui est déclenché lors du dépôt (*push*) dans le répertoire de la Factory. Nous pouvons ainsi créer une nouvelle application docker-compose, l'ajouter au dépôt et l'archiver ou la déposer. Après quelques instants, la page de la Factory indiquera que le script de construction du conteneur a été déclenché et qu'il est en train de construire la nouvelle application docker-compose. Tout cela nous aide à constituer une plateforme Linux embarquée qui exécute une distribution Yocto personnalisée, sécurisée et capable de résister à un audit sévère de cybersécurité, et où l'utilisateur peut faire tout ce qu'il a en tête en déployant des applications et du code personnalisé avec des conteneurs.

## Fonctionnalité RPC


L'infrastructure de conteneurs fournie par Arduino nous permet d'exécuter un traitement en temps réel du côté Arduino tout en faisant tourner un système d'exploitation à part entière du côté Linux. Grâce à l'architecture du X8, le microcontrôleur peut prendre en charge la gestion de certains périphériques et échanger les données requises entre le microcontrôleur et une application Python (on peut aussi utiliser n'importe quel langage de programmation ou de script pour l'application) qui fonctionne du côté Linux. Le mécanisme de communication utilisé à cette fin est appelé RPC (*Remote Procedure Call*). En utilisant l'infrastructure Docker, il est possible de créer une application Python qui utilise le mécanisme RPC pour échanger des données entre le microcontrôleur et l'IMX8, qui exécute le système d'exploitation Linux. Si vous souhaitez approfondir cette fonctionnalité, consultez le tutoriel *Exchange Between Python on Linux and an Arduino Sketch tutorial* [4].

## Portenta X8 en action

Voyons à quoi ressemble le processus d'utilisation du Portenta X8 avec FoundriesFactory et les conteneurs avec une démonstration rapide. Le mini processeur NXP i.MX 8M de l'Arduino Portenta X8 peut être utilisé pour le rendu 3D. Cela nous permettra d'afficher du contenu 3D sur un écran ou une sortie vidéo. Le dispositif utilise OpenGL pour traiter les calculs liés à la 3D. Dans cette démo, nous allons effectuer le rendu d'un contenu web à partir d'Internet en utilisant WebGL et l'afficher sur un écran au moyen d'un hub USB pourvu

d'une sortie HDMI. Il existe de nombreux moyens de communiquer avec votre carte, que ce soit avec ou sans fil, puis d'utiliser ADB ou SSH pour communiquer avec le X8 via une interface en ligne de commande. Comme le Portenta X8 est un dispositif Linux, on peut utiliser des commandes Linux normales pour créer des fichiers, changer des répertoires, etc. Après avoir suivi le processus de configuration, le dernier micrologiciel du X8 sera installé. Cela facilitera aussi beaucoup le reste du processus. Maintenant que la carte est liée à une FoundriesFactory, on peut facilement télécharger le conteneur nécessaire sur le Portenta X8 et l'exécuter en seulement quelques lignes avec SSH ou ADB. Avec FoundriesFactory, une cible contenant cet exemple peut facilement être téléchargée sur un dispositif lié. Si vous préférez une méthode locale, il est tout aussi simple de télécharger le référentiel, de le pousser vers le dispositif avec le shell ssh ou adb, et de l'installer et de l'exécuter en quelques commandes. Une fois que tout est téléchargé et fonctionne, le Portenta X8 peut être connecté à un écran en utilisant un hub USB (**figure 5**). L'exemple Aquarium 3D de WebGL sera alors lu (**figure 6**). On peut aussi connecter une souris au hub USB pour interagir avec la démo sur l'écran. Cela permet d'évaluer les capacités de rendu 3D du X8 avec WebGL, de tester différents réglages ou d'accéder à d'autres informations pertinentes si nécessaire. Une autre option consiste à modifier le conteneur à l'aide d'un éditeur de texte Linux afin de changer l'URL et afficher autre chose à l'écran. Si vous souhaitez reproduire ce processus ou l'examiner plus en détail, consultez notre tutoriel, *Output WebGL Content on a Screen* [5]. Sur le site documentaire d'Arduino, vous pouvez également trouver d'autres

tutoriels qui montrent les possibilités du X8 et son utilisation des conteneurs docker. Pour voir comment faire fonctionner un conteneur de base de données sur le Portenta X8 hébergeant un site WordPress, consultez notre tutoriel *Running Wordpress and Database Containers on the Portenta X8* [6]. Peut-être êtes-vous plus intéressé à voir comment le Portenta X8 peut fournir une solution pour l'enregistrement de données MQTT ? Dans ce cas, vous devriez consulter le tutoriel *Data logging with MQTT, Node-RED, InfluxDB and Grafana* [7]. Si vous souhaitez étendre encore plus les capacités du X8, branchez-le sur une carte Arduino Portenta Max Carrier. Vous pourrez alors, par exemple, construire une passerelle multiprotocole. Pour cela, consultez notre tutoriel *Build a Multi-Protocol Gateway with Portenta X8 & Max Carrier* [8]. Maintenant que vous avez une idée de ce

dont l'Arduino Portenta X8 est capable, de ses concepts de base et des types d'applications pour lesquelles il peut être utilisé, c'est à vous de le mettre en action et d'en tirer le meilleur parti. 

(220546-04) — VF : Denis Lafourcade

### À propos de l'auteur



Benjamin Dannegård est un concepteur d'interactions originaire de Malmö, en Suède. Il s'intéresse à tout ce qui est technique et intello. Il travaille avec Arduino depuis deux ans comme *maker* et créateur de contenu pro.



### Produits

*Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !*

- **Arduino Portenta X8**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-x8](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-x8)
- **Arduino Portenta Max Carrier**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-max-carrier](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-max-carrier)
- **Arduino Portenta H7**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7)
- **Arduino Portenta Max Carrier**  
<https://elektor.fr/arduino-portenta-max-carrier>

## LIENS

- [1] Foundries.io : <https://foundries.io>
- [2] Tutoriel : « Using FoundriesFactory Waves Fleet Management for the X8 » : <https://docs.arduino.cc/tutorials/portenta-x8/waves-fleet-managment>
- [3] Bibliothèque d'images conteneur Docker Hub : <https://hub.docker.com>
- [4] Tutoriel : « Data Exchange Between Python on Linux and an Arduino Sketch » : <https://docs.arduino.cc/tutorials/portenta-x8/python-arduino-data-exchange>
- [5] Tutoriel : « Output WebGL Content on a Screen » : <https://docs.arduino.cc/tutorials/portenta-x8/display-output-webgl>
- [6] Tutoriel : « Running Wordpress and Database Containers on the Portenta X8 » : <https://docs.arduino.cc/tutorials/portenta-x8/wordpress-webserver>
- [7] Tutoriel : « Data Logging with MQTT, Node-RED, InfluxDB and Grafana » : <https://docs.arduino.cc/tutorials/portenta-x8/datalogging-iot>
- [8] Tutoriel : « Build Multi-Protocol Gateway with Portenta X8 and Max Carrier » : <https://docs.arduino.cc/tutorials/portenta-x8/multi-protocol-gateway>

# créez, déployez et maintenez des applications évolutives et sécurisées

avec Arduino Portenta X8 équipé du mini processeur d'applications i.MX 8M de NXP et de l'élément de sécurité EdgeLock® SE050

Contribué par NXP Semiconductors

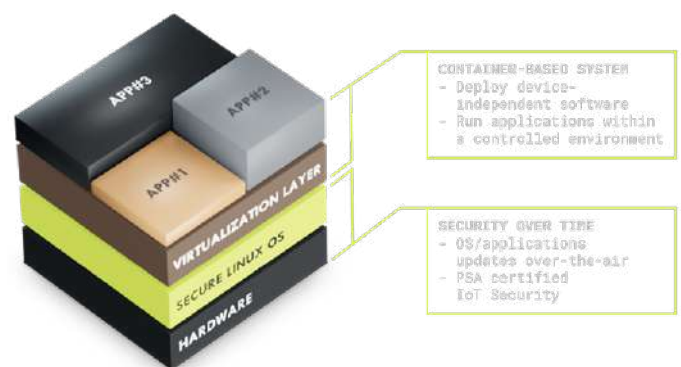
La mise sur le marché d'un dispositif IdO implique des efforts de conception et de développement considérables avec des problèmes d'évolutivité, des défis de sécurité et des limitations de dispositifs à chaque coin de rue. L'ajout d'intelligence complexifie encore plus. C'est pourquoi la sélection du bon matériel et du bon logiciel de développement est essentielle pour mettre plus rapidement sur le marché des produits périphériques sécurisés. Cet article présente la plateforme Arduino Portenta X8, un SoM sécurisé de qualité industrielle basé sur le microprocesseur d'applications i.MX 8M de NXP et un élément matériel de sécurité EdgeLock® SE050 intégré. Cette plateforme certifiée PSA est également Arm® SystemReady IR pour une sécurité assu.

Arduino Portenta X8 est un système puissant de qualité industrielle sur un module avec Linux® préchargé à bord, capable d'exécuter des logiciels indépendants du dispositif grâce à son architecture modulaire en conteneur. Il offre deux approches : la flexibilité d'utilisation de Linux combinée à des applications en temps réel via l'environnement Arduino. La connectivité wifi/BLE embarquée permet de mettre à jour le système d'exploitation et les applications à distance, tout en maintenant l'environnement du noyau Linux à un niveau de performance optimal.

## Sécurité de pointe

Le système basé sur des conteneurs intègre différentes couches de sécurité, à commencer par la matérielle qui comprend le *Secure Element* de NXP. Il utilise la plateforme DevOps basée sur le cloud de Foundries.io [1] pour réinventer la manière dont les solutions

Linux embarquées sont construites, testées, déployées et maintenues. Le Portenta X8 comprend le système d'exploitation de microplateforme Linux open-source personnalisable, conçu selon les meilleures pratiques de l'industrie en matière de sécurité de bout en bout, de mises à jour OTA incrémentielles et de gestion de flotte.



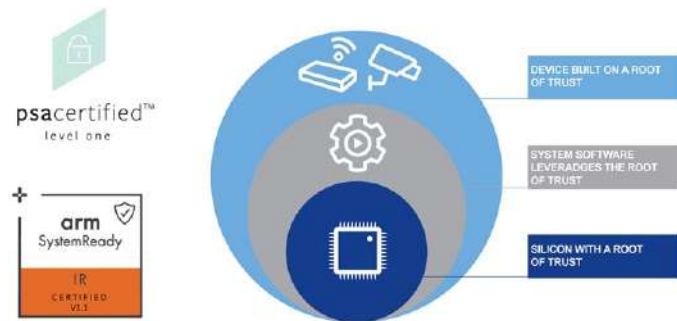
Portenta X8 Container and Security.

La couche de virtualisation permet aux utilisateurs de déployer des logiciels indépendants des appareils et fonctionnant dans un environnement contrôlé. Ils peuvent créer leurs propres conteneurs à l'aide de Docker et télécharger des images préfaites à partir de Docker Hub ou d'autres registres publics disponibles pour concevoir une application sur mesure. Si le développeur souhaite intégrer de l'embarqué, il peut le faire facilement en l'exécutant sur un conteneur, en la plaçant sur la carte et en la testant dès sa sortie de la boîte. Cela offre un large éventail de possibilités en mélangeant les capacités de Linux et d'Arduino.

Portenta X8 a obtenu la certification PSA et l'élément matériel de sécurité NXP EdgeLock SE050 assure la génération de clés, l'accélération des opérations cryptographiques et le stockage sécurisé. Il a également obtenu la certification Arm® SystemReady [2] et a intégré les services Parsec, ce qui en fait l'un des premiers produits Cassini ou dispositifs Edge natifs du cloud disponibles pour les développeurs sur le marché. Il fonctionne de manière transparente avec Fedora IoT, Fedora Server, Debian et la microplateforme Linux. En permettant la migration des charges de travail du cloud vers la périphérie, le



Portenta X8 contribue à une expérience de développeur cloud-native à travers l'écosystème IdO diversifié et sécurisé d'Arm.



Platform Security Architecture.

## EdgeLock SE050 - Un ancrage de confiance pour l'IdO

L'EdgeLock SE050 [3] de NXP est un matériel de sécurité discret et inviolable destiné à protéger l'identité d'un dispositif, y compris les clés cryptographiques et les certificats. C'est un élément intégré relié au processeur principal via l'interface I<sup>2</sup>C. L'EdgeLock SE050 est certifié Critères Communs EAL 6+ pour le matériel et le système d'exploitation. Prêt à l'emploi pour les appareils IdO, il fournit une base de confiance au niveau du circuit intégré et offre une véritable sécurité de bout en bout, de la périphérie au cloud, sans qu'il soit nécessaire d'implémenter un code de sécurité ni de manipuler des clés et des informations d'identification critiques.



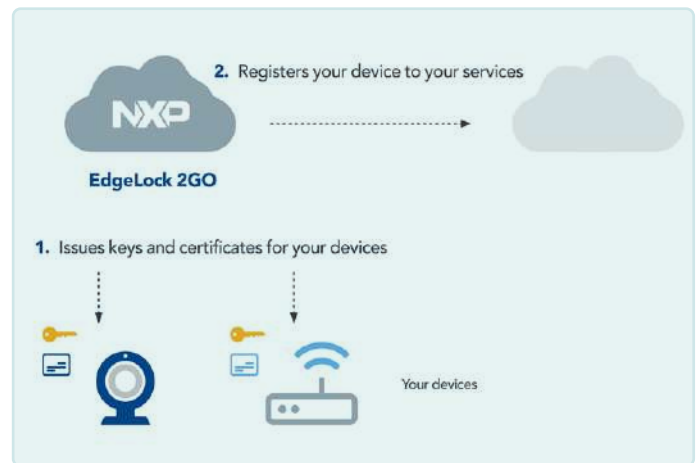
Une base de confiance fondée sur le silicium : élément de sécurité EdgeLock® SE050.

Livré sous la forme d'une solution prête à l'emploi, EdgeLock SE050 offre plusieurs algorithmes et protocoles cryptographiques pré-implémentés et est accompagné d'un paquet de support qui simplifie la conception et réduit le temps de mise sur le marché. En plus des bibliothèques pour différents microcontrôleurs (MCU) et MPU, le paquet de support offre également l'intégration avec les nombreux OS courants, y compris Linux, RTOS et Android.

Les concepteurs de dispositifs IdO sont confrontés à deux défis majeurs lors de la mise en œuvre de l'embarquement des dispositifs sur le

cloud. D'abord, le provisionnement de l'identité du dispositif faisant référence à l'installation des clés et des certificats. Le second défi est la gestion des identités des dispositifs une fois libérés sur le terrain, faisant référence à la mise à jour, l'ajout ou la révocation des clés et des certificats tout au long du cycle de vie du dispositif.

Pour aider les concepteurs à relever ces défis, NXP propose le service géré EdgeLock 2GO [4]. La plateforme est une combinaison de matériel et de services spécialement conçue qui établit une base de confiance fondée sur le silicium. EdgeLock 2GO émet les identités requises pour les dispositifs IdO et installe les références en toute sécurité dans le matériel EdgeLock SE050. Il enregistre également automatiquement le dispositif IdO directement auprès du cloud.



NXP gère les informations d'identification des dispositifs.

TCe service flexible prend en charge plusieurs types de justificatifs d'identité et applique différentes configurations en fonction du projet. Les accréditations peuvent être renouvelées ou ajoutées aux dispositifs mis en service sur le terrain. Avec la mise en place d'EdgeLock SE050 et de l'EdgeLock 2GO, les utilisateurs bénéficient d'une solution de bout en bout qui est simple, sûre et flexible.

L'IdO continue de se développer, mais les risques aussi. La combinaison EdgeLock de NXP, avec sa sécurité matérielle et son service de gestion des informations d'identification, offre aux fabricants de dispositifs un moyen plus sûr de faire des affaires. En prenant en charge le déploiement d'un appareil, NXP EdgeLock réduit les délais de mise sur le marché et les coûts quotidiens d'exploitation d'un déploiement IdO tout en ayant la certitude que les appareils sont protégés par une sécurité de haut niveau.

## Libérez la puissance : plus de vitesse et une meilleure efficacité

Le SoC i.MX 8M Mini [5] est le premier processeur d'applications multi-cœur embarqué de NXP construit à l'aide de la technologie de processus 14LPC FinFET avancée, offrant plus de vitesse et une meilleure efficacité énergétique. La famille de processeurs d'applications i.MX 8M Mini associe la haute performance informatique, l'efficacité énergétique et la sécurité embarquée nécessaires à la croissance rapide de l'informatique des nœuds de périphérie, du streaming multimédia et des applications de *machine learning*.



Le SoC i.MX 8M Mini est proposé dans des variantes à un, deux et quatre cœurs utilisant le processeur Arm® Cortex®-A53 et fonctionnant jusqu'à 1,8 GHz par cœur. Livré dans un processus avancé à faible consommation, le complexe de cœurs est optimisé pour un fonctionnement sans ventilateur, un faible coût thermique du système et une longue durée de vie de la batterie. Les cœurs Cortex-A peuvent être mis hors tension tandis que le sous-système Cortex-M4 assure la surveillance du système en temps réel et à faible consommation. Le contrôleur DRAM prend en charge les mémoires 32 bits/16 bits LPDDR4, DDR4 et DDR3L, offrant ainsi une grande souplesse de conception du système.

Les options de cœur du i.MX 8M Mini sont optimisées pour une consommation ultra-faible, voire inférieure à un watt dans certaines applications spécifiques, mais offrent la puissance de traitement nécessaire pour les applications grand public, audio, industrielles, de machine learning et d'inférence sur une gamme de fournisseurs de cloud. Le SoC i.MX 8M Mini intègre également l'accélération matérielle de la vidéo 1080p pour permettre des applications vidéo bidirectionnelles, des graphiques 2D et 3D pour offrir une expérience visuelle IHM riche, et des capacités audio avancées pour permettre des applications riches en sons. Une sélection étendue d'interfaces à haut débit permet une connectivité plus large du système et vise une qualification de niveau industriel.

Les exemples d'application comprennent :

#### ► Automatisation industrielle

Le Portenta X8 peut alors faire office de passerelle multiprotocole, en envoyant des données au cloud ou au système ERP via wifi, LoRa, NB/IoT, LTE Cat.M1.

La disponibilité de conteneurs Linux comme ROS au sein de l'environnement Arduino fait du Portenta X8 une solution idéale pour les véhicules guidés autonomes.

#### ► Automatisation des bâtiments

Interagissant avec des capteurs intelligents sur le plan environnemental, Portenta X8 permet la mise en œuvre de ML et de traitement d'images en temps réel sur la périphérie.

Les kiosques intelligents s'appuient généralement sur plusieurs composants (par exemple, des lecteurs de cartes, des caméras, des microphones), ce qui nécessite une sélection diversifiée d'E/S. Associé à un Max Carrier, le Portenta X8 assure la connectivité wifi et permet aux administrateurs de surveiller à distance l'utilisation des machines.

Le Portenta X8 peut simultanément contrôler les systèmes CVC, allumer/éteindre les appareils intelligents, régler de manière autonome l'éclairage et contrôler les accès en périphérie.

**Commencez à développer dès aujourd'hui avec le SOM Portenta X8 [6] de qualité industrielle, sécurisé et doté d'une densité de calcul exceptionnelle.** ◀

220576-04

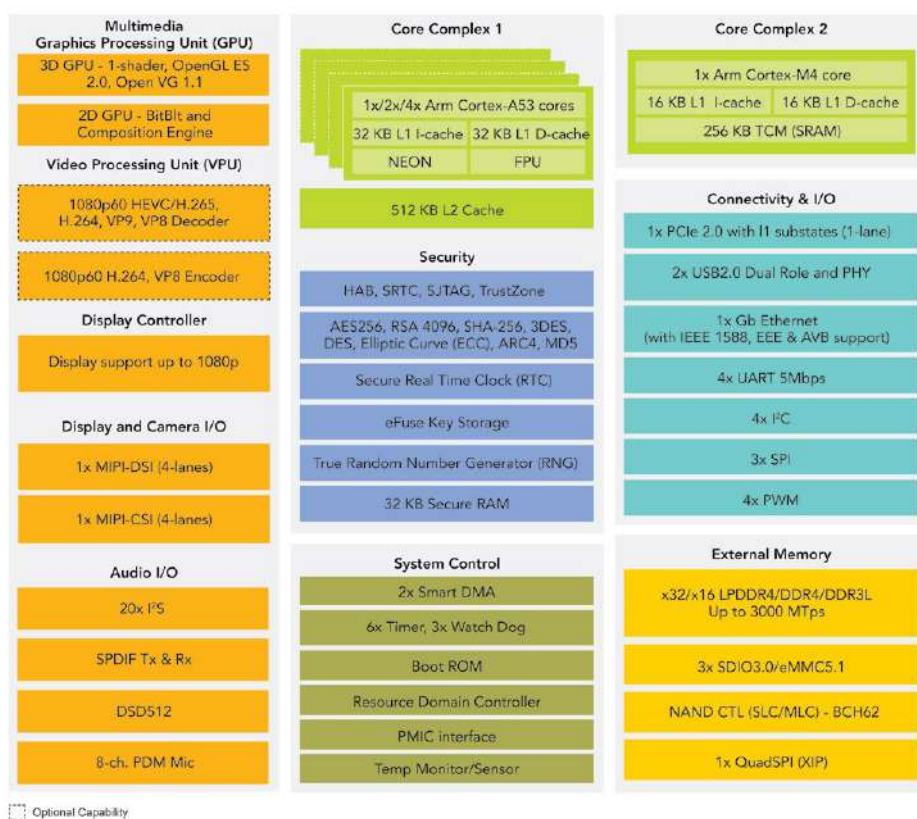


Schéma fonctionnel du processeur d'applications i.MX 8M Mini

## LIENS

- [1] Foundries.io : <https://foundries.io/>
- [2] Arm SystemReady : <https://www.arm.com/architecture/system-architectures/systemready-certification-program>
- [3] EdgeLock SE050 : <https://bit.ly/EdgeLockSE050>
- [4] EdgeLock 2GO : <https://bit.ly/EdgeLock2GO>
- [5] i.MX 8M Mini : <https://bit.ly/iMX8MMini>
- [6] Portenta X8 SOM : <https://www.arduino.cc/pro/hardware/product/portenta-x8>

# comment j'ai automatisé ma maison

Fabio Violante, PDG d'Arduino, partage ses solutions



Fabio Violante

**Keith Jackson (Arduino)**

La plupart des PDG sont volubiles, mais combien d'entre eux peuvent joindre la parole aux actes lorsqu'il s'agit d'utiliser les produits et services des entreprises qu'ils dirigent ? Fabio Violante, le PDG d'Arduino, est capable de passer de la parole aux actes : il a emporté ses projets à la maison, et a développé de nombreuses solutions basées sur Arduino pour automatiser son domicile familial.



## Ressource : idées de domotique avec Arduino

La mise en place d'un système de domotique à partir de zéro peut être un véritable défi. Mais ce n'est pas toujours le cas. Ce sera beaucoup plus amusant que vous ne le pensez, et vous pouvez y devenir accros – demandez à Fabio ! Voici un tas d'idées qui peuvent facilement et efficacement transformer votre maison et votre style de vie, y compris plus d'informations sur les projets détaillés ci-dessus. Bonne lecture ! <https://arduino.to/hub>

Beaucoup de chefs d'entreprise passe la semaine a bosser, puis rentrent chez eux, où ils ne verront pas un autre de leurs produits avant leur retour au bureau. Ce n'est pas le cas du PDG d'Arduino, qui fabrique ses propres produits à la maison.

Comme beaucoup de gens en période de confinement imposé par l'État pendant l'épidémie, Fabio s'est lancé dans toute une série de projets maison pour améliorer les choses autour de lui. Avec tout ce temps à la maison, il pouvait enfin se concentrer sur la création de la solution idéale basée sur Arduino Cloud.

En regardant le smartphone de Fabio, vous pouvez tout de suite découvrir les appareils domotiques qu'il a connectés. L'utilisation de l'application Arduino IoT Remote lui permet de surveiller, contrôler et automatiser ces appareils depuis n'importe où dans le monde – ou du moins de Milan à Rapallo, où il réside.

Alors, qu'est-ce qui a poussé Fabio à créer ces solutions, et comment s'y est-il pris ? Ce sont les petits désagréments frustrants liés au fonctionnement des appareils électroménagers qui l'ont incité à s'y lancer.

## Ventilo-convecteur intelligent (HVAC)

### Problème :

Le ventilo-convecteur encastré ne poussait pas l'air (chaud/froid) assez loin.

### Solution :

Ajouter deux ventilateurs supplémentaires silencieux et sans balais pour la ventilation, et ne les activer que lorsque le liquide de refroidissement est à la bonne température (différente pour l'été et l'hiver) et uniquement en cas de besoin, selon la température ambiante de l'air.

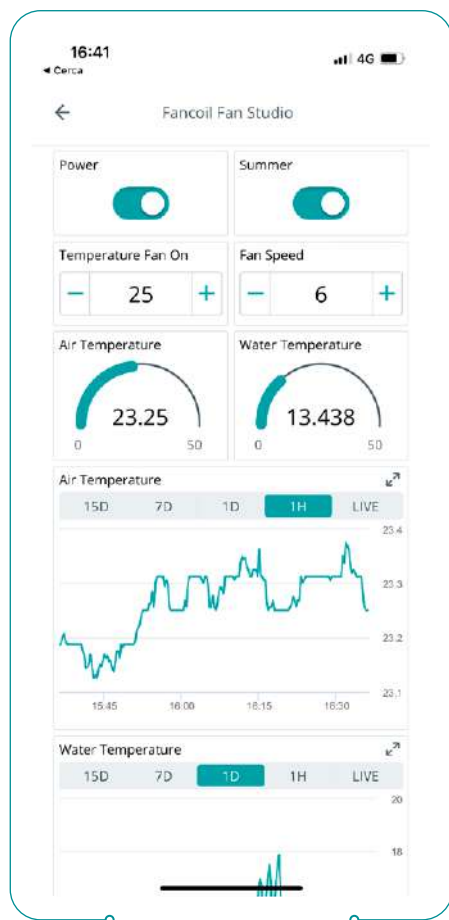
### Matériel :

- > 2 x ventilateurs
- > Arduino Nano 33 IoT
- > Bornes à vis
- > Alimentation 12 V
- > 2 x capteurs de température à 1 fil

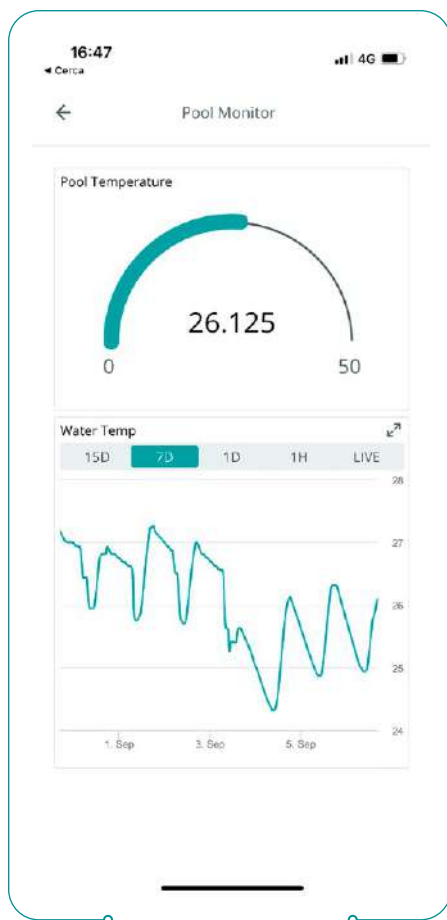
### Logiciel :

- > Arduino Cloud avec tableau de bord mobile, intégration d'Alexa pour les opérations ou réglages manuels.

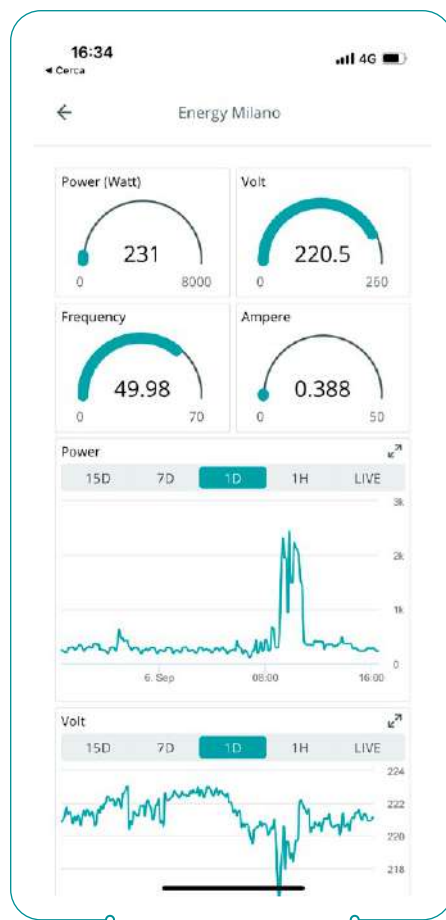




Automatisation des ventilo-convecteurs.



Moniteur de température de piscine.



Contrôle de l'énergie.

## Moniteur de température de piscine

### Problème :

Les membres de la famille (surtout les enfants) ont besoin de savoir si la piscine extérieure est assez chaude pour s'y baigner.

### Solution :

Mesurer la température de la piscine numériquement avec un capteur de température connecté à Arduino Cloud et transmettre les données au tableau de bord, à Alexa et à l'application sur les téléphones des membres de la famille.

### Matériel :

- Arduino Nano 33 IoT
- Borne à vis
- Capteur de température à 1 fil
- Transformateur d'isolement 220 VCA à 12 VCA
- Redresseur CC 12 VCA (exigé par la réglementation des piscines)

### Logiciel :

- Arduino Cloud avec tableau de bord mobile, intégration d'Alexa

## Moniteur d'environnement de salon

### Problème :

Mesurer les paramètres environnementaux du salon. Nous devons maintenir l'humidité du salon au bon niveau pour le piano.

### Solution :

Appareil tout-en-un basé sur Arduino qui respecte la règle de ma femme pour tout objet dans notre salon : ne pas ressembler à une bombe.

### Matériel :

- Kit Arduino Oplà IoT

### Logiciel :

- Arduino Cloud avec tableau de bord mobile, intégration d'Alexa.

## Arrosage des plantes d'extérieur

### Problème :

Mesurer l'humidité du sol de plusieurs plantes d'extérieur et augmenter la fréquence d'arrosages programmés en fonction du besoin. Créer un point de contrôle unique pour garder les plantes du jardin en bonne santé et bien arrosées pendant notre absence.

### Solution :

Solution Arduino distribuée pour la détection et le contrôle centralisé d'électrovannes d'eau, en parallèle avec le système domotique existant.

### Matériel :

- Arduino MKR WiFi 1010
- Capteur de température à 1 fil
- 2 x capteurs génériques d'humidité du sol
- Arduino Nano 33 IoT
- Adaptateur de borne à vis
- Carte générique à 8 relais

### Logiciel :

- Arduino Cloud avec tableau de bord mobile, intégration d'Alexa, variables partagées.

## Compteur d'énergie

### Problème :

Surveiller et enregistrer la consommation d'énergie dans la maison.

### Solution :

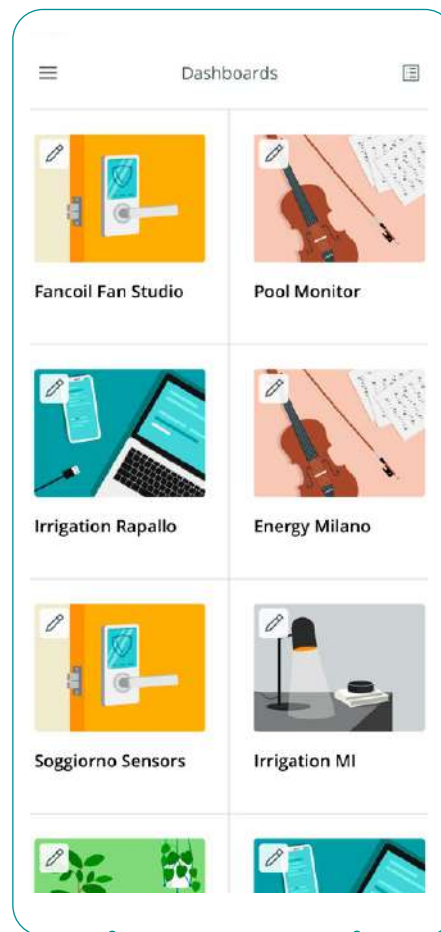
Utiliser deux compteurs d'énergie (un pour l'espace jour, un pour l'espace nuit) pour mieux suivre la consommation d'énergie de la maison, afin de l'optimiser et de l'économiser. Utiliser Arduino et une solution de comptage professionnelle.

### Matériel :

- > Arduino MKR WiFi 1010
- > *Shield* Arduino MKR RS485
- > Boîtier pour rail DIN à 2 unités
- > Alimentation 5 V sur rail DIN
- > Compteur d'énergie Finder (1 phase, 230 V 40 A, W17, 5 mm, rail DIN, RS-485 Modbus, NFC, IR, certificat MID) [modèle 7M.24.8.230.0210]

### Logiciel :

- > Arduino Cloud avec tableau de bord mobile, intégration d'Alexa



Découvrez ce que contient le smartphone de Fabio.

## Solution complète pour l'irrigation

Après avoir réussi à automatiser sa maison, Fabio s'est lancé dans un mégaprojet (à ne pas confondre avec l'Arduino Mega !) pour gérer l'irrigation de la ferme d'oranges de son père.

### Problème :

Surveiller l'humidité et gérer l'arrosage de plusieurs hectares d'orangers, à l'aide de pompes de puits professionnelles 380 V, d'arroseurs, de vannes distribuées et de plusieurs types de sol. Envisager des options de connectivité, en tenant compte de l'emplacement éloigné.

### Solution :

Arduino Pro intégré au système de commande de moteur existant et repli manuel. Inclure la connectivité à distance via LoRa avec la connectivité cellulaire comme solution de secours, compteur d'énergie wifi.

### Matériel préliminaire :

- > Portenta Machine Control
- > Portenta Max Carrier et Portenta H7
- > 6 × Arduino Edge Control
- > 5 × panneaux solaires de 5 W et batteries plomb-acide de 10 Ah
- > 15 capteurs d'humidité du sol en filigrane
- > Plusieurs vannes de verrouillage de 1 pouce

### Logiciel :

- > Arduino Cloud avec tableau de bord mobile, intégration d'Alexa

### Des questions, des commentaires ?

Vous avez des questions sur ces solutions ou vous avez des suggestions ? Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).

### Fabio Violante, PDG d'Arduino

Avant Arduino, Fabio a été directeur technique de BMC Software, après l'acquisition de BMC par Neptun, une startup qu'il avait cofondée. Fabio est également cofondateur et membre du conseil d'administration du groupe Moviri. Il est titulaire d'un master et d'un doctorat en ingénierie informatique du Politecnico di Milano (Italie), et a été professeur adjoint dans cette université. Outre l'électronique, il est passionné de musique (surtout le piano) et de vin.



### Produits

- > **Arduino Nano 33 IoT avec des connecteurs (19937)**  
[www.elektor.fr/arduino-nano-33-iot-with-headers](http://www.elektor.fr/arduino-nano-33-iot-with-headers)
- > **Arduino Oplà IoT Starter Kit (19942)**  
[www.elektor.fr/arduino-opla-iot-starter-kit](http://www.elektor.fr/arduino-opla-iot-starter-kit)
- > **Arduino MKR WiFi 1010 (19935)**  
[www.elektor.fr/arduino-mkr-wifi-1010](http://www.elektor.fr/arduino-mkr-wifi-1010)

simulation matérielle d'un ordinateur ancien



Vous avez toujours voulu jouer avec l'ordinateur qui a ouvert l'ère du PC, mais vous n'avez pas les moyens de vous en offrir un ? Alors, construisez-le !

Pendant longtemps, j'ai pensé qu'il serait sympathique de pouvoir jouer avec un ordinateur Altair 8800. Mais les anciens systèmes Altair en état de marche sont rares et donc chers, coûtant facilement 2000 à 3000 € quand on en trouve. Il existe d'autres options, comme celle d'altairclone.com, mais à 600 € quand même, trop cher pour moi pour un ordinateur qui, bien que très sympathique, reste d'une utilité limitée. Heureusement, Mike Douglas, le créateur de ce clone, a mis à la disposition de la communauté tous les documents et logiciels d'époque qu'il a dénichés et utilisés pour créer le clone. Grâce au travail de Mike, il existe une mine d'informations facilement accessibles sur le fonctionnement interne de l'Altair et de ses périphériques les plus populaires. Le moment venu, j'ai examiné les spécifications de l'Arduino Mega 2560 pour savoir s'il avait suffisamment de broches d'E/S pour connecter simplement les LED et les interrupteurs du panneau avant de l'Altair et si je pouvais programmer mon propre émulateur. Il s'est avéré que l'Arduino Mega possède exactement le nombre de broches d'E/S nécessaire et que je n'avais plus qu'à me mettre au travail. L'utilisation de l'Arduino Mega comme moteur du simulateur a bien



fonctionné et a été facile à mettre en œuvre, mais l'émulation ne fonctionne qu'à environ 25 % de la vitesse de l'Altair et ne peut fournir que 6 ko de mémoire émulée (une quantité considérable dans les années 1970). La capacité de la mémoire permanente (pour stocker les programmes et les données créées dans le simulateur) est également limitée, car l'EEPROM du Mega ne contient que 4 ko.

L'Arduino Due dispose de suffisamment de mémoire pour fournir 64 ko de RAM émulée et est beaucoup plus rapide que le Mega. En outre, l'Arduino Due peut stocker des données en mémoire flash au moment de l'exécution. Cela permet d'utiliser comme mémoire permanente toute la mémoire flash de 512 ko qui n'est pas utilisée par le simulateur lui-même. Avec le Due, j'ai pu créer un simulateur Altair 8800 qui fonctionne à peu près à la vitesse de l'original, fournit 64 ko de RAM émulée, contient de nombreux logiciels Altair, et peut encore fournir 32 ko de mémoire semi-permanente pour charger et stocker des programmes et des données dans l'émulateur.

## Objectifs, exemples, et plus encore

Travailler avec le simulateur devait me donner la sensation la plus proche possible du « vrai » Altair 8800. Il fallait donc que les lumières du panneau avant imitent autant que possible le comportement original. L'un des critères était qu'il soit possible de jouer au jeu « Kill-the-bit » sur le panneau avant. La **figure 1** et la vidéo YouTube « *Arduino Altair 8800 Simulator - Entering and Playing Kill-the-Bit* » [4] montrent que j'y ai réussi.

Il s'est avéré que la simulation est si fidèle à l'original que même la démo musicale originale de l'Altair 8800 [5] fonctionne - à titre de comparaison, voici ma version [6]. Ce type de production musicale nécessitait une radio AM pour capter les interférences électromagnétiques générées par les circuits de l'Altair.

En 1977, Processor Technology a sorti une petite carte d'extension (juste quelques condensateurs et résistances) avec un logiciel d'accompagnement qui a transformé l'Altair en un système musical respectable (pour l'époque). Les mêmes ajouts peuvent être faits au simulateur (voir la documentation) pour qu'il joue les airs créés pour le système de musique de l'époque. Cette vidéo YouTube [7] montre mon clone jouant l'*Ouverture de Guillaume Tell*.

Une autre extension historiquement importante pour l'Altair était la carte graphique Cromemco Dazzler. À l'aide d'une extension logicielle ou matérielle, le simulateur peut également émuler cette carte [8], comme le montre la **figure 2**. Une autre extension logicielle/matérielle [9] apporte l'émulation de la carte graphique VDM-1 (**figure 3**) de Processor Technology.

Comme je ne possède pas d'Altair original, j'ai dû obtenir toutes les informations nécessaires à partir de documents et de vidéos (voir les remerciements dans [3]). Il peut y avoir quelques différences mineures, mais dans l'ensemble je pense qu'il reproduit assez bien le comportement original (voir l'encadré **Points forts**). Une différence bien connue (et intentionnelle) est le voyant d'état du HLDA qui indique dans l'original que l'unité centrale a été arrêtée par un dispositif externe, fonction absente dans le simulateur, où il signale qu'un fichier (série/enregistrement/lecture de bande) est actuellement ouvert.

Lorsque vous utilisez l'Arduino Due, veuillez noter que toutes les données capturées ou stockées dans le simulateur seront effacées si vous chargez une nouvelle version du croquis dans le Due, car les

données sont sauvegardées dans la mémoire flash, qui est effacée lorsqu'un nouveau croquis est chargé (le Due ne dispose pas d'une EEPROM pour un stockage permanent). Si une carte SD est connectée au Due, les données sont enregistrées sur cette carte et donc conservées lorsqu'un nouveau croquis est téléchargé.

La documentation originale de l'Altair (facile à trouver via Google) contient toutes les informations nécessaires à l'utilisation des interrupteurs du panneau avant. Toutefois, le simulateur contient des fonctions supplémentaires et des logiciels intégrés. Ceci est expliqué dans le fichier *Documentation.pdf* [10] dans le répertoire du code source.

## Instructions de montage

Mon objectif pour ce projet était d'utiliser le moins de composants supplémentaires possible. L'Arduino Mega et le Due ont tous deux suffi-

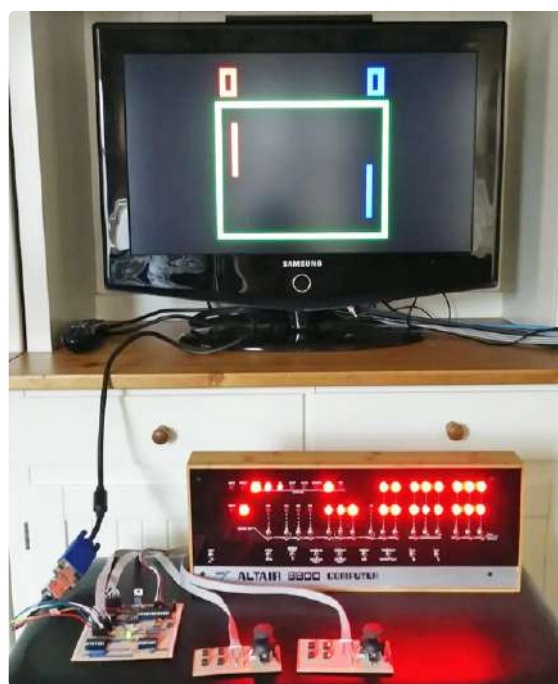


Figure 2. Emulation de la carte graphique Cromemco Dazzler en action.



Figure 3. Saisie d'écran de la carte graphique VDM-1.

samment de broches d'E/S pour gérer directement tous les éléments du panneau avant. Seuls des transistors et des résistances supplémentaires sont nécessaires pour piloter les 36 LED (si elles étaient connectées directement aux broches de sortie de l'Arduino et que trop d'entre elles étaient allumées en même temps, le courant total pourrait excéder les limites de l'Arduino).

Un schéma exhaustif serait redondant (36 circuits de pilotage de LED identiques, même câblage des 32 interrupteurs) et donc de peu d'intérêt. Le circuit est donc décrit par des sous-circuits (tels que les pilotes de LED, **figure 4**), et des tableaux [3] de connexions aux broches de l'Arduino. Un schéma Fritzing montre le câblage des LED et des résistances sur une carte à bandes conductrices (**figure 5**).

Pour créer le panneau de commande, j'ai commencé par un scan de haute qualité du panneau avant de l'Altair [11] que j'ai fait imprimer sur du carton dans une boutique de photocopie. Pour obtenir une bonne tenue mécanique, je l'ai doublé à l'arrière d'une plaque de métal de 0,8 mm d'épaisseur dans laquelle j'ai percé des trous pour les LED. Les LED et leurs résistances sont soudées sur les cartes. Le panneau avant constitue la façade d'un simple coffret en bois qui n'est pas aussi profond que l'Altair original, ne devant contenir que le panneau de commande et l'Arduino. La **figure 6** montre l'aspect intérieur.

Pour câbler l'interrupteur ON/OFF du panneau de commande, j'ai simplement fixé à l'arrière du coffret une prise de courant identique à celle de l'Arduino, que j'ai reliée à l'Arduino par un câble terminé par une fiche et coupé au milieu pour insérer l'interrupteur.

En utilisant l'Arduino Due, l'émulation de jusqu'à 16 lecteurs de disques 88-DCDD peut être activée en connectant une carte SD au port SPI de l'Arduino Due. Le détail du câblage nécessaire se trouve en dernière page du document [3].

Avant de télécharger le croquis sur l'Arduino Due, assurez-vous que le paramètre d'optimisation du compilateur Arduino est réglé sur « Performance ». Par défaut, il est réglé sur « Taille » (pourquoi ? mystère, puisque le Due a 512 Ko de mémoire flash !). Pour ce faire, chargez le fichier suivant sur dans un éditeur de texte et changez toute occurrence de -0 s en -3.

```
c:\Users\[user]\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\hardware\sam\1.6.9\platform.txt
```

Vous pouvez sauter cette étape, mais le simulateur fonctionnera alors nettement plus lentement.

Le logiciel du simulateur peut également fonctionner sur un Arduino seul (Mega ou Due) sans panneau de commande. Cela lui permet d'exécuter certains des programmes inclus (ceux qui utilisent essentiellement le terminal série et non les éléments du panneau). Pour ce faire, éditez le fichier source `config.h` et mettez `#define STANDALONE 1` (au lieu de 0). Voir la section « *Debugging Capabilities* » de la documentation [3] pour apprendre à utiliser les éléments virtuels du panneau de commande dans cette configuration. Notez que ce n'est pas l'utilisation prévue du simulateur. Les émulateurs logiciels basés sur PC sont plus intuitifs si vous ne désirez pas construire vous-même le panneau de commande. Le fichier source `config.h` contient plusieurs paramètres qui activent ou désactivent des fonctionnalités du simulateur. Les valeurs par défaut fonctionnent bien, mais vous pouvez ici optimiser votre simulateur.

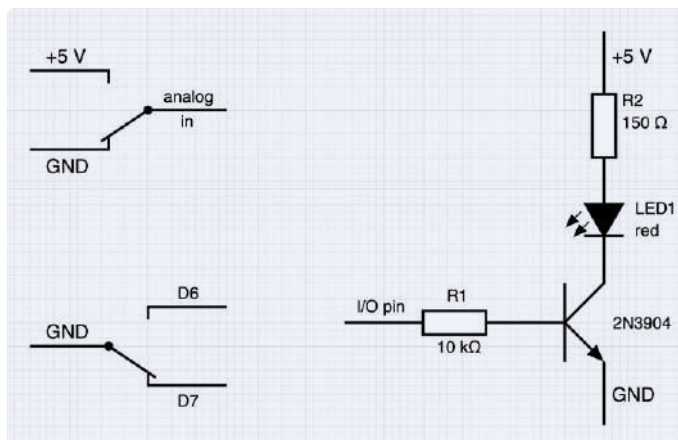


Figure 4. Circuits unitaires pour les interrupteurs et les LED.

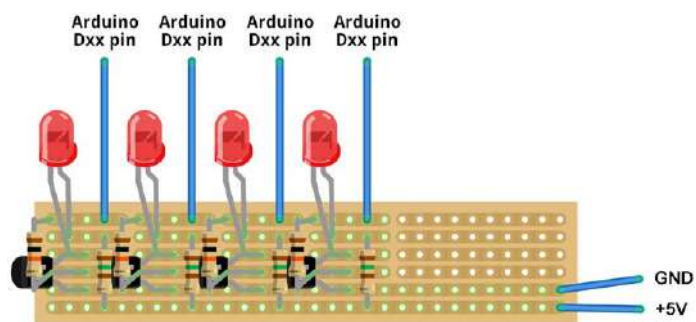


Figure 5. Composants soudés sur cartes à bandes (Fritzing).

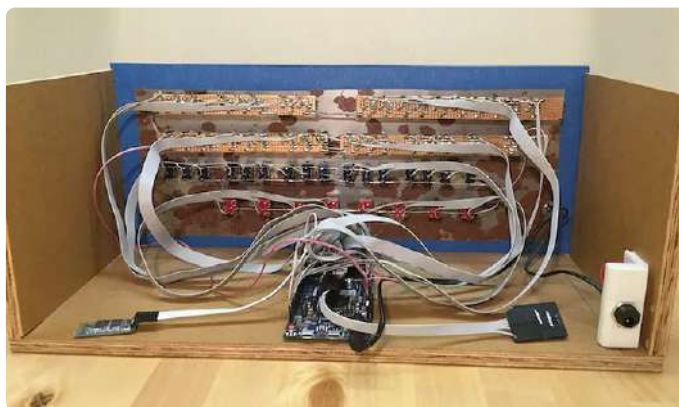


Figure 6. Vue intérieure du clone de l'Altair.

## Partageons !

Si vous trouvez ce projet intéressant et souhaitez obtenir plus d'informations, visitez le groupe Google, créé par Chris Davis, pour discuter des questions relatives à Altair-Duino [12]. N'hésitez pas à contribuer à la discussion !

## Points forts

- Reproduit exactement le comportement des éléments du panneau de commande de l'Altair.
- Environ aussi rapide que l'Altair 8800 original en utilisant un Arduino Due (25 % en utilisant un Arduino Mega).
- Taille de la RAM émulée = 64 KB (Due) ou 6 KB (Mega).
- Quelques programmes Altair sont inclus et peuvent être facilement chargés sur l'émulateur : Pong, Altair 4K BASIC (le premier produit Microsoft), Altair Extended BASIC, MITS Programming System II (Due uniquement), Altair Timesharing BASIC (permet à plusieurs utilisateurs d'utiliser le BASIC simultanément).
- Des programmes d'exemple BASIC et assembleur sont inclus et peuvent être facilement chargés dans BASIC/ Assembleur.
- Emule une carte 88-SIO, 88-2SIO et 88-ACR (interface pour enregistreur de cassettes audio). N'importe quel dispositif série simulé peut être mappé aux ports série de l'Arduino.

Par défaut, les deux plus communs (88-SIO et 88-2SIO port 1) sont mappés au port série principal de 115 200 bauds de l'Arduino (8N1), qui est accessible via le câble USB. Un dongle série -bluetooth connecté aux broches série RX/TX est recommandé pour que d'autres appareils puissent servir de terminal via Bluetooth.

- Sur l'Arduino Due, le port série principal (USB) et le port Serial1 (broches 18/19) peuvent être utilisés simultanément.
- Les données envoyées à chaque dispositif série (y compris la cassette ACR) peuvent être enregistrées et lues à partir de 256 fichiers au maximum, qui sont stockés dans la mémoire locale de l'Arduino (EEPROM ou FLASH).
- L'interface cassette prend en charge l'utilisation des commandes CSAVE/CLOAD dans Extended BASIC (la prise en charge est automatique et ne nécessite aucune interaction de l'utilisateur). Idéal pour développer vos propres programmes BASIC !
- Emule une carte graphique Cromemco Dazzler (nécessite du matériel/logiciel supplémentaire [9]).

- Emule une carte de terminal vidéo VDM1 de Processor Technology (nécessite du matériel/logiciel supplémentaire [10]).
- Emule jusqu'à 16 lecteurs de disques 88-DCDD (4 dans la configuration par défaut). Cette émulation est optionnelle, mais nécessite la connexion d'une carte SD au port SPI de l'Arduino. (Due uniquement).
- Emule un contrôleur de disque dur 88-HDSK avec jusqu'à 4 disques durs connectés (1 dans la configuration par défaut) et 4 plateaux par unité.
- Emule une carte 88-RTC VI avec horloge en temps réel et traitement des interruptions vectorielles. Permet l'utilisation du Altair Timesharing BASIC.
- Des pages de mémoire de 256 octets peuvent être sauvegardées en mémoire permanente et rechargées en RAM. Voilà un moyen facile de sauvegarder les programmes saisis à l'aide des interrupteurs du panneau de commande.
- De nombreux paramètres peuvent être facilement modifiés via l'éditeur de configuration intégré.

Si quelqu'un d'autre veut partager sa création, faites-le moi savoir, et je la posterai sur le site du Simulateur. J'adore passer en revue la variété des versions proposées !

220406-04 — Vf : Helmut Müller

## À propos de l'auteur

David Hansel est un faiseur et un développeur. Il a découvert Arduino en 2012 et n'a cessé de l'utiliser (et d'autres microcontrôleurs) depuis pour créer des projets. Sur son profil GitHub : (<https://github.com/dhansel>), il présente des projets qu'il pense pouvoir être utiles à d'autres.

## Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ([david@hansels.net](mailto:david@hansels.net)) ou contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



## Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

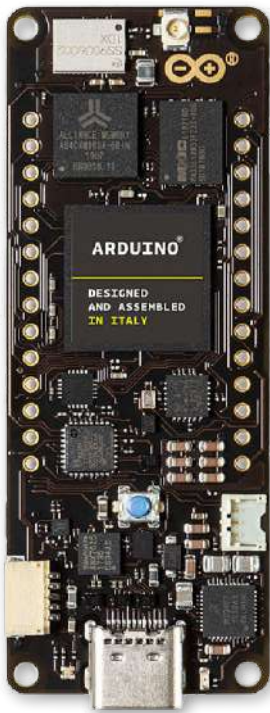
- **Arduino Due avec des connecteurs**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-due](http://www.elektormagazine.fr/arduino-due)

## LIENS

- [1] Wikipedia sur l'Altair 8800 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Altair\\_8800](https://en.wikipedia.org/wiki/Altair_8800)
- [2] Kit Altair-Duino : <https://altairduino.com/>
- [3] Simulateur Arduino Altair 8800 sur le site du hub du projet Arduino : <https://tinyurl.com/yxkta8nz>
- [4] Jeu kill-the-bit sur simulateur Arduino Altair 8800 : <https://youtu.be/prdvkMP3FAA>
- [5] Démonstration musicale de l'Altair 8800 : <https://youtu.be/1FDigtF0dRQ>
- [6] Démonstration de musique avec mon simulateur : <https://youtu.be/q45ENdbz8EU>
- [7] Simulateur Altair jouant l'ouverture de Guillaume Tell : <https://youtu.be/nqy8v41q5as>
- [8] Écran Dazzler pour le simulateur Altair : <https://tinyurl.com/y8f2wzsr>
- [9] Simulateur VDM-1 : <https://github.com/dhansel/VDM1>
- [10] Documentation, PDF : <https://tinyurl.com/yvxtxhbn>
- [11] Panneau de commande de l'Altair : <https://vintage-computer.com/images/altairfrontpanelscan.jpg>
- [12] Groupe Google sur Altairduino.com : <https://groups.google.com/g/altair-duino>







# MS-DOS sur le Portenta H7

exécuter des logiciels *old-school*  
sur du matériel moderne

Clemens Valens (Elektor)

Les cartes Arduino Portenta fournissent la puissance de calcul nécessaire pour émuler d'autres plateformes informatiques et virtualiser le matériel. Installez et exécutez MS-DOS sur le Portenta H7 grâce à cet article.

Dans les usines du monde entier, de nombreuses machines et lignes de production qui fabriquent les pièces des produits que nous utilisons aujourd'hui ont été construites et installées il y a plusieurs décennies. Elles exécutent des logiciels modernes sur des plateformes informatiques de pointe pour l'époque. Aujourd'hui, cependant, nombre d'entre elles sont obsolètes. Tant qu'elles continuent à fonctionner, leur modernisation peut attendre, mais que faire lorsqu'une carte tombe en panne et que les pièces de rechange sont difficiles à trouver ou, pire encore, ne sont plus disponibles ?

## Virtualisez-le !

C'est là qu'interviennent les cartes Arduino Portenta. Comme elles sont généreuses en puissance de calcul pour un si petit module, elles peuvent être utilisées pour

virtualiser un autre ordinateur. Cela consiste à exécuter un programme qui émule une autre système de manière à ce que le système émulé puisse exécuter son logiciel comme s'il s'agissait du vrai système. De l'extérieur, il n'y a aucune différence.

Une machine virtuelle peut fonctionner sur n'importe quel ordinateur, ce qui résout le problème des pièces de rechange, et elle exécute des programmes existants, ce qui limite les coûts de développement de logiciels personnalisés. Un autre avantage est la possibilité d'ajouter des fonctions modernes comme l'USB et le HDMI. Cela permet, par exemple, de remplacer les moniteurs CRT encombrants et gourmands en énergie par des écrans plats modernes et les claviers série difficiles à trouver par des modèles USB bon marché.

## MS-DOS

Un système d'exploitation populaire de l'époque est le MS-DOS de Microsoft, destiné aux ordinateurs compatibles x86. Bien que son développement se soit arrêté en 2000, il est encore largement utilisé. C'est pourquoi l'équipe Arduino a décidé d'implémenter une machine x86 virtuelle pour le Portenta H7 capable d'exécuter MS-DOS. Grâce à cette technique, le Portenta peut remplacer un vieil ordinateur sur une machine qui peut ainsi continuer à fonctionner pendant 40 ans.

L'émulateur x86 pour le Portenta H7 est encore en cours de réalisation, mais vous pouvez déjà l'essayer. Voici comment.

## Prérequis

Notez que pour que l'émulateur MS-DOS fonctionne, un hub USB-C avec un port HDMI et des capacités de charge (d'ordinateur portable) est nécessaire (c'est-à-dire qu'il doit avoir une entrée d'alimentation). Le Portenta émet la vidéo sur son port USB-C, et il est alimenté par le même port. Par conséquent, un hub capable de lui

Figure 1. Utilisez un hub USB-C doté d'une fonction chargeur pour ordinateur portable.



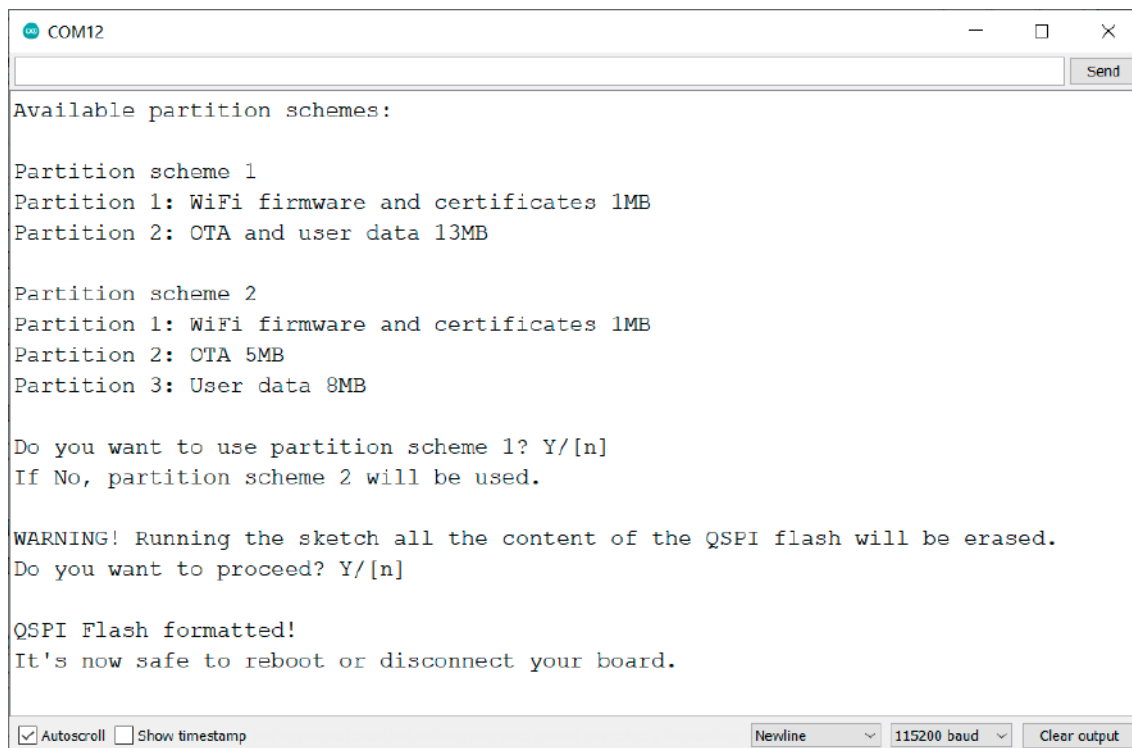


Figure 2. Formatez la mémoire flash QSPI avec le schéma de partition 1.

fournir de l'énergie est pratique. Pour un hub USB-C, cette option est souvent appelée « chargeur USB-C ». Tous les hubs USB-C n'en sont pas dotés, il faut donc choisir avec soin (figure 1). Bien sûr, il est également possible d'alimenter le Portenta H7 à partir d'une alimentation à part, mais elle doit alors alimenter le hub et tout ce qui y est connecté également.

Aussi, pour jouer avec MS-DOS sur le Portenta, vous avez besoin d'un clavier USB. Celui-ci doit être de type standard *Low Speed* (USB 1.0), pas *Full Speed* ou plus rapide. Cette exigence est probablement remplie plus facilement par le clavier USB le plus ancien et le moins cher que vous pouvez trouver. J'ai essayé d'être malin en convertissant un vieux clavier PS/2 en clavier USB avec un Arduino Leonardo, mais cela ne fonctionne pas, car le Leonardo le transforme en clavier USB *Full Speed*.

## Étape par étape

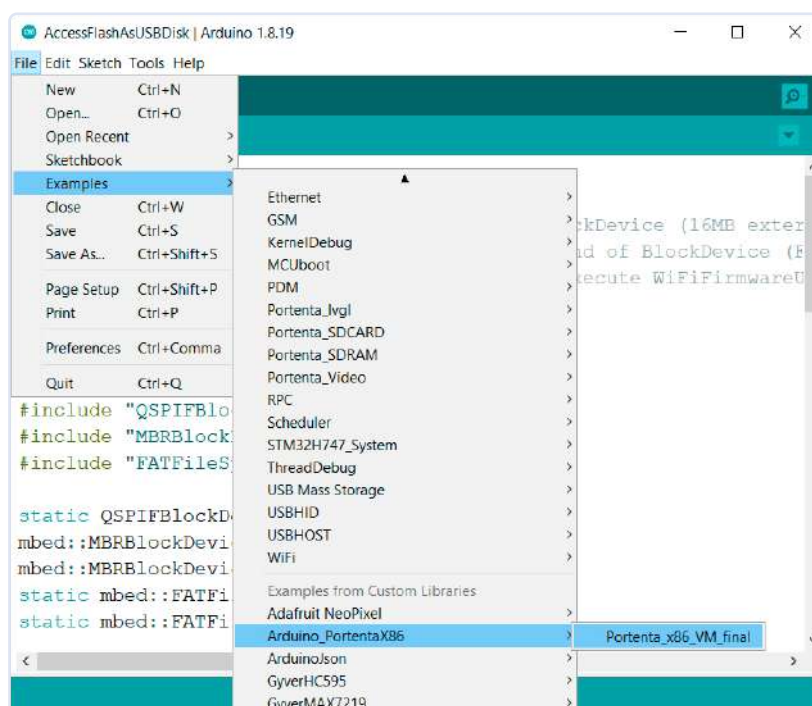
1. Ouvrir l'IDE Arduino version 2.x ou 1.8.x. J'ai utilisé 1.8.19.
2. Utilisez le Boards Manager pour installer Portenta Boards Package *Arduino Mbed OS Portenta Board* (v3.3.0 au moment de la rédaction).
3. Pour la carte, sélectionnez l' *Arduino Portenta H7 (M7 core)*.
4. Sélectionnez le bon port.
5. Utilisez le Library Manager pour installer la bibliothèque *Arduino\_PortentaX86*. Si vous ne la trouvez pas, téléchargez-la depuis [1] et installez-la en tant que bibliothèque dans le dossier *libraries* de votre dossier *sketchbook*.

Maintenant, vous devez exécuter quelques sketches pour préparer la mémoire flash du Portenta :

6. Exécutez *Examples* → *STM32H747\_System* → *QSPIFormat* et assurez-vous d'utiliser *Partition scheme 1* (figure 2).
7. Exécutez *Examples* → *USB Mass Storage* → *AccessFlashAsUSBDisk*.

L'étape 7 transforme le Portenta en clé USB sur laquelle vous devez copier l'image disque MS-DOS qui est incluse dans la bibliothèque *Arduino\_PortentaX86* (basée sur

Figure 3. Téléchargez le sketch de la machine virtuelle (VM) *Portenta\_x86\_VM\_final*.





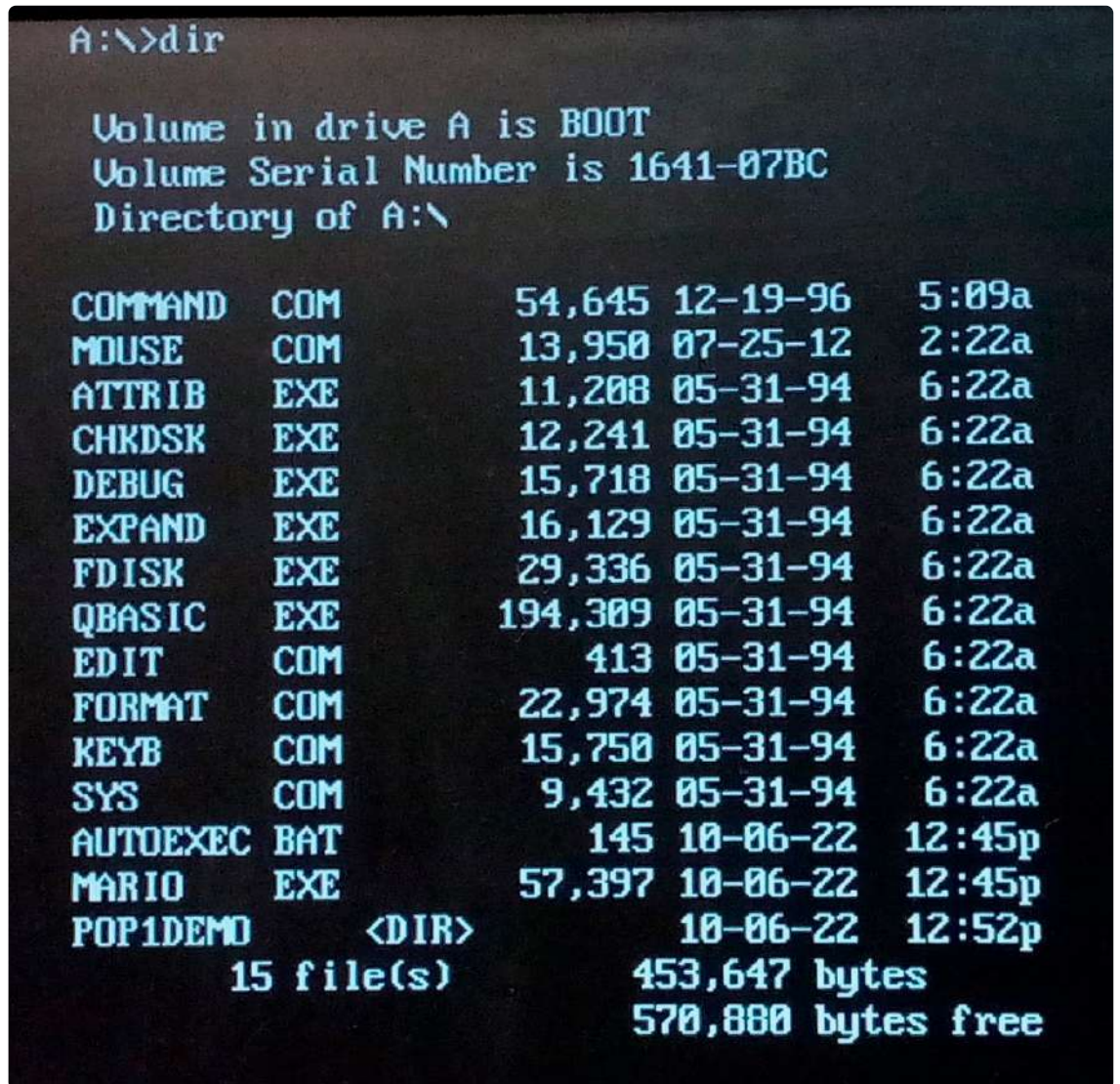


Figure 4. Le contenu du disque A à l'invite MS-DOS.

l'émulateur MS-DOS Faux86), qui est située dans le dossier *libraries* de votre dossier *sketchbook*. Vous pouvez trouver l'emplacement de ce dernier dans les préférences de l'IDE (oui, c'est un peu compliqué).

Copiez l'image DOS dans la plus grande partition. Vérifiez-en la taille dans les propriétés du disque si vous n'êtes pas sûr.

8. Exécutez *Examples* → *Arduino\_PortentaX86* → *Portenta\_x86\_VM\_final* (figure 3).

La machine virtuelle x86 est maintenant prête et chargée avec MS-DOS. Assurez-vous de connecter le clavier et

le moniteur USB au hub USB-C avant d'y connecter le Portenta, car le branchement à chaud n'est pas pris en charge (même si j'ai trouvé que cela fonctionnait la plupart du temps).

9. Allumez le hub USB-C.

Si tout est bon, vous devriez maintenant voir le BIOS émulé exécuter le test de mémoire et une fois terminé, l'invite MS-DOS devrait apparaître (figure 4) :

A:\>

Au moment de la rédaction de cet article, il n'y avait pas grand-chose à faire avec l'émulateur, mais *Edit* de MS-DOS fonctionnait (avec souris, en plus), et je pouvais aussi écrire et exécuter un programme simple en QBASIC. Une version de démonstration du jeu *Prince of Persia* de 1990 est incluse dans l'image disque (dans le dossier POP1DEMO), montrant des graphiques VGA colorés (figure 5).

### Notes

Le Portenta H7 possède deux cœurs, un ARM Cortex-M4 et un ARM Cortex-M7. C'est le M7 qui émule le processeur x86 tandis que le M4 s'occupe de tout ce qui

Figure 5. L'image disque MS-DOS comprend une version jouable à durée limitée du jeu classique des années 90 *Prince of Persia*.





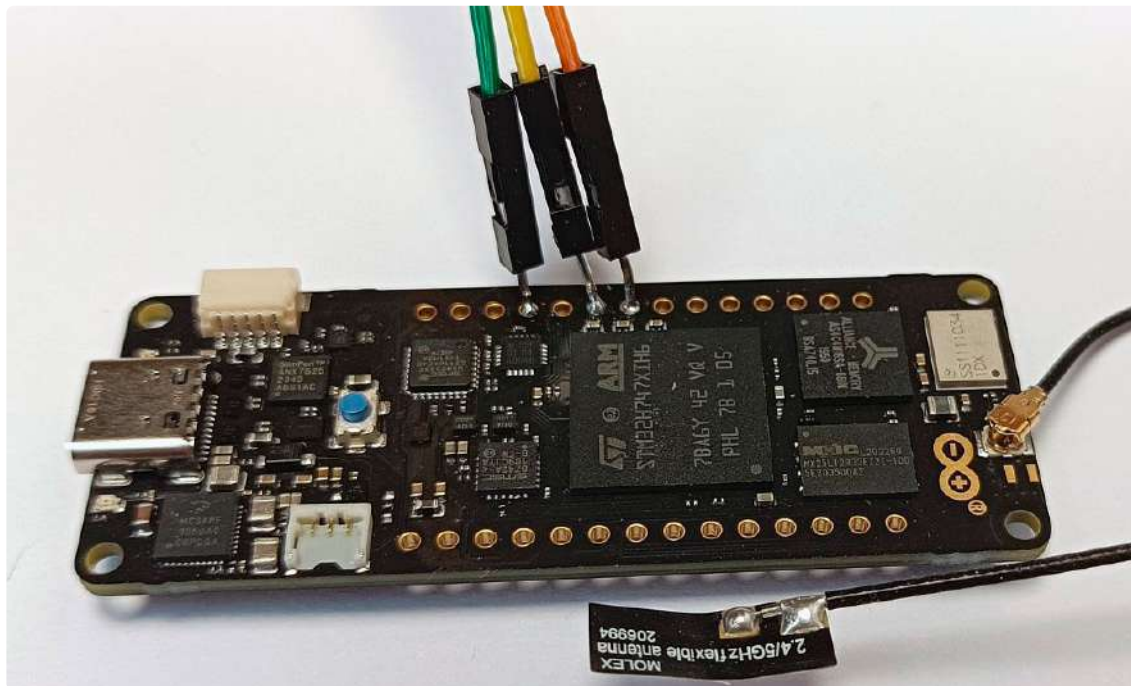


Figure 6. Reroutage des informations de débogage vers le port série sur les connecteurs d'extension.

concerne l'USB. Si le moniteur affiche un carré jaune au lieu d'une invite MS-DOS, alors ce dernier a rencontré une erreur Mbed OS. Éteindre, puis rallumer le Portenta résout généralement ce problème.

Le sketch de la machine virtuelle chargé dans l'étape 8 transmet des informations d'état et de débogage sur le port série *Serial3*, qui est disponible sur le connecteur haute densité J2. Ce port est accessible si vous disposez d'une carte d'extension Portenta, mais si vous n'en avez pas, comme moi, il est possible de dévier les données série vers un autre port. Il y en a un disponible sur les embases d'extension MKR, sur les broches D13 (RXD) et D14 (TXD), voir **figure 6**. Changez la ligne 3 du sketch *Portenta\_x86\_VM\_final* pour y parvenir :

```
// UART mySerial(PG_14, PG_9);
UART mySerial(PA_9, PA_10);
```

Avec un convertisseur série-USB, vous pouvez maintenant capturer facilement les données avec un programme comme Tera Term ou RealTerm (**figure 7**).

En fonction de votre clavier USB, l'affectation des touches peut être (sera ?) erronée. Un clavier QWERTY est attendu, mais d'autres types de clavier peuvent également fonctionner. Une fois que vous avez compris où se trouvent les touches, il devient un peu plus facile d'écrire. ◀

220453-04 – VF : Maxime Valens

### Des questions, des commentaires ?

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

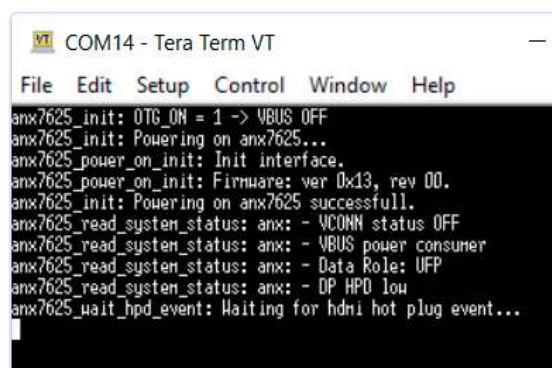


Figure 7. La machine virtuelle envoie des informations de démarrage, de débogage et d'état sur un port série.



- > Carte de développement Arduino Portenta H7 (SKU 19351)  
[www.elektor.fr/19351](http://www.elektor.fr/19351)
- > Câble USB Vers RS232 TTL Série FTDI (SKU 20173)  
[www.elektor.fr/20173](http://www.elektor.fr/20173)

### LIEN

[1] Arduino\_PortentaX86 library: [http://github.com/arduino-libraries/Arduino\\_PortentaX86](http://github.com/arduino-libraries/Arduino_PortentaX86)



# cultivez-le vous-même

une jardinière numérique d'intérieur tout-en-un



Dmitrii Albot (Moldavie)

Que diriez-vous d'un « jardin numérique » dans une petite boîte ? Pour découvrir comment réaliser une jardinière numérique dotée de capteurs et d'un  $\mu$ contrôleur pour faire pousser des plantes, lisez ce qui suit.

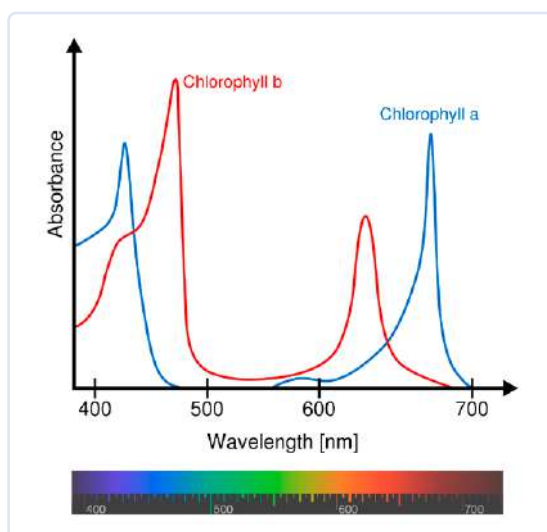


Figure 1. Spectres d'absorption de la chlorophylle a et b.  
(Source : Daniele Pugliesi.  
CC BY-SA 3.0 [9])

Mon projet s'inspire de *This computer will grow your food in the future* (À l'avenir, cet ordinateur fera pousser votre potager) [1], discours de Caleb Harper, directeur de l'*Open Agriculture Initiative* (Initiative pour une agriculture ouverte) du MIT, sur l'agriculture numérique. Le point majeur abordé dans son exposé est : « La culture en intérieur de délicieuses plantes alimentaires riches en nutriments, dans le monde entier ? » Et mon idée a pris forme !

## Objectifs et considérations

Mon souhait : construire une sorte d'incubateur qui créerait des conditions climatiques idéales pour cultiver des plantes et fournirait juste la quantité de lumière et de nutriments nécessaires. Il comportera un simulateur de lumière solaire, un système d'irrigation et un contrôleur climatique dans une enceinte élégante et moderne.

Puisque la chlorophylle des plantes ne réagit guère qu'à deux bandes de lumière autour de 450 et 650 nm (**figure 1**), l'éclairage doit associer des LED rouges et bleues pour bien soutenir la croissance des plantes et leur floraison.

Je voulais utiliser un procédé d'arrosage récent appelé *Aeroponics* ou *Fogponics* [2], qui utilise un atomiseur à ultrasons pour produire un brouillard infusé d'engrais d'arrosage des plantes. Ce système automatisé doit doser la bonne quantité de nutriments, juste quand c'est nécessaire.

Par conséquent, il faut des capteurs de pH et de total de solides dissouts (en anglais *TDS Total Dissolved Solids*) afin d'obtenir dans le réservoir d'eau le pH idéal pour les plantes, respectivement de doser les nutriments. En outre, un bouton de commande relié au système doit piloter le changement automatique de l'eau.

Il faut aussi un système de contrôle précis de la température et de l'humidité de l'air ambiant de l'enceinte à 1 °C, respectivement 1 % près. Un capteur de température/humidité, par ex. DHT22 ou DHT11 et un ventilateur asservi adéquat y pourvoiront.

Enfin, et ce n'est pas le moins important, je dois contrôler et surveiller le système via une appli mobile. Ce sera la 1<sup>ère</sup> fois de ma vie que je tenterai d'en développer une ! L'appli doit fournir les données (pH, température, humidité, nutriments, etc.) en temps réel ainsi qu'un graphique temporel pour produire des statistiques et partager les données de croissance via les médias sociaux. J'aimerais bien mettre en place des alertes intelligentes pour me signaler si je dois intervenir. Outre l'affichage des mesures, le système doit aussi permettre le réglage de ses paramètres.

Vous pouvez l'imaginer, je ne suis pas le premier à avoir une telle idée, et on obtient souvent de bons résultats en améliorant ce qui existe déjà. On trouve divers projets similaires sur le marché, mais, malgré tous leurs avantages, ils ont certains inconvénients : par ex., ils occupent trop d'espace, sont trop petits, trop chers, ou ils sont conçus pour un seul végétal, etc. En tout cas, j'ai voulu un système avancé, original, à code source ouvert, qui présente peu d'inconvénients et ne met en œuvre que des fonctionnalités optimisées. Cela semble très ambitieux, et ça l'est. Remarque corollaire : le projet est très vaste et dépasse largement le cadre d'un article d'Elektor. veuillez vous référer à la page web du projet [3]. Vous y trouverez des informations de base et de détail ainsi que des instructions de montage complètes.

## Expériences

Les plantes croissent lentement ! Il leur faut des semaines, voire des mois, pour pousser - vous devez en être conscient. Même si le concept de base est clair, il faut faire quelques expériences préalables pour voir si tout peut réussir comme prévu et quels ajustements à la réalité sont nécessaires. Je voulais d'abord savoir si cultiver des plantes sous un brouillard enrichi en nutriments et un éclairage LED marche mieux qu'un système classique avec sol irrigué et lumière solaire naturelle. En théorie, cela doit être le cas, mais il faut s'en assurer par des essais ! Pour ceux-ci, j'ai divisé les plantes en quatre groupes :

- Sol + lumière solaire : culture en conditions naturelles, en terre et placée sur le rebord de la fenêtre.

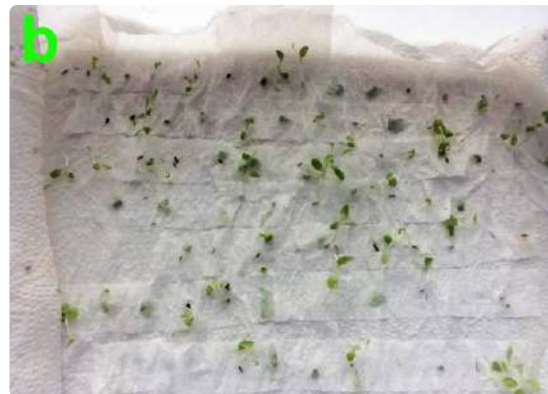


Figure 2. Les premières graines germent.



Figure 3. Semis de 7 jours repiqués dans un autre substrat (a) et après 7 jours de plus (b).



- Brouillard + lumière solaire : culture dans un récipient sous brouillard riche en nutriments et placé sur le même rebord de fenêtre.
- Sol + lumière LED : culture en terre, mais avec une lumière LED au lieu de la lumière solaire.
- Brouillard + lumière LED : ce système est censé être le meilleur car il associe les deux principales caractéristiques du système proposé.

Au rayon plantes d'un supermarché local (chaîne allemande Kaufland), j'ai acheté des graines de laitue mélangées pour en faire mes « cobayes ». Soyez indulgent avec moi car c'était ma première tentative de semis et de culture. Mes recherches préalables m'ont appris qu'il fallait d'abord laisser germer les graines. J'ai donc pris un récipient en plastique recouvert de papier absorbant et y ai placé les graines. À ce stade, elles ont besoin d'une humidité de presque 100 %, j'ai donc pulvérisé de l'eau sur le papier et recouvert le tout d'un sac en plastique pour que l'eau ne s'évapore pas (figure 2a). Je n'y ai pas touché pendant 10 jours, mais

quelle surprise quand j'ai ouvert le récipient : presque toutes les graines avaient germé (figure 2b) ! J'étais aussi heureux qu'un enfant.

Ensuite, j'ai dû sélectionner les meilleures plantules (les plus grandes, avec la tige la plus épaisse). Un tutoriel YouTube recommandait de repiquer les plantules dans un autre substrat jusqu'à la formation des « secondes feuilles ». J'ai commandé des granulés de cocotier sur Amazon. Ils ont des propriétés similaires à celles de la terre, cerise sur le gâteau, leur volume est multiplié par 6 quand on les arrose. J'ai aussi commandé une boîte cloisonnée conçue pour la culture. Elle ne m'a coûté que 2 €, et j'ai pu tout organiser au mieux. J'ai placé des poches de granulés de cocotier dans les compartiments de la boîte et les ai arrosées jusqu'à hydratation complète, j'ai placé les plantules au milieu et ai recouvert la boîte du plastique transparent, fourni avec le kit de la boîte. Ma serre expérimentale ressemblait à la figure 3a. J'ai fermé la boîte et ai attendu une semaine. Nouvelle surprise à l'ouverture : tout avait vraiment poussé. La figure 3 b prouve qu'après une semaine, la différence est notable !

Figure 4. Godets ajourés imprimés en 3D (a) et système d'essai monté (b).





Figure 5. Essai suivant avec un autre substrat (a). Un seul type de graine a germé (b).

Je peux maintenant les mettre en terre avec des billes d'argile et expérimenter le brouillard !

Pendant un cours de CAO, j'avais conçu des godets ajourés dans lesquels j'ai inséré les plantes (**figure 4a**). J'ai aussi acheté un récipient en plastique de la taille voulue et y ai dessiné les trous à percer. Sur la **figure 4b** et dans ma vidéo YouTube [4], vous verrez mon système d'essai assemblé, avec les plantes dans les granulés de cocotier, les billes d'argile et la terre.

Les résultats auraient dû être meilleurs ! Seules quelques plantes survécurent à la brumisation. Je soupçonne que cela vient soit du milieu de croissance, soit du brouillard, insuffisant pour maintenir l'humidité voulue des boules d'argile et du sol. En outre, je n'ai rien pu faire pendant les vacances de Pâques car le labo était fermé. Résultat : toutes mes plantules moururent !

Après cet échec, je décidai de tester un système utilisant la laine de roche comme milieu de culture alternatif (**figure 5a**). Au bout d'une semaine, j'ai ouvert ma boîte (**figure 5b**) et constaté qu'un seul type de graines avait germé. Pour gagner du temps, je n'ai continué qu'avec les graines germées. Entretemps, j'installai un autre système de nébulisation et essayai d'optimiser le temps de fonctionnement pour voir si les graines germaient en **n'utilisant que** la nébulisation ! Je continue à expérimenter avec divers paramètres et conditions pour voir jusqu'où je peux aller.

### Conception électronique

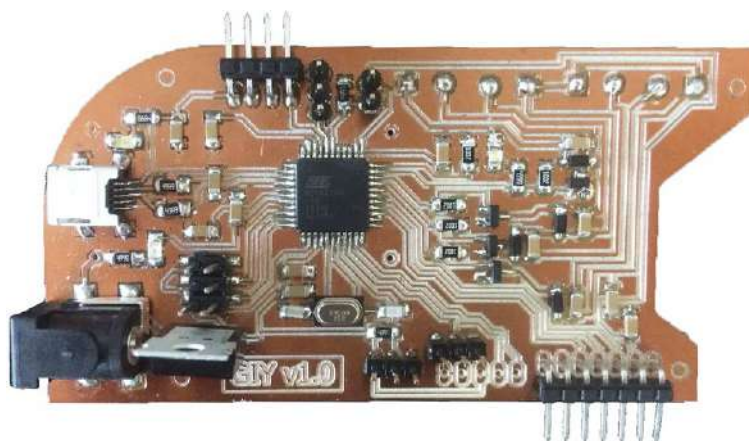
En deux mots : pour la carte, je souhaitais choisir entre *satshakit* [5] de *Daniele Ingrassia* et *FabLeo* [6] de *Jonathan Grinham*. La 1<sup>ère</sup> est fabable, 100 % compatible avec l'EDI Arduino et ses bibliothèques et une version améliorée et open-source de Fabkit. Elle est moins chère, mais aussi plus rapide (16 MHz) et plus facile à souder. L'EDI Arduino la reconnaît comme une Arduino Uno.

La 2<sup>e</sup>, la *FabLeo* a des caractéristiques très similaires, ainsi qu'un USB matériel. Ayant déjà de l'expérience avec

l'ATmega328P et préférant essayer autre chose, je décidai d'utiliser la FabLeo.

Pour la CAO de la carte, j'ai utilisé EAGLE. La version gratuite suffit pour ce projet. Les fichiers de conception sont téléchargeables ici [3]. Le réseau fab maintient constamment à jour la bibliothèque fab.lbr [7] que j'ai utilisée. Le circuit ainsi que la fabrication et la soudure de la carte sont disponibles en détail sur [3]. J'avais un besoin spécifique d'un convertisseur élévateur 12 à 24 V (commutable) pour alimenter la machine à brouillard à ultrasons. J'ai placé au verso de la carte un module wifi fabriqué lors de la semaine « communication et réseau » du cours que je suivais. La **figure 6** montre la carte terminée qui en résulte.

Figure 6. La carte prototype, composants soudés.



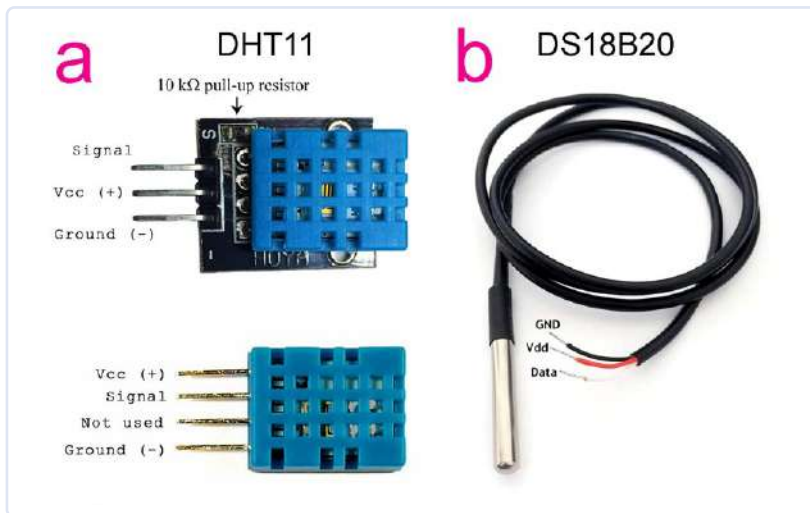


Figure 7. Les capteurs : DHT11 (a) et DS18B20 (b).

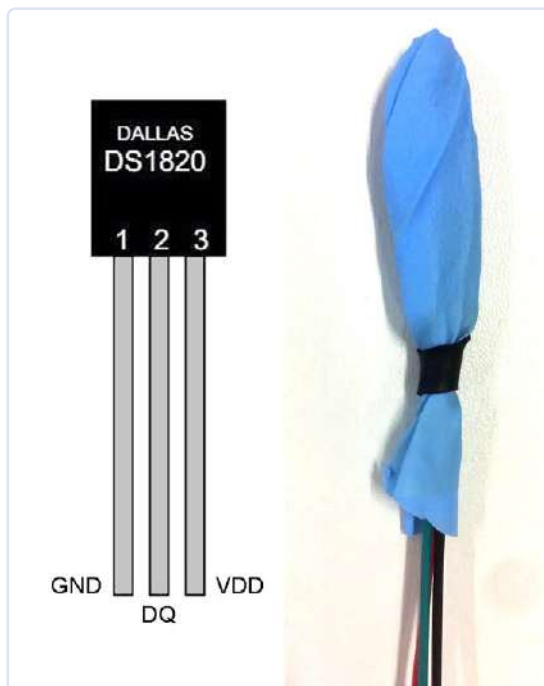


Figure 8. Isolation d'un DS18B20 bricolée avec un doigt de gant en caoutchouc.



Figure 9. Le LCD utilisé a une résolution de 128×64 pixels, seules 3 broches le relient à la carte.

## Capteurs

Pour programmer ma carte, j'ai utilisé l'EDI Arduino. Il faut la connecter au hub USB et télécharger le code [3]. Le 1<sup>er</sup> capteur connecté fut le DHT11 (**figure 7a**) pour mesurer température et humidité. Ces capteurs très simples et lents, parfaits pour les novices, facilitent l'enregistrement des données. Le DHT11 associe un capteur d'humidité capacitif et une thermistance. Il est en outre doté d'une puce très simple qui effectue une conversion A/N et transmet les données (température et humidité) sous forme numérique lisible par tout µcontrôleur. Le DS18B20 (**figure 7b**) est un capteur numérique de température à 1 fil de Maxim d'une précision de 9 à 12 bits (plage : -55 à 125 °C ±0,5 °C). Les fonctions d'exploitation de ce capteur sont disponibles dans le monde Arduino.

Étrangement, après avoir réussi à programmer les capteurs, la carte cessa de fonctionner tandis que je connectai tous les capteurs ensemble. Il m'a fallu du temps pour comprendre pourquoi cela s'était produit. Comme solution rapide, je décidai d'utiliser un DS18B20 « nu » avec une isolation bricolée avec le doigt d'un gant en caoutchouc (**figure 8**).

Le 2<sup>e</sup> capteur est une *LDR* à l'ancienne - un composant électronique passif. Sa résistance atteint environ 1 MΩ dans l'obscurité ( $\approx 0,1$  lx) et descend autour d'1 kΩ ( $\approx 100$  lx, selon le modèle). La LDR est montée en diviseur de tension avec une résistance et lu via une entrée ADC du µcontrôleur.

En 3<sup>e</sup> lieu il faut mesurer le niveau d'eau. Je voulais un capteur qui déclenche une alarme si le réservoir d'eau est vide et qu'il est temps de refaire le plein. Je l'ai tout bonnement construit. Il repose sur le principe de la mesure de la conductivité électrique entre deux électrodes, comme pour un capteur d'humidité du sol. J'ai trouvé comment





calibrer le capteur pour qu'il réponde à mes besoins. J'y réussis après quelques essais.

### Connexion LCD

Le système nécessite un écran. Mon LCD utilisait trop de broches pour ma carte. J'ai donc dû trouver un moyen de connecter l'écran 128×64 différemment. Finalement je n'utilise que 3 broches numériques, laissant le reste des broches disponibles pour d'autres usages. Il y a un 2<sup>e</sup> avantage : moins de fils pour relier toutes les parties, le câblage est plus clair. La **figure 9** montre l'écran utilisé.

### Le 4<sup>e</sup> capteur : pH

C'est le capteur le plus difficile que j'ai eu à traiter. Les données sur le « pH Sensor v1.1 » sont insuffisantes (**figure 10**). Je décidai de l'explorer moi-même. Placée en milieu aqueux, cette sonde se comporte comme une (minuscule) batterie. Selon le pH, elle envoie une tension positive ou négative de quelques mV. J'ai donc dû utiliser un AOP pour transposer ce faible signal sur une gamme de 0...5 V gérable par une carte Arduino. Le processus d'étalonnage de ce capteur est décrit en détail ici [3].

### MOSFET

Dans mon système, je dois alimenter les rubans à LED

RGB et le nébuleuse à ultrasons. Je les ai connectés via des MOSFET contrôlés par des broches numériques. La **figure 11** montre la partie sorties MOSFET du circuit.

Figure 10. Le « pH Sensor v1.1 » est compliqué à étalonner. (Source : [10])

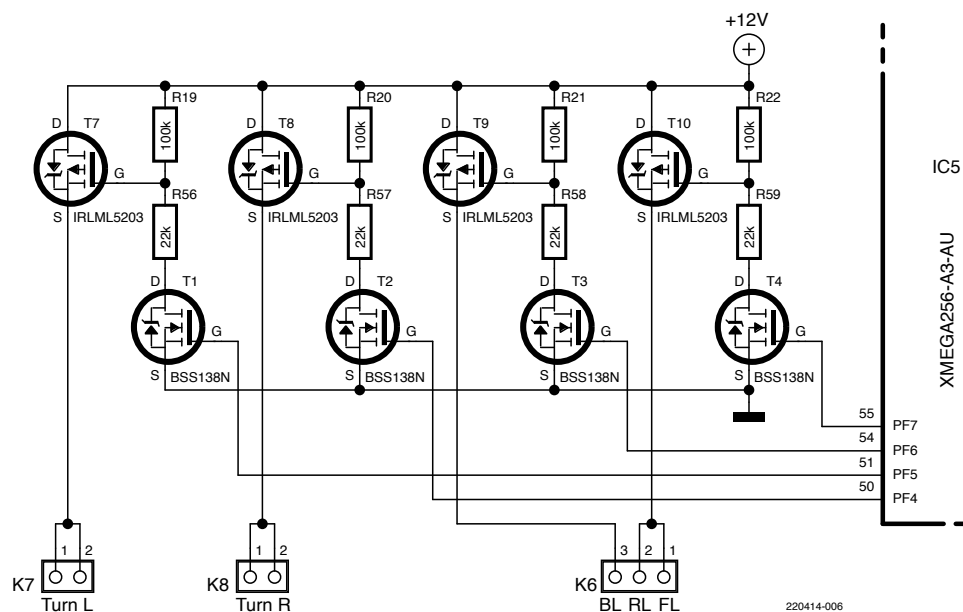


Figure 11. Gros plan sur les étages de sortie MOSFET (CAO EAGLE).



Figure 12. Réalisation complète du boîtier et du réservoir d'eau.

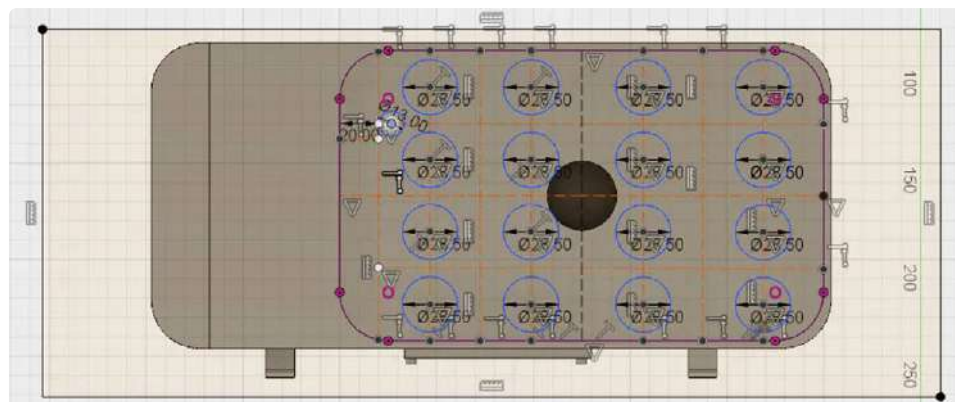


Figure 13. Plan d'alignement des trous pour les plantes.

## Design extérieur

Pour mon système final, j'ai bien utilisé les techniques de conception et d'impression 3D. Avec deux imprimantes différentes et en jouant sur les paramètres j'ai pu obtenir les résultats escomptés. Je voulais relever le défi d'un design vraiment beau. L'esthétique était tout aussi importante que la fonctionnalité. Je voulais aussi que le système puisse être assemblé, la tâche fut donc encore plus ardue. Je voulais me servir des compétences que j'avais acquises en impression 3D, fraisage CNC, découpe laser, etc.

Je fis d'abord un simple croquis sur papier, puis me plongeai dans Autodesk Fusion 360. La **figure 12** montre la jardinière complète, construite à la suite de tous ces efforts. Ma vidéo YouTube [8] montre comment cela a été imprimé en 3D. Voici quelques caractéristiques : tout d'abord, il y a assez d'espace pour les plantes, ensuite j'ai percé un trou au milieu pour le nébuliseur pour pouvoir l'équilibrer avec le réservoir. L'astuce, c'est que le niveau d'eau doit être 2 cm au-dessus du nébuliseur, pour éviter tout gaspillage. Mieux vaut donc placer le nébuliseur sous

le niveau du réservoir, et le zéro d'eau est exactement à l'endroit où il devrait être : zéro pour le réservoir = 2 cm au-dessus du nébuliseur. De cette façon, toute l'eau est consommée !

Il restait encore beaucoup à faire. J'ai imprimé en 3D les godets ajourés des plantes et découpé au laser un support adéquat (**figure 13**). Au total, j'ai découpé et percé bon nombre de plaques d'acrylique. La page [3] donne force détails, notamment sur le scellage sous vide du réservoir d'eau avec une plaque en plastique. Cette page donne d'autres liens vers des vidéos YouTube.

## Ça pousse !

La **figure 14** montre les rubans à LED utilisés. La carte à CI est dans la section électronique (**figure 15**). Pour que tout soit clair, la **figure 16** illustre la façon dont les plantules sont logées dans leur godet ajouré, le tout protégé par une plaque couvrante. Hourrah ! La **figure 17** montre le système complet en action. Magnifique !

Si ce projet vous inspire et que vous souhaitez réaliser ce système ou une version optimisée de celui-ci, vous



Figure 14. Les rubans de LED RVB utilisés.

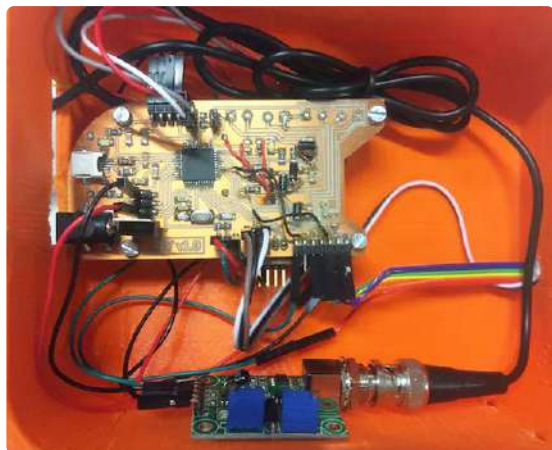


Figure 15. La carte et un capteur à placer dans l'espace « électronique ».

trouvez une mine d'informations sur la page du projet déjà mentionnée [3]. Avant tout, gardez à l'esprit que ce projet ne peut pas être réalisé en un week-end ! ◀

220414-04 - VF : Yves Georges



Figure 16. Vue latérale des plantules dans leurs godets ajourés.



Figure 17. Le système complet dans toute sa splendeur.

### À propos de l'auteur

Dmitrii Albot est diplômé de la Fab Academy et ancien coordinateur de FabLab en Jordanie. Fondateur de cityfarm ([www.cityfarm.md](http://www.cityfarm.md)), il a pour mission de diffuser en ville le savoir faire, les techniques et les entreprises de l'agritech.

### Des questions, des commentaires ?

Si vous avez des questions techniques, n'hésitez pas à écrire à l'auteur ([albot.dumitru@hsrw.org](mailto:albot.dumitru@hsrw.org)) ou à la rédaction d'Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



### Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- > **ESP-12F - module wifi ESP-12F (basé sur l'ESP8266) (SKU 17781)**  
[www.elektor.fr/17781](http://www.elektor.fr/17781)
- > **37-en-1 capteurs d'Elektor (SKU 16843)**  
[www.elektor.fr/16843](http://www.elektor.fr/16843)

### LIENS

- [1] TED Talk : Dans le futur, cet ordinateur pilotera votre potager : <http://youtu.be/KJlrd3U1Kxk>
- [2] Fogponics : <https://en.wikipedia.org/wiki/Fogponics>
- [3] Site du projet, create.arduino.cc : <https://elektor.link/arduinojiy>
- [4] Vidéo YouTube de mon système de test : <https://youtu.be/LF93Xjd8avk>
- [5] satshakit @ GitHub : <https://github.com/satshas/satshakit>
- [6] Données de la carte FabLeo : <https://elektor.link/fableoboard>
- [7] télécharger la bibliothèque fab.lbr : <https://elektor.link/fablbr>
- [8] Impression 3D des boîtes (YouTube) : [https://youtu.be/938Yz\\_WegH8](https://youtu.be/938Yz_WegH8)
- [9] Licence Attribution-ShareAlike 3.0 : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>
- [10] La sonde pH v1.1 : <https://elektor.link/phsensor11pic>







# sauver la planète avec la domotique ?

## MQTT sur l'Arduino Nano RP2040 Connect

Clemens Valens (Elektor Lab)

Vous pouvez automatiser votre maison avec les bons composants et un peu d'ingéniosité, et ce projet basé sur l'Arduino Nano RP2040 Connect est un excellent point de départ. En prime, vous contribuerez peut-être à sauver la planète.

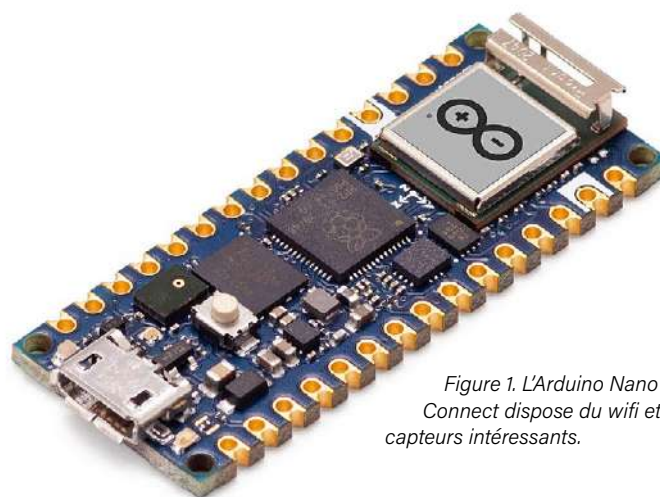


Figure 1. L'Arduino Nano RP2040 Connect dispose du wifi et de quelques capteurs intéressants.

Aujourd'hui, l'environnement semble être la préoccupation numéro un de nombreuses personnes. Notre planète est grande, et, s'il existe de nombreux pollueurs sur lesquels vous n'avez aucun contrôle, il y a un endroit où vous pouvez faire la différence : votre habitation. Son automatisation peut la rendre plus économe en énergie et contribuer ainsi à préserver la planète. Voici de quoi commencer.

La domotique s'applique généralement aux domaines suivants :

- Climatisation
- Éclairage
- Gestion de l'énergie
- Contrôle d'accès
- Utilisation de l'eau

Les trois premiers concernent tous les économies d'énergie, ce qui est fait en contrôlant la température et l'humidité dans le bâtiment par chauffage, refroidissement, ventilation et stores, et en coupant l'alimentation des éclairages, des appareils et des machines lorsqu'ils ne sont pas nécessaires. Le contrôle de l'eau est également utile, sauf s'il s'agit d'arroser la pelouse, ce qui est toujours un gaspillage.

### Nous avons besoin de capteurs

Le contrôle de paramètres, tels que la température d'une pièce ou la consommation de courant d'une machine, nécessite des capteurs et des actionneurs. Dans cet article, je vais présenter une sorte de dispositif universel qui lit les capteurs et transmet les données acquises à un contrôleur domotique en utilisant MQTT. Les actionneurs qui agissent directement sur des moteurs, des pompes, des relais et des éclairages, etc. ne sont pas abordés ici.

Pour ceux qui ne sont pas des familiers de la domotique, un contrôleur est le cœur d'un système domotique qui fournit l'intégration de tous les appareils en un système, y compris vous et les autres utilisateurs (si vous acceptez d'être considéré comme un appareil vivant). MQTT est un protocole de gestion d'échange de données qui est devenu assez populaire dans l'IdO et l'automatisation.

### L'Arduino Nano RP2040 Connect

Le dispositif de capteurs décrit ici est basé sur une carte Arduino Nano RP2040 Connect (**figure 1**) qui comporte un gyroscope à 3 axes, un accéléromètre à 3 axes et un microphone. L'usage de tels capteurs peut

sembler étrange dans le cadre d'un système domotique, mais ils peuvent être utiles. (De plus, cela change des projets habituels de température-humidité).

Par exemple, lorsqu'il est monté sur une porte ou une fenêtre, le gyroscope peut détecter ses mouvements, les entrées et sorties prévues ou imprévues, ou signaler une fenêtre laissée ouverte. Les accéléromètres ont de nombreuses applications dans la détection des vibrations (le moteur du congélateur fonctionne-t-il en permanence ?) et un microphone peut détecter des sons là où il ne devrait pas y en avoir (robinet qui coule) ou remarquer un changement de bruit de fond ou de fréquence (moteur hors contrôle ?). Mais si votre projet n'en a pas l'utilité, le *framework* est facile à adapter à d'autres capteurs.

L'Arduino Nano RP2040 Connect possède une connectivité wifi grâce à son module sans fil NINA (un ESP32 déguisé) et nous allons l'utiliser pour nous connecter au réseau Wi-Fi de la maison. Dans mon cas, le contrôleur domotique est Home Assistant (HA) [1] tournant sur une carte Raspberry Pi 3B+, mais tout autre contrôleur capable de gérer le protocole MQTT peut également faire l'affaire (ce qui est le cas d'environ 99 % d'entre eux). Le contrôleur se connecte également au

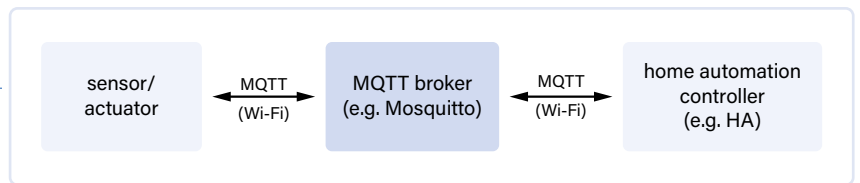


Figure 2. Une vue d'ensemble de haut niveau du système domotique basé sur MQTT présenté dans cet article.

réseau wifi. La **figure 2** donne un aperçu de haut niveau du système.

## Préliminaires et exigences

Parce qu'il est urgent de sauver la planète, nous n'allons pas nous perdre ici dans toutes sortes de détails techniques sur la carte Arduino – nous allons passer directement aux choses sérieuses.

Si vous ne disposez pas encore d'un contrôleur domotique, commencez par en installer et en configurer un. C'est plus facile à dire qu'à faire. Pour plus de détails, voir par exemple [1]. N'oubliez pas que le contrôleur a besoin de capacités MQTT, pour lesquelles il peut avoir besoin d'un complément. Si, comme moi, vous utilisez HA comme contrôleur, vous pouvez installer l'intégration Mosquitto (avec deux « t ») [2], d'usage très répandu. Il s'agit d'un courtier MQTT, un logiciel qui gère des échanges de messages, par exemple entre la carte Arduino et HA.

## Préparation de l'EDI Arduino

Lorsque vous avez un contrôleur domotique fonctionnel avec des capacités MQTT, vous pouvez passer à la configuration de l'environnement de développement Arduino :

1. Installez l'EDI Arduino sur votre PC. Il en existe de nombreuses versions ; j'ai utilisé la 1.8.19.
2. En utilisant le gestionnaire de cartes de l'EDI Arduino (*Outils → Type de carte Gestionnaire de cartes...*) installez le paquet de cartes « *Arduino Mbed OS Nano Boards* » (j'ai utilisé la version 3.2 ; voir **figure 3**).
3. Dans l'EDI, sélectionnez la carte Arduino Nano RP2040 Connect - voir **figure 4** (*Outils → Type de carte → Arduino Mbed OS Nano Boards → Arduino Nano RP2040 Connect*).
4. En utilisant le gestionnaire de bibliothèques de l'EDI (*Outils → Gérer les bibliothèques...*), installez les bibliothèques suivantes (les versions que j'ai utilisées sont entre parenthèses) :
  - *WiFiNINA* (v1.8.13)
  - *ArduinoMqttClient* (v0.1.6)
  - *Arduino\_LSM6DSOX* (v1.1.0)
5. Téléchargez mon croquis depuis [3] et décompressez-le dans le dossier *sketchbook* de l'EDI. Notez que le croquis se compose de deux fichiers, dont l'un est nommé *arduino\_secrets.h*. Entrez vos informations d'accès réseau dans ce fichier.

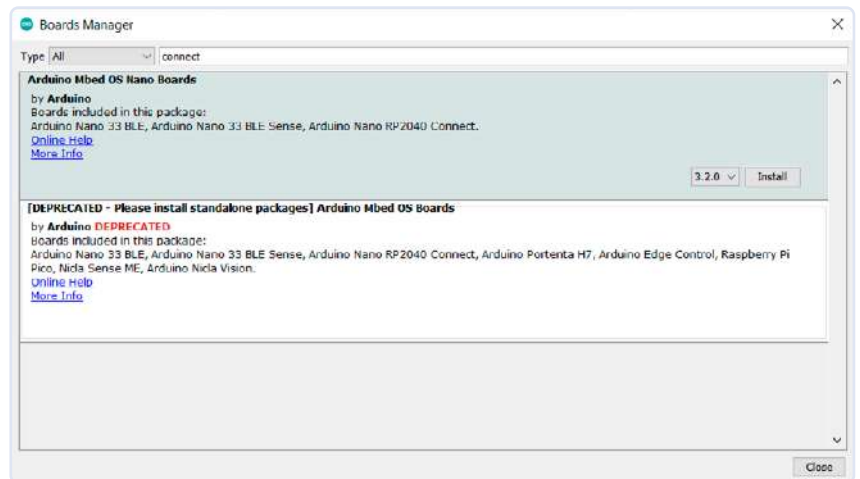


Figure 3. Utilisez le gestionnaire de cartes de l'EDI pour installer le support pour l'Arduino Nano RP2040 Connect.

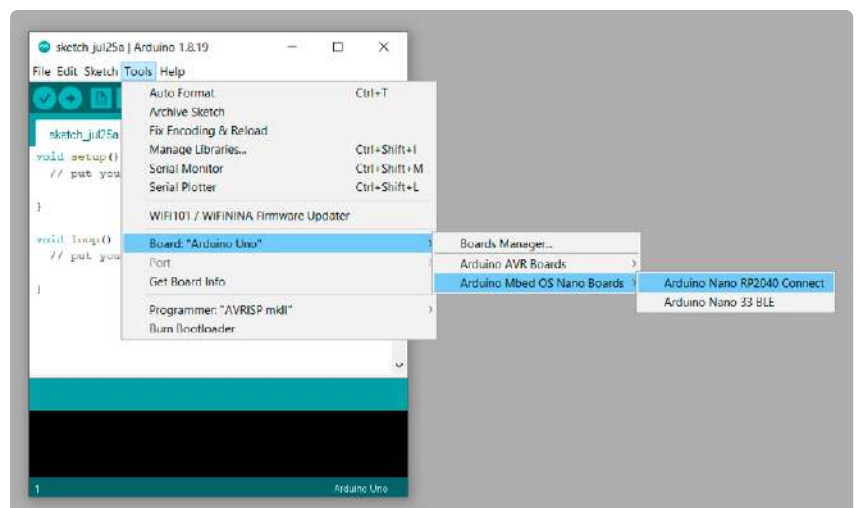


Figure 4. Avant d'essayer de télécharger quoi que ce soit sur la carte, assurez-vous de sélectionner la bonne carte (et son port série !).

## Configuration du programme

Avant de pouvoir compiler mon croquis, vous devez collecter quelques informations auprès de votre courtier MQTT. Dans HA, le broker *Mosquitto* vous demande de définir un utilisateur et un mot de passe; sans quoi, aucun trafic MQTT ne passera. Saisissez les informations d'identification MQTT dans le fichier *arduino\_secrets.h* en tant que *SECRET\_MQTT\_USER* et *SECRET\_MQTT\_PASSWORD*. Entrez également le SSID et la phrase de passe de votre réseau wifi dans ce fichier.

Dans le fichier principal du croquis (ligne 37 au moment de la rédaction), saisissez l'adresse IP du courtier MQTT. Dans HA, il s'agit simplement de l'adresse IP de HA, que vous pouvez

trouver dans *Settings → System Network* (c'est là qu'elle se trouvait dans HA Core v2022.8.6 avec HA OS v8.4) :

```
const char broker[] =
  'xxx.xxx.xxx.xxx';
```

Si, pour une raison quelconque, vous avez modifié le port MQTT par défaut, vous devrez également modifier la ligne suivante :

```
int port = 1883;
```

Une fois le croquis configuré correctement, vous pouvez le compiler et télécharger l'exécutable sur la carte Arduino Nano RP2040 Connect. Il ne devrait pas y avoir d'avertissement ou d'erreur, même si le compila-

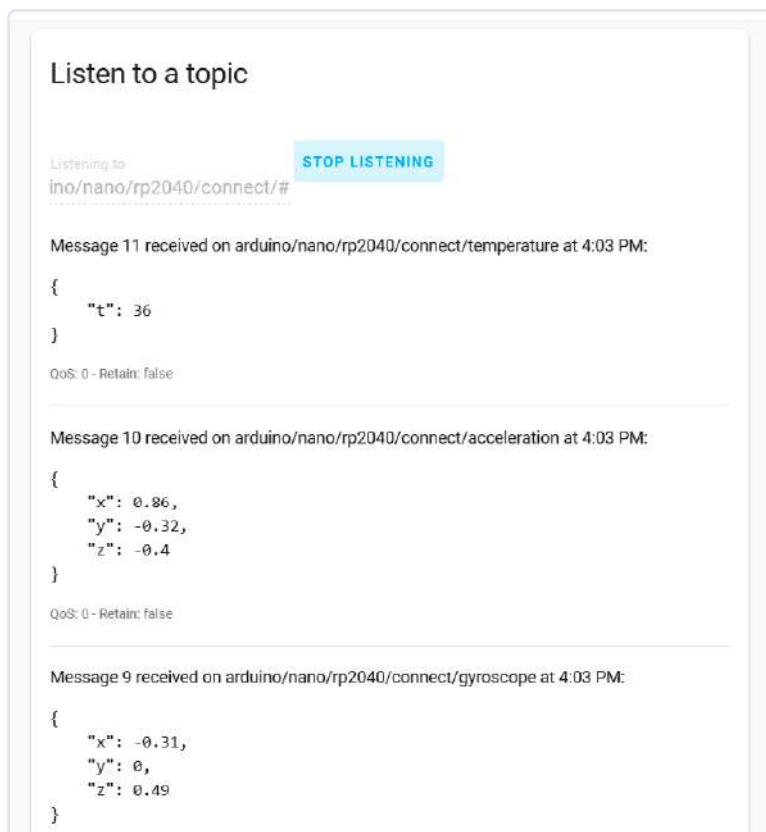


Figure 5. Réception de messages MQTT avec Mosquitto dans Home Assistant.

teur est réglé sur « sortie verbeuse » et que tous les avertissements sont activés dans l'EDI Arduino (*Fichier → Préférences → Paramètres → Avertissement du compilateur → Tout*).

## Essayez-le

En supposant que tout se soit bien passé et que vous n'ayez pas fait d'erreur lors de la saisie des mots de passe, etc., la carte devrait maintenant se connecter au réseau wifi et commencer à envoyer des messages MQTT à un rythme de 0,1 Hz (c'est-à-dire toutes les 10 secondes). La LED RVB de la carte clignote à chaque fois qu'un message est envoyé. Si la LED ne clignote pas ou reste allumée, quelque chose ne fonctionne pas. Le rouge indique l'absence de connexion réseau et le bleu un problème de capteur.

Le contrôleur domotique doit recevoir les messages MQTT. Dans HA avec le module complémentaire Mosquitto, cliquez sur « Configurer » sur la carte d'intégration du courtier Mosquitto, et faites défiler vers le bas jusqu'à « Listen to a topic ». Entrez `arduino/nano/rp2040/connect/#` et cliquez sur « Start listening. ». Des messages devraient s'afficher à raison d'un toutes les dix secondes (figure 5).

Mon croquis envoie les données de gyroscope et d'accélération toutes les dix secondes, ainsi que la température (Surprise ! C'est que la puce IMU LSM6DSOX possède un capteur

de température intégré). Le plus souvent, la valeur de la température sera plus élevée que la température ambiante, car le capteur est chauffé par le module wifi de la carte.

Lorsque le microphone entend un son fort, il envoie un message. Frappez dans vos mains pour l'essayer. (N'oubliez pas qu'il peut y avoir jusqu'à dix secondes de latence).

Si vous saisissez dans « Publier un paquet » `arduino/nano/rp2040/connect/incoming/xxx`

avec `xxx` (le « sujet ») remplacé par un mot ou un nombre, puis cliquez sur **Publier**, vous devriez le voir apparaître sur le moniteur série de l'EDI Arduino. Vous pouvez éventuellement ajouter une charge utile (n'importe quoi fera l'affaire).

## Que faire à partir de maintenant ?

A partir de maintenant vous êtes livré à vous-même. Il y a plusieurs options :

- Ajouter des routines de traitement de données et de signaux au logiciel du capteur pour qu'il n'envoie des messages que si certains événements sont détectés.
- Ajouter des capteurs différents ou supplémentaires.
- Ajouter des règles d'automatisation au contrôleur domotique pour qu'il réponde de manière utile aux messages reçus.
- Tout ce qui précède.

e. Ne pas faire de domotique (voir l'encadré).

Pour vous aider à démarrer avec les options « a » et « b », je vais vous expliquer brièvement le fonctionnement du croquis. Pour l'option « c », veuillez vous référer à la documentation du contrôleur domotique.

## Fonctionnement du croquis

Le croquis commence par définir certaines choses comme les détails du réseau, mais aussi les sujets MQTT qui seront utilisés. Tous les messages envoyés par notre appareil commencent par

`arduino/nano/rp2040/connect/`

En outre, l'appareil n'écoute que les messages qui commencent par ce préfixe. C'est un long préfixe, mais il est idéal pour le débogage.

Le préfixe est suivi d'un « sujet » qui peut être n'importe quoi. La seule chose importante ici est que le courtier ou la destination MQTT doit écouter le même sujet, sinon les messages seront simplement ignorés. Une bonne pratique consiste à utiliser des sujets significatifs. Il peut y avoir autant de sujets que vous le souhaitez, et leur longueur peut être (presque) illimitée.

## Traitement du son

Les capteurs sont lus avec des fonctions d'aide qui ont des noms significatifs, sauf pour le microphone, qui est appelé *PDM* (c'est un microphone numérique). Autre différence par rapport aux autres capteurs, le microphone fonctionne dans une sorte de fil en arrière-plan qui envoie continuellement des échantillons audio dans un tampon. Les autres capteurs sont interrogés par la boucle principale toutes les dix secondes. Une dernière différence entre les données audio et les autres est que les échantillons audio sont filtrés par un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure de 10 Hz pour qu'il ne réponde qu'aux signaux à basse fréquence (boums et fracas). Quand un tel son est détecté, un message est envoyé avec le sujet `microphone/alarm` (plus le préfixe, bien sûr). Les données des autres capteurs sont transmises sans aucun filtrage.

## Sujets MQTT

Les quelques fonctions d'aide pour compo-



## Ne vous lancez pas là-dedans à la maison

Bien sûr, la technologie peut vous aider à économiser de l'énergie à la maison et au bureau, mais elle a un coût qui peut l'emporter sur son gain potentiel. Le projet décrit dans cet article utilise une petite carte Arduino RP2040 Nano Connect qui communique par wifi avec un Raspberry Pi exécutant Home Assistant. Tous ces appareils, y compris le routeur wifi, consomment continuellement de l'énergie car ils sont allumés en permanence. Vous pouvez en estimer le coût en épluchant votre facture d'électricité : il est appréciable et à votre charge. Mais il existe aussi des coûts cachés qu'on oublie facilement : les ressources consommées pour fabriquer tout ce que vous utilisez.

Je n'ai aucune idée de l'empreinte carbone de la production d'une carte Arduino ou Raspberry Pi, mais elle n'est évidemment pas nulle (n'oubliez pas d'inclure celle des composants). De même, le logiciel utilisé par notre système, y compris notre propre petit croquis, a été développé sur de nombreux ordinateurs dans le monde entier et stocké sur des serveurs dans le nuage. Comme notre petit système, cet énorme écosystème consomme (beaucoup) d'énergie pour rester en ligne. Et n'oubliez pas les ressources utilisées pour assembler et fabriquer le tout. Bien sûr, ces coûts

sont partagés par de nombreux utilisateurs, mais il faut en tenir compte.

Où avez-vous acheté le matériel de votre système ? Il y a de fortes chances qu'une partie au moins ait été commandée en ligne. Quel que soit l'endroit où vous l'avez acheté, il a été transporté de quelque part sur la planète jusqu'à chez vous, consommant là encore de précieuses ressources.

Enfin, la technologie ne cessant de progresser, notre système domotique sera bientôt obsolète et devra être mis à niveau ou éliminé, ce qui ajoutera une fois de plus de nombreux coûts cachés.

Ainsi, vous économiserez peut-être un peu d'énergie chez vous, mais pour y parvenir, vous en aurez sans doute dépensé beaucoup plus que ce que ça vous rapportera. Il est donc préférable pour la planète de ne pas essayer d'économiser de l'énergie en faisant des trucs astucieux de domotique. Prendre l'habitude d'allumer et d'éteindre les lumières soi-même est plus efficace et vous oblige à marcher un peu, ce qui est bon pour la forme. Pour sauver la planète, rien de mieux que le bon vieux bon sens.

ser les messages MQTT sortants sont assez explicites. Une chose à savoir est que l'interface d'impression de `MqttClient.print` ne s'applique qu'à la partie charge utile d'un message – le sujet doit être assemblé d'une autre manière.

Tous les messages MQTT entrants qui commencent par le préfixe

`arduino/nano/rp2040/connect/incoming/`

sont acceptés. Ceci est géré par la bibliothèque `MqttClient` qui appelle la fonction `mqtt_message_receive` lorsque toutes les conditions de réception sont remplies. Par défaut, le croquis s'abonne au sujet générique « # », ce qui signifie que tous les sujets sont valides. Vous pouvez changer cela en le remplaçant par des sujets plus spécifiques. Vous pouvez, bien sûr, vous abonner à plusieurs sujets simultanément. Les abonnements sont gérés par le courtier MQTT, et non par le croquis. C'est donc le courtier qui peut imposer des limites. La quantité de mémoire disponible pour le croquis n'a pas


de réelle influence.

## Un peu de JSON

Les données du capteur sont ajoutées comme charge utile aux sujets. J'ai utilisé un formatage de type JSON pour cela, mais manuellement, sans l'aide d'une bibliothèque JSON spéciale. L'avantage de JSON est qu'il est compris par beaucoup d'autres programmes, ce qui rend son analyse beaucoup plus facile.

## Conclusion

Voilà, c'est tout pour le moment. Même si j'ai fait de mon mieux pour que les choses restent simples et claires, il y a de fortes chances que vous rencontriez des problèmes à un moment ou à un autre. Le sujet est plus complexe que ce que cet article a pu vous laisser croire. N'hésitez pas à consulter Internet pour plus d'informations – il existe des foules de sites sur MQTT et Home Assistant (et même les deux), qui regorgent de personnes utiles, de conseils, d'astuces et de trucs. Et quand vous rencontrez des difficultés et que les choses cessent de fonctionner, revenez à la dernière

configuration où ça marchait encore. 

(220420-04) — VF : Helmut Müller

## À propos de l'auteur

Clemens Valens est le technologue créatif d'Elektor. Il est titulaire d'un BSc en électronique et d'un MSc en électronique et technologie de l'information. Clemens a commencé à travailler pour Elektor en 2008 en tant que rédacteur en chef d'Elektor France. Il produit actuellement des tutoriels d'ingénierie et des revues de produits pour Elektor TV. Clemens est également responsable du site web de la communauté Elektor Labs, où les passionnés d'électronique peuvent publier leurs travaux et interagir avec leurs pairs du monde entier.



## Produits

- **Arduino Nano RP2040 Connect avec des connecteurs**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-nano-rp2040-connect](http://www.elektormagazine.fr/arduino-nano-rp2040-connect)
- **Livre en anglais « Mastering Microcontrollers Helped by Arduino », Clemens Valens (SKU 17967)**  
[www.elektor.fr/17967](http://www.elektor.fr/17967)
- **Elektor Ultimate Sensor Kit (SKU 19104)**  
[www.elektor.fr/19104](http://www.elektor.fr/19104)

## LIENS

- [1] « la domotique, c'est facile avec... », C. Valens, Elektor Magazine 9-10/2020 : [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-156/58991](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-156/58991)
- [2] MQTT dans Home Assistant : [www.home-assistant.io/docs/mqtt/broker/](http://www.home-assistant.io/docs/mqtt/broker/)
- [3] Téléchargements pour cet article : [www.elektormagazine.fr/220420-04](http://www.elektormagazine.fr/220420-04)

# devenez professionnel avec

**Sebastian Romero (Arduino Pro Team)**

C'est en 2005 qu'Arduino a débuté comme une solution de prototypage à bas coût. Il permettait aux créateurs sans beaucoup de connaissances en électronique de réaliser des prototypes d'objets interactifs. Peu de temps après, Arduino a attiré l'attention des électroniciens, car il simplifiait considérablement leurs efforts de prototypage. Mais au-delà de la simplicité et de la facilité d'emploi, la couche d'abstraction matérielle introduite par Arduino offrait la possibilité de créer des micrologiciels portables sur différentes plates-formes. De plus, le matériel et le logiciel étant ouverts, il n'y a pas de dépendance vis-à-vis d'un fournisseur, ce que beaucoup de gens ne pouvaient ignorer.

Près de deux décennies plus tard, Arduino est devenu une plate-forme professionnelle mature avec une large gamme d'offres matérielles et logicielles pour créer des solutions intelligentes et connectées pour toutes les applications imaginables. Désormais, Arduino Pro apporte aux professionnels les connaissances et l'expérience recueillies en interne et auprès des millions de membres de la communauté au fil des ans.

Quand on utilise Arduino pour le prototypage, il faut généralement recréer un circuit équivalent sur un PCB séparé et adapter le micrologiciel pour obtenir le produit final qui sera fabriqué en série. Bien qu'il soit possible d'en récupérer certains éléments, une bonne partie du prototype devra sans doute être abandonnée. Arduino Pro est un matériel de qualité industrielle, utilisable aussi bien pour le prototypage que pour son intégration sous forme de modules dans la solution finale qui sera commercialisée.

L'utilisation d'un même micrologiciel pour le prototype et la solution finale non seulement réduit les coûts de développement, mais raccourcit aussi les délais de mise sur le marché.

## Tirer parti des connaissances

La mission d'Arduino a toujours été de permettre à tous d'innover en simplifiant l'usage des technologies complexes. Il en va de même avec Arduino Pro. L'objectif est d'aider les professionnels, comme Arduino l'a fait pour les faiseurs, les éducateurs, les créateurs et les bricoleurs. Arduino Pro peut être considéré comme un prolongement des expériences d'apprentissage que beaucoup ont eues dans leurs programmes d'éducation. Tout le savoir acquis lors de l'emploi d'Arduino dans des projets peut être mis à profit et complété par des connaissances sur les produits Arduino Pro. De nombreux développeurs qui utilisent aujourd'hui l'infrastructure Arduino Pro ont eu autrefois leur période de faiseurs où ils bricolaient leurs propres applications. Aujourd'hui, ils peuvent réutiliser ces connaissances et les appliquer dans un environnement professionnel au sein de l'industrie. Cela permet non seulement de raccourcir le délai de mise sur le marché des nouveaux produits, mais aussi de réduire au minimum la formation nécessaire pour les personnes qui passent de la gamme des produits faiseur à la gamme Pro. Cela facilite également l'embauche pour le monde de l'embarqué, car beaucoup de candidats ont déjà une expérience Arduino.

En disposant d'une couche d'abstraction fournie par l'API Arduino [1], vous pouvez éviter la dépendance d'un fournisseur, car votre logiciel peut être facilement porté sur différentes cibles et même sur des plates-formes tierces. Toutes les connaissances acquises sont réutilisables pour ces cibles et ces applications.

Et si vous ne trouvez pas de solution pour votre cas particulier, le savoir collectif des plus de 30 millions de membres de la communauté Arduino est à votre disposition. Si cela ne suffit pas, Arduino dispose de sa propre équipe de soutien du client qui vous aidera à résoudre vos problèmes et à mettre votre projet sur rails.

## Matériel de qualité industrielle

Arduino Pro fournit une variété de solutions matérielles pour toutes sortes de cas d'utilisation. Parmi les marchés cibles, mentionnons :

- Les machines et les processus de fabrication
- L'agriculture, le bâtiment, les travaux publics
- L'automatisation et la sécurité des bâtiments par objets connectés
- Les systèmes de suivi
- Les objets portables et mobiles légers
- Le prototype

Pour mettre en œuvre de telles solutions, Arduino Pro fournit des produits pour les professionnels, certifiés sous divers labels et conformes aux normes industrielles en matière de résistance à la chaleur et aux vibrations. Ces produits sont utilisables dans des situations complexes aux exigences techniques élevées, comme un déploiement in situ. Grâce à ces qualités, ils sont intégrables dans des solutions finales destinées à être vendues sur le marché. Des exemples de produits du monde réel sont présentés dans les **figures 1 et 2**.

Les environnements de développement professionnels auxquels Arduino donne accès vont au-delà du développement du logiciel. Avec des outils de débogage professionnels comme TRACE32 GDB de Lauterbach, vous pouvez trouver des bogues dans des scénarios d'applications complexes. C'est l'assurance d'un produit robuste



et stable une fois déployé sur le terrain.

Le matériel Arduino Pro est extensible, c'est-à-dire qu'il est possible de combiner différents produits pour obtenir davantage de fonctionnalité. Et si cela ne suffit pas, leur compatibilité avec le matériel de la gamme de produits faiseur Arduino permet d'étendre encore les capacités. Arduino s'est associé à des partenaires tels que Edge Impulse [2], OpenMV [3] et The Things Industries [4] pour donner à leurs utilisateurs l'accès à des technologies de pointe pour exécuter des modèles d'apprentissage machine, réaliser la vision artificielle ou se connecter au nuage via LoRaWAN.

L'intégration avec Edge Impulse Studio permet de soumettre très facilement des modèles d'apprentissage machine à un entraînement (**figure 3 et 4**) pour classer efficacement des images, trouver et compter des

Figure 1. Une solution fiable, basée sur Arduino et utilisant LoRaWAN pour détecter l'occupation des parkings, développée par Bosch. (Source : Bosch)



Figure 2. Four intelligent réalisé par Rinaldi Superforni à l'aide de l'Arduino Portenta Machine Control. (Source : Rinaldi Superforni)



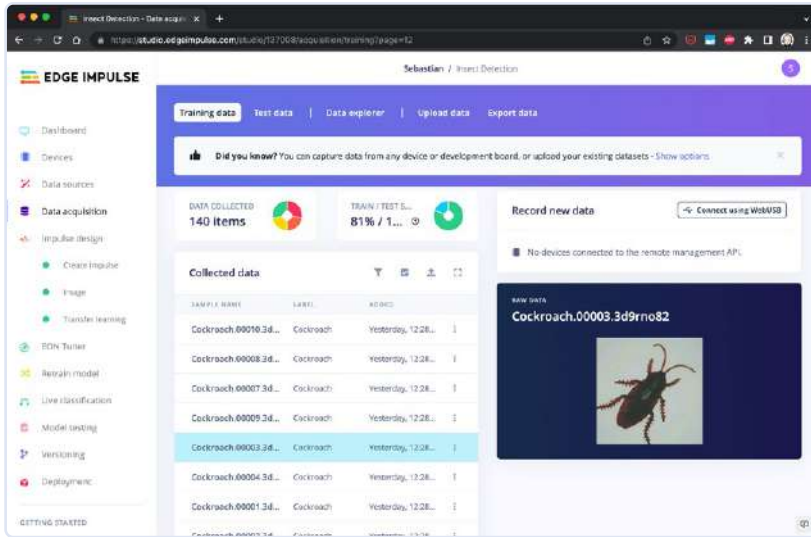


Figure 3. Acquisition de données dans Edge Impulse Studio pour la détection d'insectes.

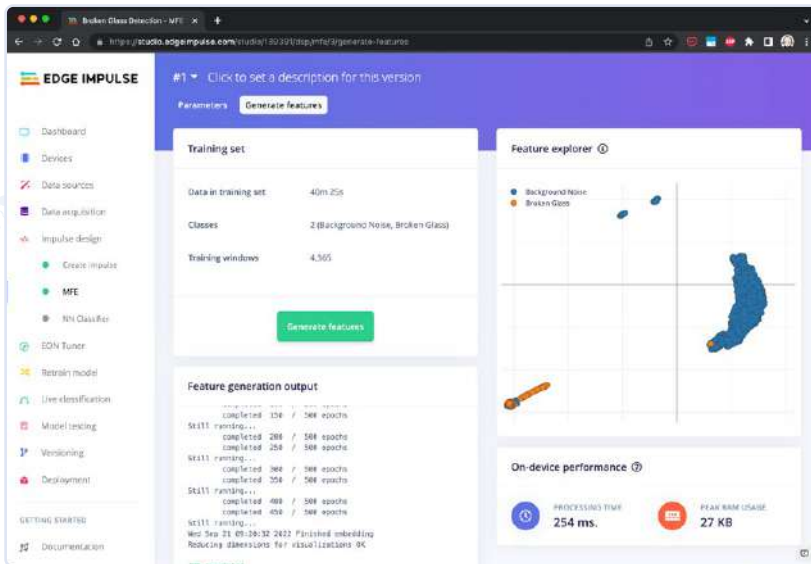


Figure 4. Génération de caractéristiques dans Edge Impulse Studio pour détecter le son du verre brisé.

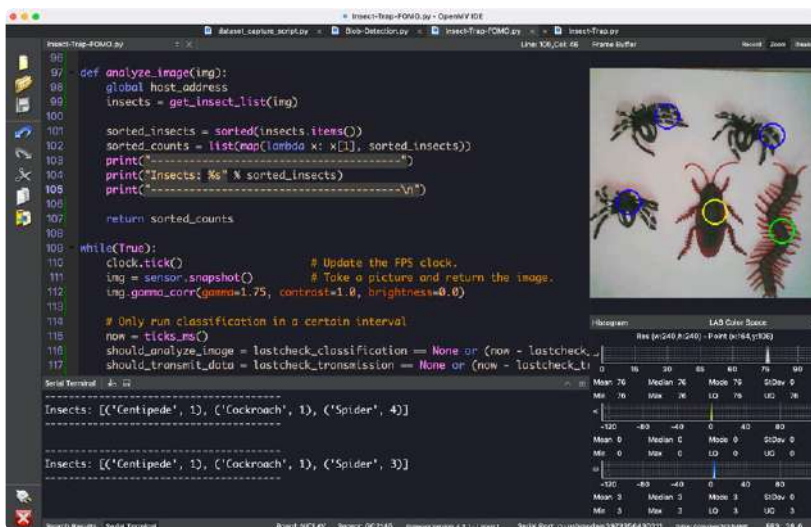


Figure 5. Détection d'insectes avec une carte Arduino Nicla Vision dans OpenMV à l'aide de TensorFlow Lite.

objets dans des images (figure 5), analyser des données de capteurs de vibrations pour faire de la maintenance préventive, ou utiliser les données de capteurs inertiels pour comprendre les mouvements et les gestes, et bien d'autres utilisations.

De nombreuses cartes Arduino possèdent plusieurs capteurs (figure 6 et 7). En combinant leurs données, il est possible d'améliorer la précision des classifications, l'appréhension de l'environnement et l'évaluation de ce qui se passe au voisinage des capteurs. Avec le matériel Arduino Pro, vous pouvez exécuter ces modèles d'apprentissage automatique très efficacement à une fréquence élevée.

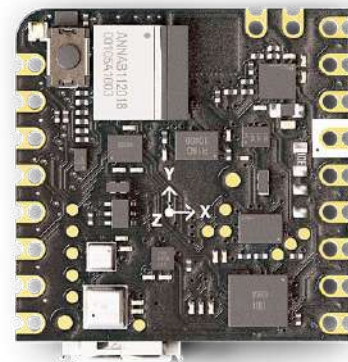


Figure 6. Arduino Nicla Sense ME avec des capteurs embarqués pour mesurer la rotation, l'accélération, la pression, l'humidité, la température, la qualité de l'air et les niveaux de CO<sub>2</sub>.

L'intégration des produits Arduino dans la plate-forme OpenMV vous permet d'exécuter efficacement des algorithmes de vision artificielle sur du matériel Arduino. Vous pouvez détecter des objets dans des images et déterminer leurs propriétés telles que la forme, la couleur, l'orientation, la distance et bien d'autres encore. En combinaison avec l'apprentissage automatique, cela permet d'obtenir une compréhension encore plus approfondie du type d'objets présents dans une image et de leur relation les uns avec les autres. Il est même possible d'analyser le mouvement des objets et de déterminer sa direction. Grâce à la collaboration avec The Things Industries, il est plus facile que jamais de connecter des solutions basées sur Arduino au nuage, même lorsqu'elles sont déployées en périphérie. Cela est particulièrement utile dans les zones sans couverture réseau. Grâce à la technologie LoRa, les données peuvent être transmises avec très peu d'énergie dès qu'elles sont disponibles, ce qui signifie que les appareils peuvent être alimentés par une batterie ou même directement par un petit panneau solaire. Tout cela ouvre la voie à tout un monde d'applications intelligentes telles que le suivi de l'assemblage correct de pièces sur une chaîne de montage, la détection des incendies de forêt, l'observation des animaux dans la nature, la maintenance préventive des machines, la

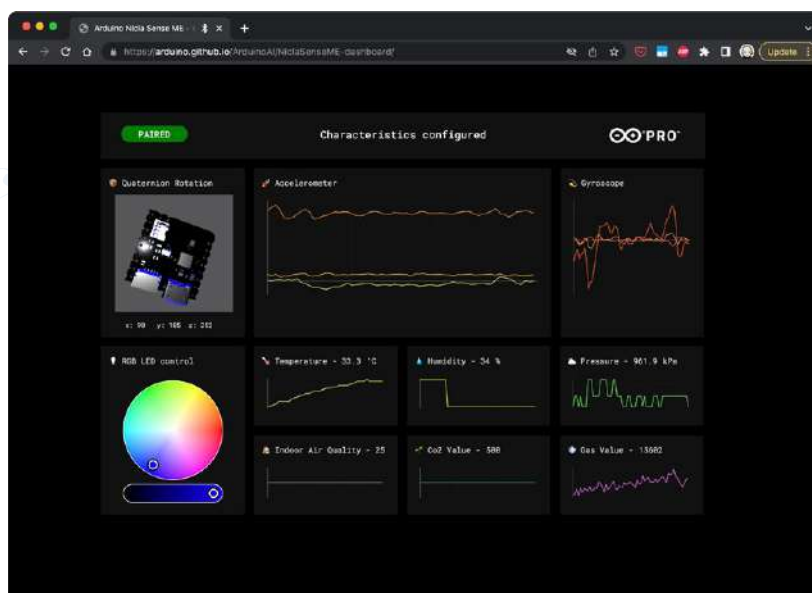


Figure 7. Tableau de bord à base de WebBLE affichant les valeurs des capteurs de l'Arduino Nicla Sense ME.

pratique d'une irrigation intelligente en agriculture, ou l'optimisation de la circulation dans un environnement urbain, pour ne citer que quelques exemples.

## Une technologie complexe rendue accessible

Les technologies avancées nécessitent souvent d'éplucher une documentation complexe, comme les fiches techniques, ne serait-ce que pour comprendre par où commencer. Chez Arduino, nous pensons que même les professionnels apprécient qu'on leur facilite le travail en fournissant des configurations par défaut significatives pour tous nos produits.

Par exemple, il existe des configurations par défaut pour les capteurs et les contrôleurs de gestion de l'énergie qui fonctionnent d'emblée sans aucun réglage supplémentaire. Toutefois, si vous avez besoin d'un réglage plus fin des paramètres, une API de configuration est à votre disposition, ce qui est particulièrement utile dans les premières phases d'un projet, lorsqu'il s'agit d'évaluer la faisabilité ou de tester l'intégration de différents ensembles qu'il faut rendre opérationnels très rapidement. Plus tard, lorsque vous aurez une solution qui marche, vous pourrez procéder au réglage définitif des paramètres des composants. Et comme Arduino publie généralement le code source des bibliothèques et de l'interface matérielle, vous pourrez effectuer des modifications même au niveau le plus bas si nécessaire.

Il est également très facile d'intégrer des capteurs ou des actionneurs tiers. Grâce à l'immense communauté Arduino, il existe des pilotes pour toutes sortes de composants standard ou même exotiques, disponibles sous forme de bibliothèques Arduino utilisables sans aucune modification. Il suffit d'installer ces bibliothèques via l'EDI Arduino ou l'interface de ligne de commande pour être prêt à travailler.

## Solutions IdO professionnelles

Mettre des solutions à l'échelle du monde de l'IdO est un énorme défi car soit la configuration est très complexe, soit la stabilité n'est pas idéale, soit la maintenance est

difficile à mettre en œuvre. Pour cela, la solution Arduino s'appelle Arduino Cloud et peut prendre en charge tous vos besoins à un niveau professionnel. Elle vous donne accès aux données de vos capteurs, quel que soit l'endroit où ils se trouvent, et vous permet de contrôler à distance n'importe quel matériel, pourvu qu'il soit connectable à du matériel Arduino.

Pour les exigences de sécurité de haut niveau, Arduino a élaboré une solution qui situe le niveau de confiance au sein même d'un circuit intégré spécifique. Votre connexion est sécurisée et ne peut être compromise car tout ce qui est secret est stocké dans une puce dédiée. Pour garantir la sécurité des projets du nuage au niveau de l'utilisateur, Arduino vient de passer à l'accès basé sur les rôles, ce qui permet de définir précisément qui peut avoir accès à quoi.

Lorsque vous déployez des solutions IdO sur une multitude d'appareils, il est très probable que vous souhaitiez mettre à jour régulièrement soit l'application, soit, s'il y a lieu, le système d'exploitation, soit les deux. Pour les cas d'utilisation les plus avancés, Arduino a récemment lancé la carte Portenta X8 qui exécute une couche Yocto pour fournir une base Linux comme système d'exploitation. La couche applicative est constituée de conteneurs Docker qui peuvent être mis à jour individuellement de manière simple et sécurisée. Afin de simplifier et d'automatiser cette tâche, Arduino s'est associé à Foundries.io [5] pour fournir un système de gestion de ces conteneurs. D'autres solutions où le système d'exploitation est fusionné avec l'application se sont souvent heurtées à des problèmes de mises à jour insatisfaisantes qui rendaient l'ensemble du système instable. La séparation du système d'exploitation et de la logique applicative exclut ce genre de problèmes. Pour simplifier davantage la configuration et le paramétrage des appareils à utiliser avec Arduino Cloud, Arduino a récemment introduit la CLI Arduino Cloud. Il s'agit d'un outil en ligne de commande qui vous permet d'utiliser des modèles pour configurer très efficacement des « objets » (conteneurs de données IdO) et des tableaux de bord. Par exemple, si vous avez une multitude de nœuds de capteurs collectant le même type de données, ils doivent

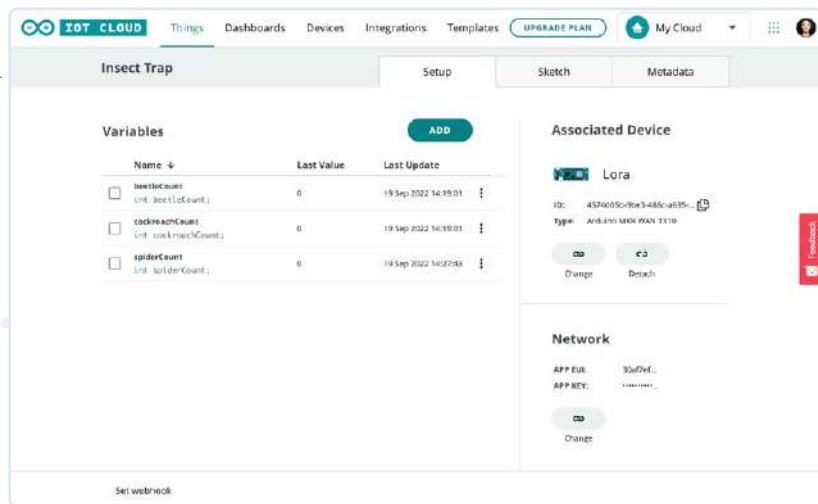


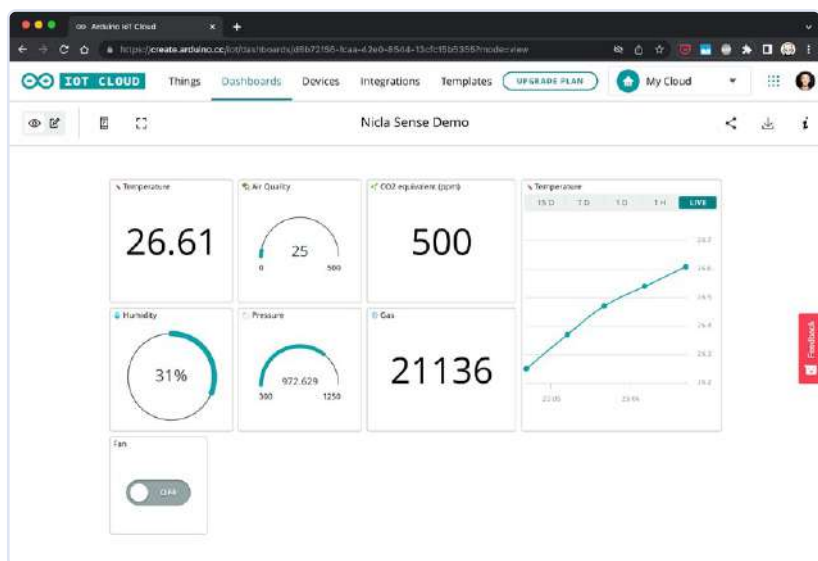
Figure 8. Exemple de configuration des « objets » de l'Arduino IoT Cloud.

être configurés à l'identique. Tout ce que vous avez alors à faire est de définir un modèle avec toutes les variables qui doivent être renseignées (figure 8) et de le déployer autant de fois que nécessaire tout en affectant chacun des appareils à « l'objet » correspondant. Pour visualiser toutes les données reçues des capteurs, vous pouvez configurer un tableau de bord à partir d'un modèle et le connecter aux objets que vous avez créés précédemment (figure 9). Cette approche permet de faire évoluer très facilement votre projet IoT lorsque vous passez du prototypage au déploiement.

### Faible puissance

En particulier pour les solutions déployées dans des endroits sans accès direct au réseau, la faible consommation est un sujet essentiel. Par exemple, un nœud de capteurs installé dans un endroit difficile à atteindre, au sommet d'un arbre ou enterré dans le sol, doit fonctionner pendant des mois, voire des années, sur une batterie et donc consommer le moins de courant possible. Arduino Pro met l'accent sur les composants à faible consommation d'énergie et leurs logiciels. Une carte peut être mise en sommeil jusqu'à ce que se produise un événement pertinent pour l'application. Pendant ce

Figure 9. Tableau de bord Arduino IoT Cloud affichant les valeurs des capteurs de Nicla Sense ME.



temps, tous ses composants cessent de fonctionner pour économiser de l'énergie. Par exemple, le Portenta Vision Shield est équipé d'une caméra basse consommation avec détection de mouvement. Lorsqu'elle détecte du mouvement, elle réveille les autres composants pour traiter les images. Cela peut inclure le réveil de l'unité centrale pour exécuter un modèle d'apprentissage automatique basé sur l'une de ces images pour identifier l'objet vu, et le réveil du module LoRa qui envoie ensuite le résultat vers le nuage. Dans cet exemple, l'analyse est effectuée en local, seul le résultat (quelques données) est transmis en utilisant très peu d'énergie. Ces solutions à faible consommation peuvent fonctionner longtemps sur une batterie. Si nécessaire, la batterie peut être rechargée à l'aide du circuit de charge embarqué, par exemple via un panneau solaire. ◀

220552-04 – Vf : Helmut Müller

### À propos de l'auteur

Sebastian Romero, responsable de contenu chez Arduino, est un concepteur d'interactions, un éducateur et un technicien créatif avec un souci pour les personnes. Avec son équipe, il est chargé de créer des expériences d'apprentissage enthousiasmantes pour aider des millions d'ingénieurs, de concepteurs, d'artistes, d'amateurs et d'étudiants à innover.



### Produits

- > **Arduino Nicla Sense ME**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-sense-me](http://www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-sense-me)
- > **Arduino Nicla Vision**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-vision](http://www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-vision)
- > **Arduino Portenta Vision Shield**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-vision-shield](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-vision-shield)
- > **Arduino Portenta Machine Control**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control)

### LIENS

- [1] API Arduino : <https://github.com/arduino/ArduinoCore-API>
- [2] Edge Impulse : <https://www.edgeimpulse.com>
- [3] OpenMV : <https://openmv.io>
- [4] Les industries des objets : [www.thethingsindustries.com](http://www.thethingsindustries.com)
- [5] Foundries.io : <https://foundries.io>





# les fours intelligents font un bond dans le futur

## Arduino Pro Team

Comment un partenariat solide et l'Arduino Portenta Machine Control ont permis à Rinaldi Superforni de révolutionner son domaine.

### Le défi

Fondée en 1946, Rinaldi Superforni est aujourd'hui l'un des principaux fabricants italiens de fours professionnels pour pizzerias, pâtisseries et boulangeries. Dirigée par les trois petits-fils du fondateur, l'entreprise est constamment à la recherche de nouveaux moyens pour renforcer le positionnement de ses produits comme les plus avancées technologiquement et les plus performantes pour les utilisateurs de plus en plus exigeants.

Orientés vers la production et l'audace, ils ont décidé de s'associer à Arduino pour développer une solution qu'ils pourraient intégrer à leurs fours afin de les rendre véritablement « intelligents » et d'offrir aux clients une expérience améliorée. Après quelques mois de travail côte à côte, nous avons perfectionné le Portenta Machine Control et leur avons permis d'accéder à un nouveau modèle commercial intéressant



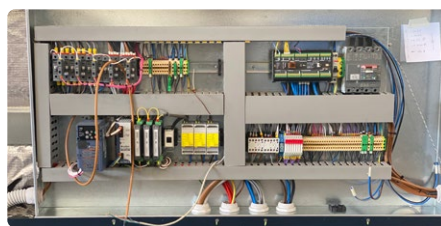
Regardez l'interview de Rinaldi Superforni sur : <https://youtu.be/u5LHZVKXITY>

### Notre solution

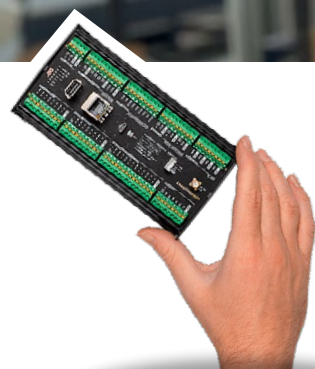
Rinaldi Superforni a intégré l'Arduino Portenta Machine Control (PMC) dans ses fours afin d'offrir une meilleure expérience utilisateur et un meilleur service client, avec une polyvalence et une indépen-

dance maximales. L'intégration du PMC dans les appareils professionnels signifie que Rinaldi Superforni peut maintenant :

- Permettre aux clients de se connecter aux produits à distance : les boulangers peuvent commencer à préchauffer le four sur le chemin du travail ou être alertés si la machine à levain cesse de fonctionner pendant le week-end en raison d'une panne de courant.
- Offrir un excellent service de maintenance : un composant usé peut être automatiquement détecté, déclenchant une suggestion de maintenance préventive ; le service d'assistance technique peut vérifier le produit à distance et fournir un retour d'information ou même effectuer la maintenance du logiciel à distance.



- Recueillir des données pour s'améliorer constamment : un appareil connecté offre des possibilités infinies pour en savoir plus sur les habitudes, l'utilisation, les préférences et bien d'autres choses encore, autant d'informations précieuses pour le développement de nouveaux modèles et d'innovations qui améliorent la vie des clients.
- Changer complètement de modèle économique : les contrats de location fondés sur l'usage sont possibles et simples, grâce à la capacité des produits à stocker et à transmettre des données.



La carte Arduino PRO Portenta.

Comme la plupart des fabricants, l'entreprise produit une variété de modèles de fours différents, des fours tunnels industriels aux petits appareils professionnels destinés aux restaurants. Le PMC peut être utilisé dans tous les domaines, simplement en le programmant de différentes manières. La polyvalence signifie avoir un seul matériel, un seul fournisseur, pour tous les produits de votre catalogue.

De plus, en testant et en développant sa solution avec Arduino, Rinaldi Superforni a acquis le savoir-faire, et la liberté, de programmer et de gérer ses produits. Ils n'auront jamais de frais de changement s'ils décident de changer : le PMC leur donne la liberté et l'indépendance dont ils ont besoin. ◀

220404-04

« L'introduction du Portenta Machine Control va révolutionner la manière dont nous vendons nos produits. Certains de nos nouveaux modèles seront vendus non pas comme de simples machines statiques, mais comme un service dynamique ».

**Matteo Niscosi, responsable de la R&D chez Rinaldi Superforni**



## Produits

- **Arduino Portenta Machine Control**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control)

# Tagvance conçoit des chantiers de construction plus sûrs avec Arduino

Arduino Pro Team

Améliorer l'efficacité opérationnelle, l'utilisation des ressources et la sécurité au travail dans les industries lourdes grâce à un tableau de bord numérique toujours à jour.

## Le défi

Un chantier de construction peut être un endroit dangereux, et les réglementations de plus en plus strictes en matière de sécurité au travail reflètent la nécessité d'atténuer les risques, mais rendent également le travail des responsables CSE plus complexe que jamais.

Compter manuellement les effectifs, mettre à jour constamment les registres des ressources et vérifier simplement que tout le monde porte l'équipement de protection approprié au début de son service prend du temps et, pire que tout, pas nécessairement suffisant pour assurer la sécurité de tout le monde. Et si vous pouviez garantir moins d'accidents, des coûts d'exploitation plus faibles et optimiser en même temps l'utilisation des ressources ? Tagvance fait exactement cela. La startup innovante basée à Singapour fait bon usage des technologies de pointe pour fournir des données en temps réel et des solutions de compte rendus automatisées aux clients de l'industrie lourde qui souhaitent surveiller le statut et l'emplacement des travailleurs et des ressources, dans des environnements complexes tels que les plateformes logistiques, les chantiers navals et les chantiers de construction.



Regardez l'interview de Tagvance sur : <https://youtu.be/SnsL6budrUw>

## Notre solution

Le système de Tagvance collecte un large éventail de données environnementales en intégrant le minuscule Nicla Sense ME directement dans les casques des travailleurs. Il fournit également une localisation en temps réel via des balises portables.

Des capteurs de mouvement tels que des accéléromètres, des gyroscopes et des magnétomètres sont utilisés en combinaison avec l'altitude relative du baromètre pour classer l'activité et - par exemple - savoir si un travailleur risque de tomber de haut. Des caméras intelligentes sont déployées pour valider le respect des règles de sécurité, et même des capteurs audio sont utilisés pour détecter les sons des équipements.


Les nœuds IdO et les balises portables fonctionnant sur des microcontrôleurs utilisent l'intégration de capteurs avec TinyML pour déduire ce qui se passe, sur la base des données recueillies correspondant à l'emplacement grâce au positionnement Bluetooth Low Energy. Les données d'inférence sont ensuite retransmises à des kilomètres à l'aide de radios LoRa, de sorte que les rapports peuvent être mis en correspondance dans le cloud avec les permis de travail, les zones d'exclusion et les emplois du temps provenant des systèmes de gestion intégrés (ERP). En quelques secondes, un tableau de bord visuel est généré pour présenter une carte numérique complète des emplacements, des quasi-accidents, des incidents et des mesures afin de représenter avec précision la situation. Tagvance s'est assuré que le système fonctionne également de manière fiable en intérieur, où les interférences et les obstacles physiques peuvent empêcher une ligne de vue directe avec les personnes et les ressources : les nœuds IdO sont répartis dans la zone de suivi et bénéficient d'une longue portée, d'une pénétration profonde et d'une grande robustesse du LoRa, tandis que TinyML permet d'envoyer les résultats au *back-office* en petits paquets qui ne nécessitent pas de bande

passante de transmission continue.

Enfin, les composants à basse consommation permettent aux balises de fonctionner pendant plusieurs années.

L'approche ouverte d'Arduino et un écosystème croissant de produits permettent à des entreprises comme Tagvance de combiner une variété d'outils différents pour créer la meilleure solution possible. Dans ce cas, la solution s'articule autour d'un système matériel basé sur les composants Arduino Pro suivants :

- > Les nœuds IdO basés sur Portenta H7 collectent des informations via Bluetooth® Low Energy ; puis, grâce au Portenta Vision Shield, les informations sont envoyées via LoRa aux services cloud d'AWS et de SAP.
- > Les caméras embarquées du Portenta Vision Shield transmettent des données à des modèles de vision par ordinateur, formés, par exemple, pour détecter les filets de sécurité manquants et les barrières de sécurité inadéquates.
- > Le Nicla Sense ME, minuscule, mais puissant et polyvalent, est intégré dans les casques des travailleurs pour signaler la force du signal Bluetooth utilisé pour la localisation.

Au niveau logiciel, la chaîne de programmation présente également un mix technologique intéressant, avec l'EDI OpenMV pour faire tourner MicroPython à l'aide de Portenta Vision Shield, l'EDI Arduino pour télécharger des croquis sur le Nicla Sense ME et Edge Impulse pour rassembler toutes les données des différents capteurs dans TinyML. 

(220403-04) — VF : Jean-Marie Gastineau



Produits

- > **Arduino Nicla Sense ME**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-sense-me](http://www.elektormagazine.fr/arduino-nicla-sense-me)



# Santagostino respire facilement

avec une surveillance à distance qui tire parti de l'IA pour une maintenance prédictive

## Arduino Pro Team

Nous découvrons ici l'Arduino Nano RP2040 Connect au cœur d'une solution fiable, rentable et flexible pour garantir des performances d'air conditionné optimales sur un réseau de centres médicaux.

## Le défi

Une solution de surveillance modulaire et évolutive pour vérifier en permanence et automatiquement le bon fonctionnement de la ventilation : la clé pour assurer la qualité de l'air dans les centres médicaux.

S'appuyant sur une équipe de 200 employés et 1 200 médecins, Santagostino exploite un réseau de 35 centres médicaux en Italie, principalement répartis entre Milan, Rome et Bologne. Un peu plus de dix ans après leur création, ils sont en mesure d'offrir une large gamme de tests et de procédures de diagnostic – mais le service le plus élémentaire qu'ils doivent garantir est sans doute un environnement confortable et sûr pour les milliers de patients qui se rendent dans leurs établissements.

La climatisation et la ventilation ont toujours joué un rôle important à cet égard : alors que la plupart d'entre nous ne sont devenus particulièrement conscients de l'importance de la qualité de l'air qu'après la pandémie, le département Ingénierie et Technique de Santagostino a toujours travaillé dur pour assurer le bon fonctionnement de ces systèmes.

Leur défi ? Le personnel et les clients remarquaient souvent que le chauffage ou la climatisation ne régulaient pas correctement les températures, mais il fallait parfois des jours,

voire des semaines, avant qu'un technicien ne détecte un dysfonctionnement de la ventilation mécanique lors d'un contrôle de routine sur site.

L'entreprise a donc cherché une solution de surveillance à distance 24 h/24 et 7 j/7, qui devait également être modulaire et évolutive pour s'adapter à la variété des systèmes de climatisation installés dans ses centres.

## Notre solution

Santagostino a développé en interne une solution basée sur Arduino pour surveiller les systèmes d'air conditionné sur 35 sites en Italie, en alimentant l'IA en données pour détecter – et même prédire et prévenir – tout dysfonctionnement.



Regardez l'interview de Santagostino sur : <https://youtu.be/S6bcF-9wTxs>

L'Arduino Nano RP2040 Connect, protégé par un boîtier imprimé en 3D, a été placé à l'intérieur des pompes à chaleur, des climatiseurs et des systèmes de ventilation mécanique des centres du réseau. Quels que soient le type, la marque et le modèle utilisés dans chaque site, l'installation a été réalisée facilement, sans qu'il soit nécessaire de faire appel à des spécialistes externes ou de modifier les machines d'une manière qui aurait pu annuler effectivement leurs garanties.

Minuscule, puissante et fiable, la famille Arduino Nano est parfaite pour les appareils portables sur soi, les drones, les expériences

scientifiques et toute autre solution IdO/IA qui doit réduire la taille et non les performances.



famille de cartes Arduino Nano et la carte Carrier associée.

Santagostino a choisi l'Arduino Nano RP2040 Connect car il comprend à la fois un module wifi et un accéléromètre de haute qualité, tout en se distinguant par un facteur de forme extrêmement compact et un prix compétitif. De plus, son processeur ARM est capable de collecter les données des centres de Santagostino, de les envoyer à la plate-forme Edge Impulse et d'exécuter l'algorithme d'apprentissage qui lit et interprète de manière autonome l'état opérationnel des systèmes. ◀

220402-04

« Notre solution est très simple mais pas évidente. L'utilisation d'Arduino nous a permis de l'appliquer à tout type de système, qu'il soit analogique ou numérique, fabriqué par n'importe quelle marque. »

**Andrea Codini, Directeur Technique chez Santagostino**



## Produits

➤ **Arduino Nano RP2040 Connect**  
[www.elektormagazine.fr/](http://www.elektormagazine.fr/)  
[arduino-nano-rp2040-connect](https://arduino-nano-rp2040-connect)



# la sécurité atteint des sommets avec la solution basée sur les cartes MKR de RIoT Secure

## Arduino Pro Team

Les produits open source d'Arduino sont au cœur d'une solution contre le piratage et le risque cybernétique dans les aéroports.

## Le défi

Dans les aéroports, la sécurité est une priorité absolue : des règles strictes doivent être suivies rigoureusement, mais aussi rapidement mises à jour si nécessaire, sans créer de failles.

La société RIoT Secure (<http://riotsecure.se>), basée à Stockholm, a été fondée pour répondre aux problèmes de sécurité actuels et potentiels auxquels notre monde est confronté, alors que des milliards d'objets sont connectés à Internet et que l'IdO est l'une des tendances les plus fortes de notre époque. Pour RIoT, travailler avec le service d'assistance en escale de SAS (Scandinavian Airlines) était le projet idéal à fortes contraintes pour prouver que la sécurité peut être intégrée au cœur de toute solution IdO. Dans les aéroports, les véhicules de service sont suivis à la fois à des fins de facturation et pour garantir le respect des protocoles de sécurité qui évoluent constamment. Par exemple, les emplacements doivent être vérifiés en temps réel pour éviter que quiconque ne pénètre dans des zones interdites, et le personnel doit utiliser des badges RFID de sécurité pour accéder aux équipements et les utiliser.

En concevant une nouvelle solution, RIoT Secure a donc dû s'assurer que toutes les communications sur le réseau étaient sécurisées et que les mises à jour du micrologiciel étaient possibles en temps réel, instantanément et pour l'ensemble de la flotte de véhicules

## Notre solution

RIoT Secure a développé une plateforme sécurisée de gestion du cycle de vie des appareils basée sur les cartes Arduino MKR, pour les communications et les mises à jour over-the-air ciblant spécifiquement les microcontrôleurs à ressources limitées.



Regardez la vidéo « RIoT Secure: Gestion du cycle de vie des dispositifs sécurisés avec Arduino » sur : <https://youtu.be/RPUgTsawp5E>

La famille Arduino MKR a été choisie pour son approche modulaire et son aptitude à offrir à la fois une connectivité wifi, 3G et NB-IoT et un élément sécurisé (secure element) pour assurer un niveau de fiabilité – une excellente base pour la liberté de réseau de la plateforme.

RIoT Secure a réécrit les bibliothèques de mise en réseau associées au micrologiciel – qui utilise FreeRTOS pour le traitement *multi-threading* – en tenant compte de la sécurité dès la conception. Cela leur a permis de créer une solution qui garantit :

- la communication robuste et sans faille
- la fiabilité durable des dispositifs
- la liberté de choisir la meilleure topologie de réseau
- la liberté d'utiliser le microcontrôleur le plus approprié pour chaque tâche
- l'isolation complète des attaques de pirates, ce qui minimise les failles de sécurité



Cartes Arduino MKR.

Alors que les mises à jour sont rendues incroyablement simples par l'utilisation de l'EDI Arduino et de la plateforme de gestion du cycle de vie de RIoT Secure, la flexibilité de la solution atteint des niveaux de sécurité durables avec la liberté de mettre à niveau ou de remplacer le dispositif Arduino MKR à mesure que la technologie évolue, indépendamment du développement du micrologiciel. La plateforme de gestion du cycle de vie de RIoT Secure est concédée sous licence à Ingwaz, qui entretient une relation commerciale avec SAS Ground Handling. Ingwaz est une société cofondée par EIT Digital, qui soutient et dirige une technologie de pointe dans le domaine de la numérisation en Europe. ◀

(220401-04) — VF : Asma Adhimi

« SAS Ground Handling peut désormais s'assurer que ses équipements sont connectés en toute sécurité au cloud, et qu'ils peuvent améliorer les protocoles de sécurité mis en œuvre à la périphérie en quelques secondes. »

Aaron Ardiri, PDG de RIoT Secure



## Produits

- **Arduino MKR Family**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-mkr-family](http://www.elektormagazine.fr/arduino-mkr-family)



# l'open-source apporte au monde du progrès dans la gestion de l'eau

## Arduino Pro Team

Voici comment l'irrigation intelligente connaît une avancée grâce à la collaboration entre Challenge Agriculture et Arduino.

### Le défi

Le monde de l'agriculture évolue à un rythme de plus en plus rapide. Pour faire passer la gestion de l'irrigation au niveau supérieur, Challenge Agriculture a fait le pari de l'innovation.

L'entreprise a mis à profit ses compétences agronomiques, écologiques et économiques pour contribuer à l'évolution de la gestion de l'irrigation tensiométrique au cours des 35 dernières années. Il y a environ dix ans, le PDG de la société, Xavier Eftimakis, a réalisé qu'un outil plus puissant était nécessaire pour observer le sol et surveiller l'irrigation afin d'obtenir des rendements optimaux, d'économiser l'eau et de préserver la qualité des champs. Il a décidé d'investir dans le développement de la propre carte de Challenge Agriculture : le **R2-DX**, inspiré par l'expérience de terrain et l'électronique open-source. Mais avec les nombreuses évolutions de l'industrie agronomique et les problèmes environnementaux plus pressants que jamais, Eftimakis a estimé qu'il était temps d'évoluer.



« Mon ingénieux cousin Mike Eftimakis utilisait déjà Arduino, et j'ai toujours aimé le concept d'open-source : c'est la philosophie que je suis pour partager mes expériences en agronomie. Mon fils Marc, qui est développeur, a également rejoint le projet. Avec l'aide d'Arduino, nous avons travaillé ensemble efficacement pour réaliser notre carte. » - Xavier Eftimakis, fondateur et PDG de Challenge Agriculture

### Notre solution

Challenge Agriculture et Arduino se sont associés pour développer Iriduo, une solution intelligente pour l'irrigation et de nombreuses autres applications de gestion de l'eau.



Pour en savoir plus sur Iriduo, allez sur [www.challenge-agriculture.fr/en/irriduo/](http://www.challenge-agriculture.fr/en/irriduo/)

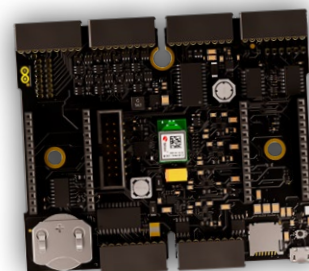
Iriduo est un outil d'observation professionnelle des sols par tensiométrie, technique universellement utilisée pour mesurer la tension naturelle de l'eau dans le sol. Sa carte offre des entrées suffisantes pour des capteurs installés à différentes profondeurs dans le sol, ce qui permet de mesurer l'humidité et d'offrir une représentation claire, en temps réel, des valeurs en constante évolution. Plusieurs capteurs par champ fournissent des relevés précis pendant six cycles de culture de trois à quatre mois chacun, soit 4 000 mesures, ou jusqu'à quatre ans dans le cas de cultures pérennes. Les capacités de collecte et de traitement des données d'Iriduo permettent de prendre des décisions éclairées.

L'**Arduino Edge Control** peut être utilisé pour déployer l'IA à la périphérie. Il peut être étendu avec des modems 2G/3G/CatM1/NB-IoT, Lora, Sigfox et une connectivité wifi/Bluetooth et géré à distance via l'Arduino ou les clouds. L'Arduino Edge Control a une variété infinie d'applications au-delà de

l'agriculture : les centrales électriques, les chantiers de construction, les parkings et les piscines ne sont que quelques-uns des contextes possibles où il peut faire la différence. Spécifiquement pour l'agriculture de précision, l'Arduino Edge Control peut :

- > optimiser l'utilisation de l'eau, des engrais et des pesticides
- > améliorer la santé des plantes
- > réduire les erreurs humaines
- > automatiser les tâches
- > s'adapter aux conditions météorologiques
- > partager des informations en temps réel sur l'état des cultures.

220397-04



La commande Arduino Edge est une solution de surveillance et de contrôle à distance, optimisée pour les environnements extérieurs. Il peut être positionné n'importe où et convient à l'agriculture de précision, à l'agriculture intelligente et à d'autres applications nécessitant un contrôle intelligent dans des endroits éloignés. L'alimentation peut être fournie soit par un panneau solaire, soit par une entrée CC.



### Vous avez besoin d'une solution similaire ?

Vous êtes intéressé par ce que nous faisons ? Contactez Arduino Pro Team à l'adresse [www.arduino.cc/pro/contact-us](http://www.arduino.cc/pro/contact-us).

# Senso

détecter la déforestation  
grâce à l'analyse sonore

Andrei Florian (Irland)

L'exploitation illégale du bois est un problème dans de nombreux pays, auquel le projet Senso apporte une solution possible. Le dispositif, basé sur Arduino MKR Fox, alerte les autorités lorsqu'il détecte des bruits d'abattage.

Lorsque je suis allé en Roumanie pour faire un peu d'escalade, j'ai constaté l'hostilité d'une grande partie de la population à l'abattage d'arbres illégal et j'ai pensé que je pouvais peut-être faire quelque chose pour le combattre. Mon étude du problème m'a conduit à identifier cette activité par le son produit par les outils utilisés. Voici la solution que j'ai trouvée.

## Le son de la déforestation

La déforestation est l'un des problèmes les plus importants auxquels notre génération est confrontée. Des forêts sont abattues dans le monde entier pour faire place aux cultures et aux habitations. Des pans entiers de forêt sont incendiés pour créer de l'espace et l'exploitation forestière illégale se pratique à l'échelle internationale. La déforestation est directement liée au changement climatique, car la combustion de matières organiques libère beaucoup de dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre.

L'exploitation forestière est un problème majeur tant dans les pays en développement que dans les pays développés. La Roumanie en est un bon exemple. Bien que l'exploitation forestière y soit réglementée, une bonne partie de celle-ci se fait de manière illégale. La Roumanie compte 65 % des forêts vierges d'Europe, mais l'abattage les fait rapidement disparaître.

La plupart des coupes sont effectuées avec des tronçonneuses très bruyantes. C'est là qu'intervient le Senso, un appareil de faible consommation équipé d'un module d'analyse sonore capable de séparer les différentes bandes de fréquences sonores. L'appareil est programmé pour identifier le son des outils d'exploitation forestière tels que les tronçonneuses et alerter les autorités compétentes lorsqu'un tel son



est détecté. Des écoutes sont effectuées toutes les quinze minutes. Si un son suspect est détecté, l'appareil envoie un message au centre de traitement où les zones d'activités d'abattage apparaissent sur une carte.

Senso est une arme contre l'abattage illégal, car il donne l'alerte en temps réel, ce qui permet aux autorités d'intervenir très rapidement et de se concentrer sur les zones où l'abattage est le plus important.

## Aperçu du dispositif

J'ai utilisé l'Arduino MKR Fox (**figure 1**) pour ce projet en raison de ses excellentes caractéristiques de faible consommation. Je l'ai déjà utilisé dans plusieurs projets qui reposent sur la communication à faible puissance. Il est très facile d'utiliser Sigfox sur cet appareil car il est intégré et les bibliothèques Arduino vous permettent d'être opérationnel en un rien de temps.

Pour l'instant, le dispositif nécessite une alimentation 5 V, les modules périphériques consommant trop d'énergie pour être alimentés directement par la carte. Comme il s'agit d'un prototype, la durée de vie



Figure 1. L'Arduino MKR Fox est au cœur de ce projet. (Source : Arduino)



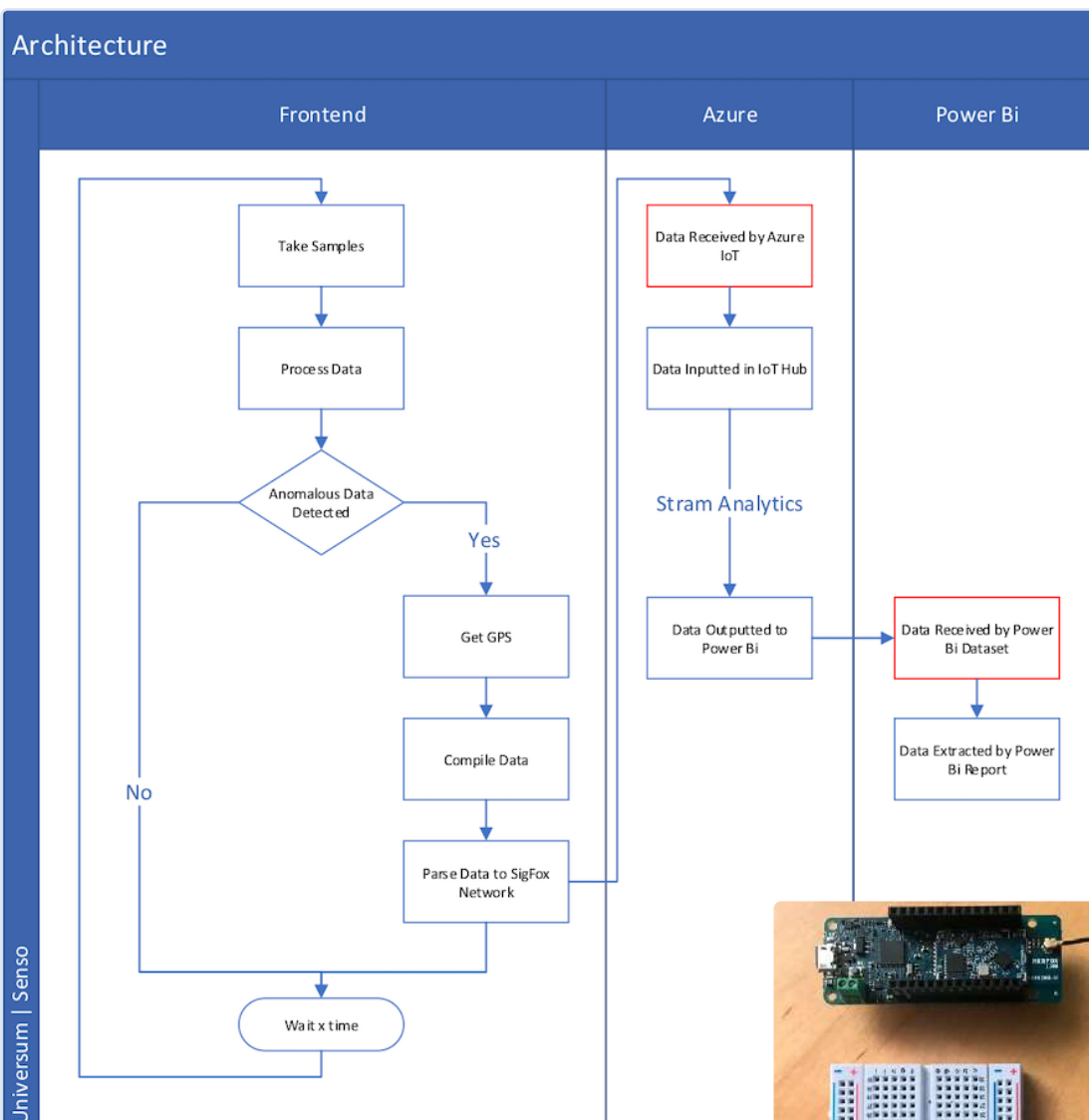


Figure 2. L'architecture du système sous forme d'organigramme.

de la batterie qui l'alimente n'est pas suffisante pour un usage sur le terrain. Je travaille encore à désactiver les capteurs lorsque l'appareil est en mode sommeil afin d'économiser l'énergie.

## Architecture du projet

Le projet est divisé en deux parties : un frontal et une base arrière. Le frontal consiste en un dispositif installé en forêt, qui prélève des échantillons de son ; la base arrière utilise Sigfox, Microsoft Azure et Microsoft Power BI pour traiter et afficher les données (figure 2).

**Frontal :** L'appareil se réveille à intervalles réguliers pour écouter l'environnement sonore. Il recherche l'activité dans des bandes de fréquences spécifiques aux tronçonneuses et outils similaires. Si un positif est trouvé, l'appareil envoie sa position et le niveau de sa batterie sur le cloud. Puis il se remet en sommeil jusqu'à l'heure du réveil suivant. Une fonctionnalité intéressante à ajouter serait le suivi de la position. À l'aide d'accéléromètres, le dispositif pourrait détecter quand l'arbre sur lequel il est fixé est abattu. Dans ce cas, il pourrait envoyer sa position à la base arrière toutes les 10 minutes environ, ce qui permettrait aux autorités de suivre l'arbre abattu pendant son transport.

**Base arrière :** L'événement détecté par le capteur est reçu par la base arrière Sigfox, qui le transmet à Azure IoT au moyen d'une fonction de rappel. Azure IoT attribue ensuite les données à un hub. Un service

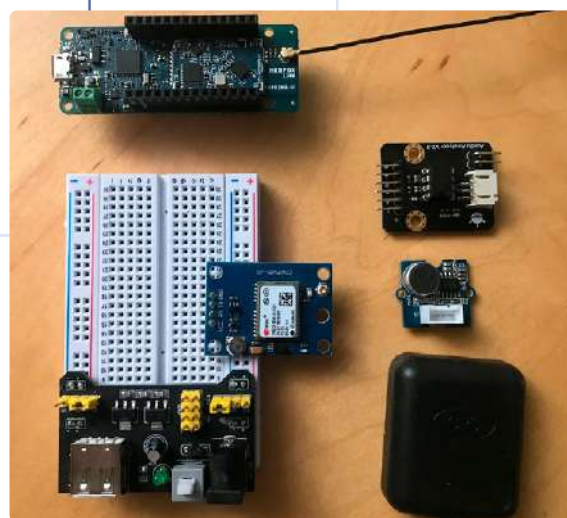


Figure 3. Les modules utilisés dans ce projet.

de flux continu de données interroge les données et les insère dans un jeu de données Power BI. Enfin, Power BI extrait les valeurs du jeu de données pour créer un rapport qui peut être affiché sur un écran. En outre, une application de messagerie pourrait être utilisée pour envoyer un message aux autorités dès qu'un événement est reçu par la base arrière. Cela permettrait aux intervenants de savoir exactement où se rendre lorsqu'un arbre est abattu.

## Réaliser le projet

Assez de discours, au travail ! Ce projet nécessite un certain nombre de modules (figure 3) : une carte Arduino MKR Fox, un module GPS et son antenne, une antenne GSM, un module analyseur audio de DFRobot et un microphone. Une carte d'expérimentation est utilisée

pour tout relier (**figure 4**). L'alimentation est fournie par une pile 9 V via un module 5 V/3,3 V. Notez que le microcontrôleur est alimenté par l'alimentation de la carte d'expérimentation.

J'utilise un module GPS bon marché que j'ai trouvé sur internet pour 10 €. Il est facile à utiliser mais nécessite une bonne antenne et met un certain temps à se verrouiller sur les satellites.

Le module analyseur audio fournit le niveau sonore dans sept bandes de fréquence : 63 Hz, 160 Hz, 400 Hz, 1 kHz, 2,5 kHz, 6,25 kHz et 16 kHz. Après des tests approfondis, j'ai constaté que le bruit des tronçonneuses se situe généralement dans la plage de 2,5 kHz à 6,25 kHz. Lors des tests effectués avec des sons de tronçonneuse enregistrés, la bande de 6,25 kHz présentait des pics. J'ai donc pu effectuer un calcul pour éviter que d'autres sources, comme les voitures et les sons naturels, ne soient pris pour des tronçonneuses. Bien qu'encore imparfait, mon algorithme donne de bons résultats.

Le code est divisé en trois sections principales, chacune étant décrite ci-dessous.

### Echantillonnage et traitement du son

Cette partie du programme est exécutée à chaque fois que l'appareil se réveille. Le dispositif prélève d'abord des échantillons du capteur sonore, puis traite les données saisies en comparant la valeur de la bande de fréquence cible aux autres bandes. Cette opération est réalisée à l'aide des lignes de code suivantes :

```
long comparison = ((valueMean[0] + valueMean[1] + valueMean[2] + valueMean[3]) / 1.9);
if (valueMean[5] > comparison) ...
```

Les valeurs moyennes de toutes les bandes de fréquences (sauf la bande cible) sont additionnées et divisées par 1,9. Si la valeur de la bande cible est supérieure à `comparison`, la détection est considérée comme positive (**figure 5**).

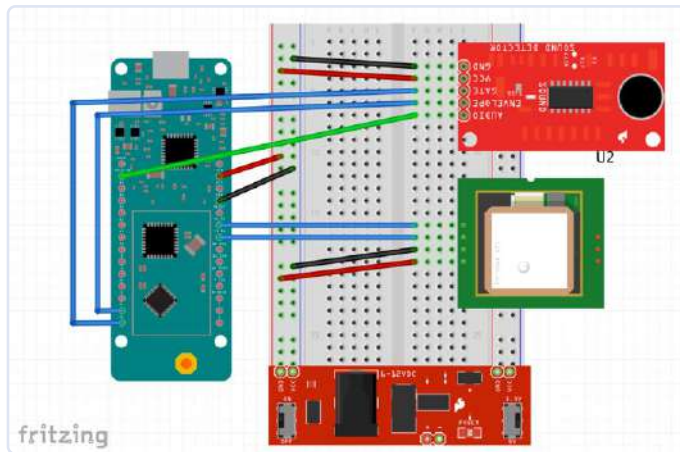


Figure 4. Schéma de câblage du prototype Senso.

### Obtenir la position GPS et le niveau de la batterie

La fonction `getGPS` extrait les coordonnées GPS de l'appareil et vérifie qu'elles sont correctes. Ensuite, la tension de la batterie (s'il y a lieu) est mesurée par la fonction `getBatteryVoltage` et ajoutée aux données à envoyer au cloud.

Notez que si la carte Arduino est alimentée par sa broche VIN, la tension de la batterie sera lue égale à zéro. Elle doit être alimentée par ses broches d'alimentation sur la carte d'expérimentation pour une lecture correcte.

### Envoyer des données à Sigfox

Les fonctions `encodeData` et `sendToSigfox` codent les données de position et le niveau de la batterie au format octet et les envoient à la base arrière Sigfox.

### Configuration du programme

Il y a deux paramètres de configuration qui doivent être renseignés : `proDebug` – mis à `true` (vrai) pour le débogage. Dans ce cas, le dispositif doit être connecté à un PC via une connexion série et la fenêtre

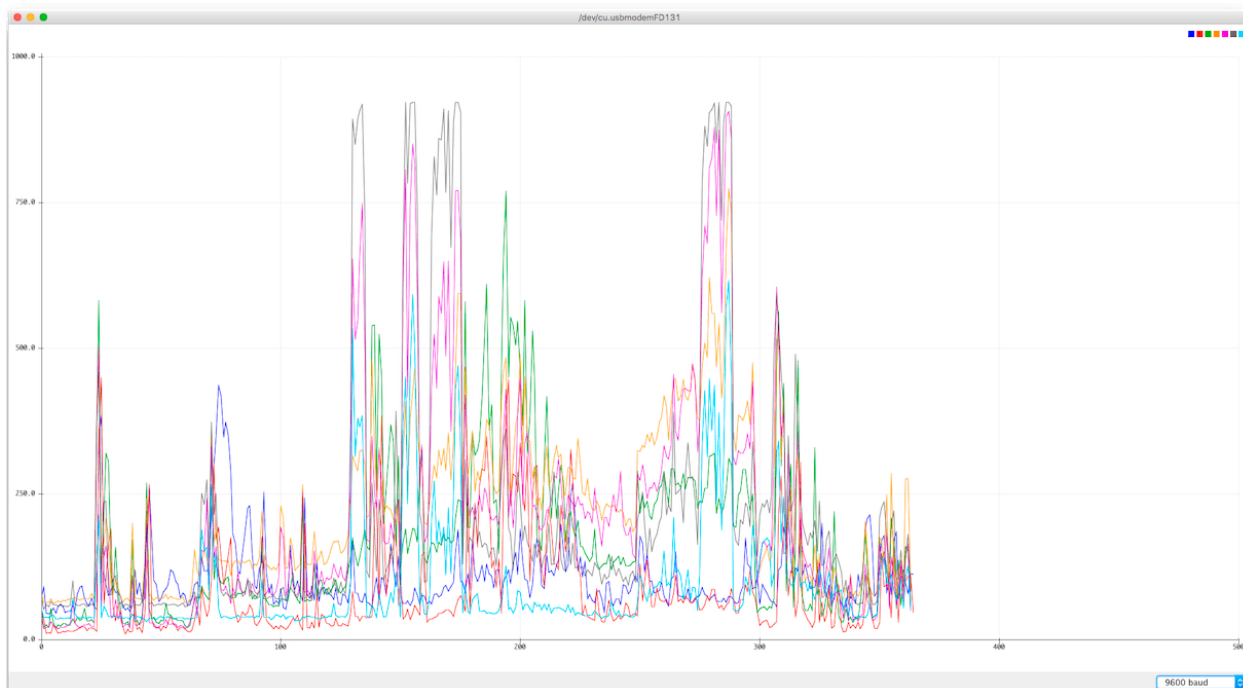


Figure 5. Test sonore. Les pointes montrent l'activité d'une tronçonneuse.

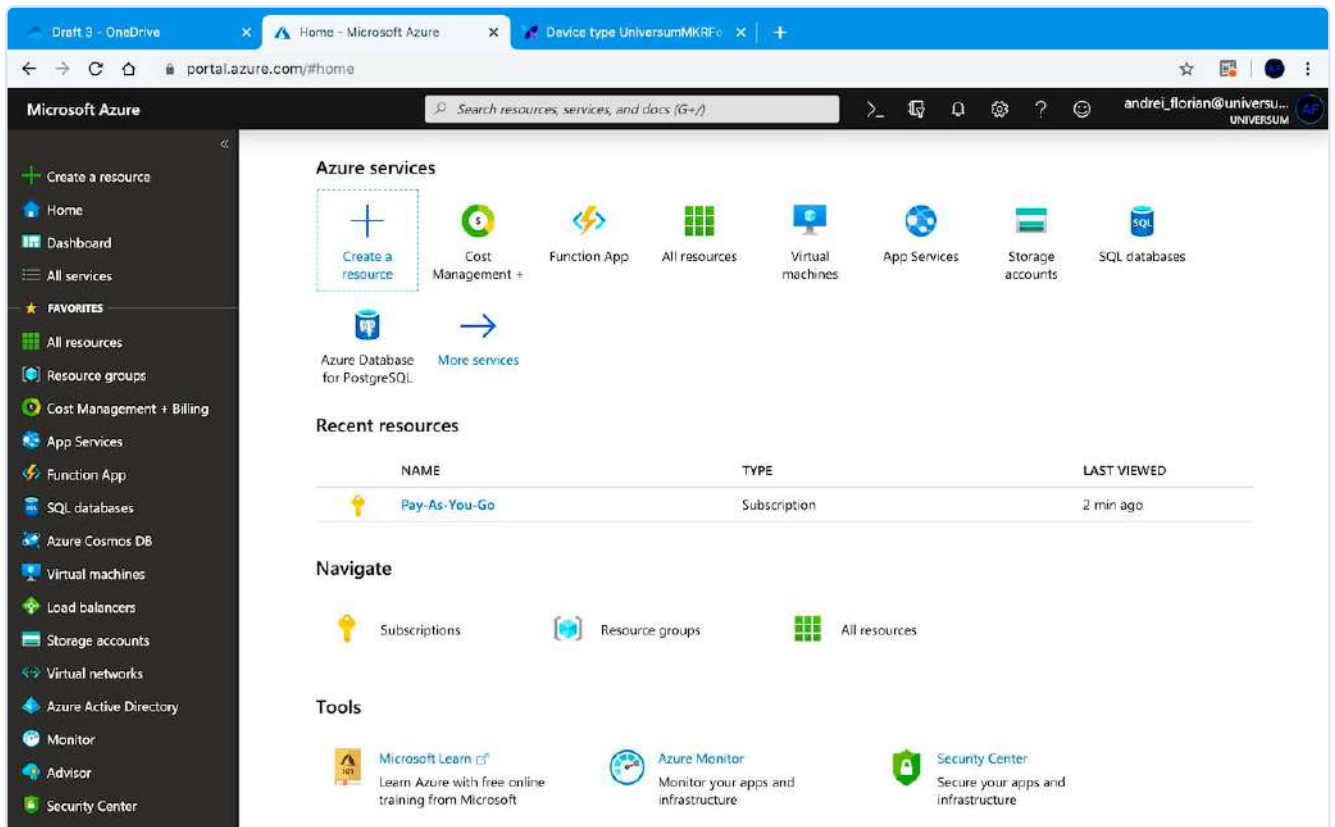


Figure 6. La première étape de la création d'un compte Microsoft Azure. Voir dix-neuf autres captures d'écran sur [1].

**Terminal** de l'EDI Arduino doit être ouverte pour que le code soit exécuté. Mis à *false* sinon.

**nrSamples** – nombre d'échantillons à prélever. Chaque échantillon est composé de 100 lectures.

## Préparer Microsoft Azure

Ce projet utilise Microsoft Azure comme base arrière. Il y a cependant quelques conditions préalables :

- Compte Azure
- Abonnement Azure
- Connaissance de base de l'application

Puisqu'une image vaut mille mots (**figure 6**). Comme vingt captures d'écran prendraient trop de place ici, veuillez vous reporter à [1] pour obtenir des détails sur la configuration d'un compte Azure et du hub IoT qui stockera les données reçues de l'appareil.

## Préparer Sigfox

Nous devons également préparer le callback de Sigfox. Encore une fois, il y a quelques conditions préalables :

- Un compte base arrière Sigfox
- Enregistrez le dispositif dans la base arrière

Pour les mêmes raisons que pour la configuration du compte Azure, veuillez vous reporter à [1] pour les détails de la configuration d'un compte Sigfox (**figure 7**).

Pour informer la base arrière Sigfox du format des données que nous envoyons, trois valeurs à virgule flottante (latitude, longitude et niveau de batterie), entrez la ligne suivante dans le champ *custom-data-config* :

```
geoLat::float:32:little-endian geoLng::float:32:little-endian battery::float:32:little-endian
```

Ensuite, remplissez le corps JSON du message avec les données suivantes :

```
{
  "device" : "{device}",
  "data" : "{data}",
  "latitude" : {customData#geoLat},
  "longitude" : {customData#geoLng},
  "battery" : {customData#battery},
```



Figure 7. L'ouverture du portail Sigfox est l'étape 1. Voir neuf autres étapes sur [1].



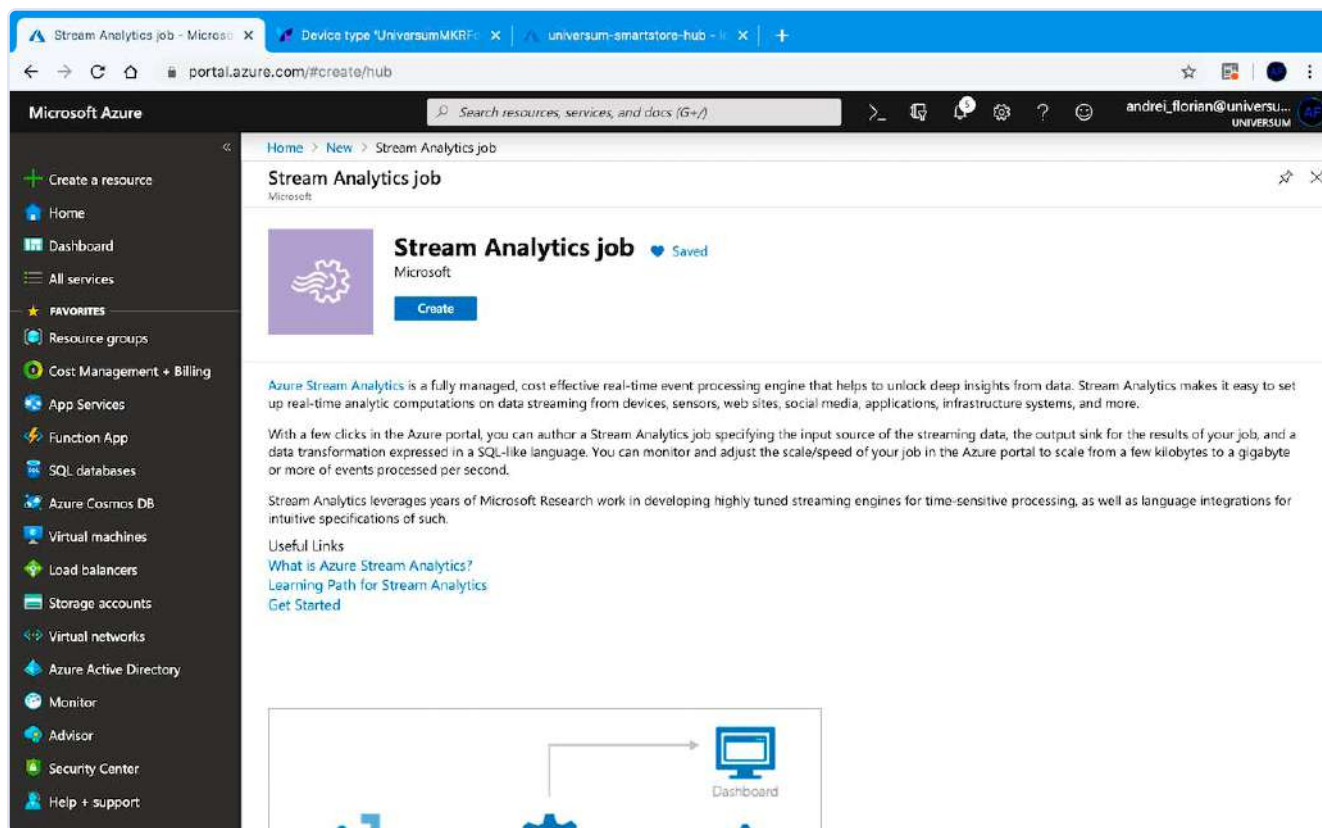


Figure 8. Configurez la tâche Stream Analytics dans Microsoft Azure.

```
"time" : {time},
"duplicate" : {duplicate},
"snr" : {snr},
"station" : "{station}",
"avgSignal" : {avgSnr},
"lat" : {lat},
"lng" : {lng},
"rssi" : {rssi},
"seqNumber" : {seqNumber}
}
```

Ceci définit les valeurs que nous voulons transmettre à Azure.

### Configuration de la gestion des flux

L'étape suivante consiste à configurer la tâche *Stream Analytics* (figure 8) qui interrogera les données du hub IdO Azure et les enverra dans un ensemble de données Power Bi. Pour que cela fonctionne, vous devez d'abord effectuer toutes les étapes ci-dessus, puis vous reporter à [1] pour plus de détails sur la configuration de cette partie. À l'étape 15, vous devez saisir la requête suivante :

```
SELECT
latitude as latitude,
longitude as longitude,
battery as battery,
System.Timestamp AS Timestamp
INTO
[OutputToPowerBI]
FROM
[InputFromIOTHub]
```

### Télécharger le code

Nous devons maintenant télécharger le code pour tester la connexion. Assurez-vous que la tâche d'analyse de flux est en cours d'exécution, puis téléchargez le code sur l'appareil. Simulez un bruit de tronçonneuse sur votre téléphone et faites en sorte que l'appareil envoie un événement vers le cloud. Vous devriez voir les graphiques sur votre tableau de bord se déplacer après avoir envoyé les données. Cela indique que les données sont reçues, et vous pouvez passer à autre chose. Si l'événement n'apparaît sur aucun des graphiques, vous devez commencer à déboguer avec la base arrière Sigfox, puis vous diriger vers Azure.

### Configuration de Microsoft Power BI

Nous allons maintenant configurer Microsoft Power BI (figure 9) pour nous aider à visualiser nos données. Notez qu'un compte professionnel est nécessaire pour attribuer un abonnement à Power BI dans Microsoft. Nous espérons que vous avez accès à un tel compte. Sinon, il existe de nombreuses alternatives que vous pouvez utiliser. Les conditions préalables sont les suivantes :

- Compte Power BI
- Toutes les étapes précédentes effectuées

Pour les mêmes raisons que pour la configuration du compte Azure, veuillez vous reporter à [1] pour la configuration d'un compte Power BI en quinze étapes détaillées.

### Boîtier

Enfin, après avoir terminé la configuration de l'application, nous devons créer un boîtier pour le projet (figure 10). J'ai décidé d'attacher le dispositif à un arbre et de le camoufler pour prendre les bûcherons par surprise. Veillez à placer le microphone à l'extérieur du boîtier pour qu'il puisse capter les sons.

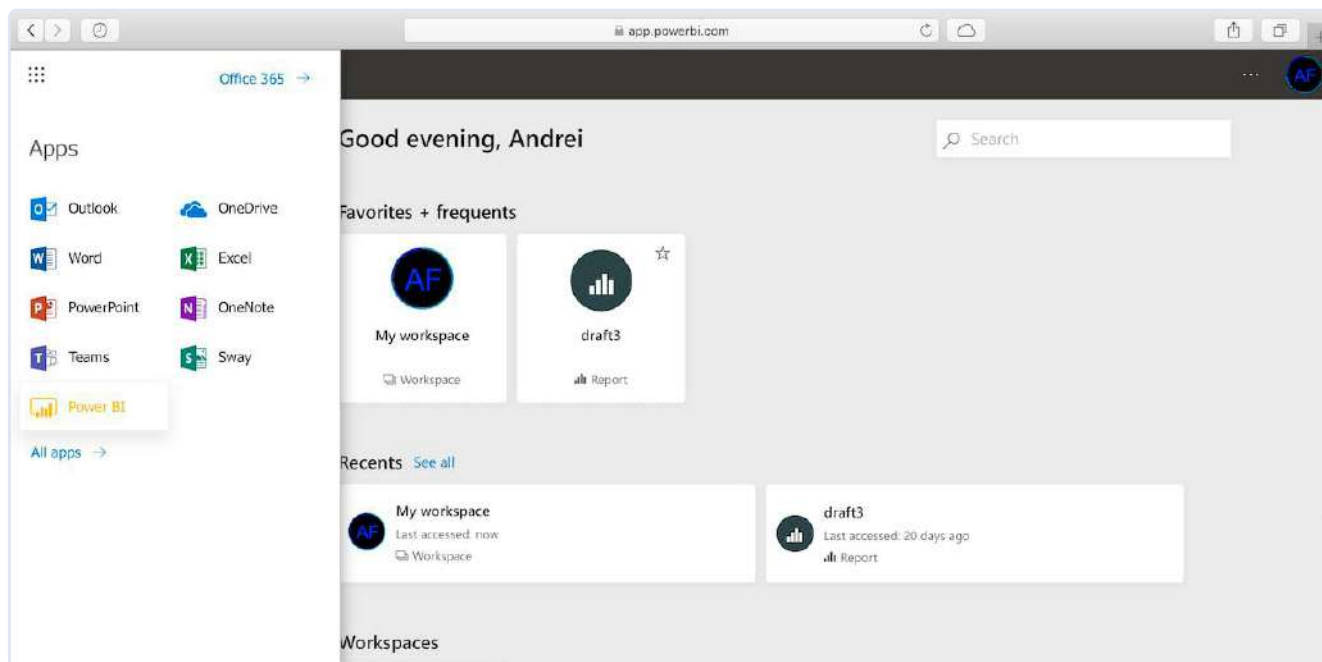


Figure 9. Accédez à Power BI de Microsoft dans l'application Office Online.

## Une solution IdO

Un ensemble d'appareils Senso tels que décrits ci-dessus, cachés dans les bois, peut guetter les tronçonneuses et alerter les autorités lorsque des arbres sont abattus. J'espère que les pays seront en mesure de mettre fin à la déforestation illégale grâce aux solutions IdO. Senso est une première approche dans la recherche de solutions bon marché pour lutter contre le changement climatique pas à pas. ◀

220423-04 — VF : Helmut Müller



## À propos de l'auteur

Basé en Irlande, Andrei Florian est un étudiant de deuxième cycle qui se passionne pour la technologie comme moyen d'inspirer des changements positifs et de gérer le développement global. Il a travaillé sur plusieurs projets portant sur divers objectifs de développement durable spécialisés dans l'Internet des objets et la cryptographie.

## Des questions, des commentaires ?

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



Figure 10. Le boîtier que j'ai conçu pour mon prototype.



## Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- > **Arduino MKR FOX 1200 (SKU 19096)**  
[www.elektor.fr/19096](http://www.elektor.fr/19096)
- > **OPEN-SMART GPS – module série GPS pour Arduino (SKU 18733)**  
[www.elektor.fr/18733](http://www.elektor.fr/18733)

## LIEN

[1] Senso sur le Arduino Project Hub : <https://create.arduino.cc/projecthub/andreiflorian/senso-c00153>

# bibliothèque Mozzi Arduino pour la synthèse sonore

le point de vue de Tim Barrass



David Cuartielles (Arduino)

La bibliothèque de sons Mozzi permet de générer de la musique algorithmique sur un Arduino, sans shield supplémentaire ni synthétiseur externe. Vous êtes curieux de savoir comment tout cela a commencé ? Le développeur, Tim Barrass, nous parle du projet, de la communauté Mozzi et de son travail d'artiste.

▲  
*Tim Barrass a développé la bibliothèque sonore Mozzi pour les cartes Arduino 8 bits.*

Tim Barrass est un artiste indépendant qui vit dans la campagne australienne. Il a développé la bibliothèque sonore Mozzi pour les cartes Arduino 8 bits ([sensorium.github.io/Mozzi](http://sensorium.github.io/Mozzi)). En 2012, Tim et son frère Stephen ont développé un projet baptisé SweatSonics. Les problèmes qu'il a constatés dans les bibliothèques de synthèse sonore existantes l'ont amené à réfléchir à une manière plus performante de produire du son à partir des premières architectures de processeurs 8 bits incorporées sur des cartes comme Arduino Uno, Nano ou Mega. Le mode de fonctionnement de la bibliothèque a fait l'objet d'un article, un an plus tard, dans le carnet d'idées de l'ICMC. Il s'agit d'un tampon sonore de taille relativement modeste, appelé au moyen d'interruptions logicielles pour produire un son PCM mono sur l'une des broches de la carte. Le dispositif expose un certain nombre de méthodes que vous devrez contourner si vous souhaitez créer votre propre instrument de musique ou installation sonore. L'une des méthodes est dédiée à la lecture des commandes, l'entrée du système, tandis que l'autre est destinée à déterminer comment ces entrées vont affecter le rendu de la sortie audio. J'ai suivi le développement de la bibliothèque Mozzi au fil des ans car j'ai toujours été très intéressé par

les possibilités des microcontrôleurs pour la production de sons. Tim a passé plus de 30 ans à se produire en tant que musicien et à réaliser des installations sonores. Il a créé Mozzi pour faciliter son travail dans le domaine de l'art sonore. Mozzi est probablement l'outil le plus ancien pour créer facilement des oscillateurs, des boîtes à rythmes, des œuvres d'art sonores interactives et des instruments de musique novateurs. S'il a d'abord fonctionné sur des cartes Arduino 8 bits, l'outil a récemment été porté sur d'autres architectures. Il est toujours agréable de voir comment un code peut avoir une vie propre et être diffusé sur différentes machines. Dans cette interview, vous apprendrez à connaître Tim, son travail, le projet Mozzi et la communauté qui l'entoure.

**David Cuartielles : Après avoir découvert l'origine de la bibliothèque Mozzi, je me suis mis à penser que vous deviez avoir une formation musicale et technologique. Suis-je loin de la vérité ? Pouvez-vous vous présenter brièvement ?**

**Tim Barrass :** Oui, je suis un artiste formé dans le domaine de la technologie. Je vis à la campagne depuis quelques années maintenant, où je passe l'essentiel de mon temps à réparer des clôtures et cultiver des



plantes. Je ne fais plus autant d'électronique, bien que je fasse quelques expositions d'art de temps en temps. Je joue dans un groupe, mais nous ne nous produisons pas très souvent. J'ai travaillé pendant les 30 dernières années avec un cirque, un théâtre physique. Je jouais de la musique pour eux. Cela m'a servi pour Mozzi, parce que les possibilités sonores des récepteurs audio/vidéo (AVR) sont comparables au type de son que je faisais pour le cirque.

#### Cuartielles : Avez-vous une formation officielle dans ce domaine ?

**Barrass :** J'ai étudié le design industriel quand j'étais jeune, et pendant une année, l'animation par ordinateur et la technologie musicale. J'ai fait des recherches sur les processus parallèles massifs, par exemple sur la façon de programmer des populations de fourmis, ce qui était ma recherche de maîtrise.

#### Cuartielles : J'ai lu cet article que vous avez publié - je suppose - avec votre frère et dans lequel vous présentez Mozzi pour la première fois. Vous y mentionnez que ce travail est issu d'un projet appelé Sweatsonics. Pouvez-vous nous expliquer en quoi consiste ce projet ?

**Barrass :** C'est un sujet sur lequel mon frère faisait des recherches. Il s'intéressait à la façon dont les gens utilisaient le son dans les activités physiques. Ces travaux ont été réalisés en 2009 avec des iPod et des accéléromètres. C'était une façon pour Steve de contextualiser son travail. Rien de sérieux n'en est sorti, ni une entreprise, ni rien de tel.

#### Cuartielles : Pourquoi Mozzi ? Aviez-vous besoin d'une bibliothèque pour faciliter votre propre développement, essayiez-vous de simplifier la création de sons à l'aide de microcontrôleurs ?

**Barrass :** Lors de la conférence NIME (*New Interfaces for Musical Expression*) en 2010, nous avons réalisé quelques petits objets grâce à l'environnement Arduino. Nous avons expérimenté l'orientation et le son. Nous avons aussi préparé quelques petits objets qui ont nécessité des corrections tard dans la nuit. Il était environ 5 heures du matin et nous étions encore en train de programmer. Nous avons testé un code d'Adrian Freed, qui a réalisé l'une des premières générations d'ondes sonores avec un Arduino. Suite à cette expérience, j'étais déçu et j'ai senti que je devais faire quelque chose. Mon frère avait tenté de créer sa propre bibliothèque, mais il avait perdu le code. Je suis parti de zéro, car c'était la première chose que j'avais faite avec Arduino, et je dois dire que c'était très amusant. J'ai expérimenté cet univers pendant quelques années, en maintenant la bibliothèque, avec l'espoir de pouvoir faire des trucs géniaux. Je ne l'ai jamais fait pour faire des trucs, mais pour créer la bibliothèque.

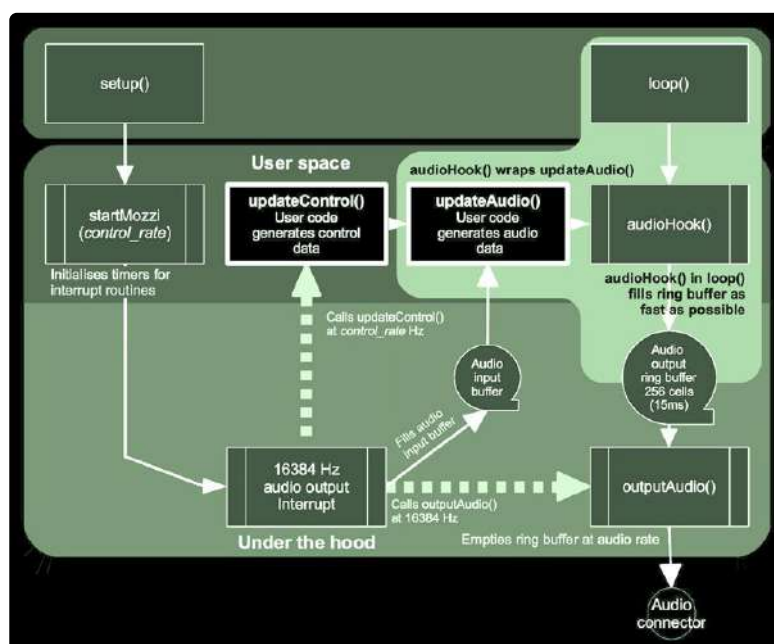
**Cuartielles :** Cela donne une meilleure perspective de l'histoire. En lisant l'article, j'avais une idée différente de la façon dont vous avez créé Mozzi. C'est génial d'avoir la possibilité de dialoguer pour comprendre comment les choses ont été faites concrètement et pourquoi. On dirait que vous l'avez fabriqué pour vous-même, mais que beaucoup d'autres personnes l'ont utilisé, non ?

**Barrass :** Depuis le début, je voulais partager la bibliothèque. Quel est l'intérêt d'écrire tout ce code et de le garder pour soi ? Cependant, publier une bibliothèque représente un énorme travail. Certains me disaient que j'allais devoir la maintenir éternellement et que je devais simplement faire mon truc et passer à autre chose. C'est ce que j'avais en tête, et au bout d'un moment, c'est ce qui s'est passé. Le projet a demandé beaucoup de travail, et j'en ai eu assez après quelques années. J'ai appris le C et le C++ en créant Mozzi. Lorsque je l'ai rendu public, j'étais stressé en pensant que ce n'était pas assez bon. Et au bout d'un moment, j'ai senti que je ne pouvais plus travailler dessus.

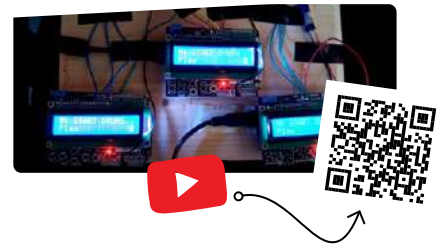
**Cuartielles :** J'ai vu Mozzi un peu partout, dans des universités et des salons. Cette bibliothèque revient tout le temps. Si quelqu'un veut faire un projet lié au son, il y a un moment où il va nécessairement télécharger et essayer Mozzi.

**Barrass :** Je suis moi-même surpris car le framework est une chose très simple. Au cours des deux dernières années, de très bons programmeurs l'ont porté sur d'autres plateformes. Ils sont probablement beaucoup plus expérimentés que moi ; c'est assez intimidant.

*L'interface entre la bibliothèque Mozzi et l'environnement Arduino se compose de quatre fonctions principales. (Source : <https://sensorium.github.io/Mozzi>)*



Vidéo : OscPocketo, an Arduino pocket synth and drum machine.



```
#include <MozziGuts.h>
#include <Oscil.h>
#include <tables/sin2048_int8.h>

#define CONTROL_RATE 128
Oscil <2048, AUDIO_RATE> aSin(SIN2048_DATA);

void setup(){
    aSin.setFreq(440);
    startMozzi(CONTROL_RATE);
}

void updateControl(){
}

int updateAudio(){
    return aSin.next();
}

void loop(){
    audioHook();
}
```

Un croquis Mozzi minimal. (Source : <https://sensorium.github.io/Mozzi>)

Je suis surpris qu'ils ne l'aient pas écrit de manière beaucoup plus claire en partant de zéro.

**Cuartielles :** Je pense que ce qui fonctionne avec Mozzi, c'est le paradigme que vous proposez. Pour que nos lecteurs comprennent mieux, vous exposez deux méthodes à remplacer, baptisées « updateControl » et « updateAudio ». L'une traite les interfaces physiques, l'autre le rendu sonore. Et c'est là que réside plus ou moins la magie. Le dispositif produit des signaux sonores mono. Pour de nombreuses personnes - programmeurs ou instrumentistes - qui ne sont pas nécessairement des luthiers et ne comprennent pas comment produire une sortie sonore, il y a là de grandes possibilités de création. Je peux reconnaître la beauté qu'apporte la simplicité de cette architecture. Il y a quelques points forts sur lesquels j'aimerais vous interroger.

**Barras :** Une routine d'interruption lente se produit 64 fois par seconde et s'interface avec les capteurs ou les signaux MIDI pour vous permettre de définir des variables. Il y a également une interruption du débit audio où vous pouvez utiliser ces variables pour affecter les sons au cours de la phase de synthèse. Dans le contexte du framework, je m'attendais à ce que les utilisateurs l'étendent par le biais de classes. Il y a un certain nombre de classes de synthèse, mais pas de classes de contrôle. Je l'ai fait pour que d'autres puissent l'étendre avec leur propre code. Dans un certain sens, c'est un peu comme le Forth, le premier langage de programmation que j'ai appris ; il y a une

entrée et une sortie, et c'est tout.

Les modules de synthèse sont faits pour que les utilisateurs puissent créer les leurs. Je n'ai proposé que quelques exemples sur la manière de faire une synthèse. J'avais espéré qu'il y ait des développements à ce sujet, mais ce n'est pas vraiment ce qui s'est produit. Il y a la place pour aller plus loin et produire des sons nouveaux. Stenduno a été parmi les premiers à travailler avec le dispositif. Ils ont fabriqué des instruments de musique assez tôt - 2013 ou 2014. Ce qui les intéressait, c'était la création de leurs propres sons, et pas seulement la modification des paramètres des sons existants. J'ai aimé ce qu'ils ont fait avec le design des circuits imprimés, etc. Leurs œuvres sont maintenant des objets de collection et elles sont même devenues assez chères.

**Cuartielles :** Si j'ai bien compris, le projet d'origine était très limité en raison de la conception des cartes. Vous pouviez le son à 16 kHz, sur des cartes fonctionnant à 16 MHz. Mais savez-vous jusqu'où les utilisateurs ont poussé les performances ?

**Barras :** Certains ont produit des cartes qui peuvent fonctionner à des fréquences plus élevées. Je n'ai pas été en mesure de les essayer, car je n'ai pas le matériel nécessaire. Mais ce qui me surprend, c'est que des utilisateurs continuent à utiliser mon code, qui a été optimisé pour fonctionner dans ces contraintes originales, et écrit de manière non intuitive, avec de l'arithmétique à virgule fixe... ces nouveaux processeurs peuvent faire beaucoup mieux. L'un de ces gars m'a dit qu'il aimait le fait de pouvoir écrire le code pour une plateforme et continuer à travailler sur une autre. Pour moi, le défi, dans ce cas, est d'attendre de ces petites cartes qu'elles fassent des choses qui sont conçues pour des processeurs plus grands.

**Cuartielles :** À un moment donné, j'ai animé un atelier au cours duquel j'ai conçu une boîte à rythmes permettant d'enregistrer une seconde de votre voix dans la mémoire du microprocesseur ATmega328 (celui de l'Arduino Uno d'origine) et de l'utiliser comme ensemble de sons de base pour créer un looper ou une batterie. Parmi les participants de l'atelier, il y avait un couple d'artistes français qui avait porté libpd (moteur sonore du logiciel PureData) pour le faire fonctionner sur l'Arduino Uno, ce qui m'a époustoufflé. Je savais qu'au sein du MTG de Barcelone (le

master en production numérique de l'université Pompeu Fabra), PureData avait été porté pour qu'il fonctionne sur des machines 8 bits, mais je ne l'avais jamais vu fonctionner sur une carte Arduino aux ressources très limitées. Nous avons déjà parlé de ce qui vous a poussé à créer Mozzi, mais étiez-vous au courant des autres solutions existantes et celles-ci vous ont-elles influencé vos décisions d'une manière ou d'une autre concernant la création de Mozzi ?

**Barrass :** Je n'étais pas au courant du portage de libpd. À notre connaissance, il existait peu de choses utilisant le concept d'un temporisateur à interruptions et des tables d'ondes. Je n'ai pas vraiment cherché, mais je n'ai rien trouvé, y compris l'interruption de contrôle, qui aurait permis de faire quelque chose d'intéressant avec le son. Il n'y a eu que quelques tentatives qui n'étaient ni terminées ni performantes. Je ne pense pas que les exemples que j'ai trouvés avaient un tampon audio, et c'est ce qui a rendu Mozzi plus flexible au final, un petit volume d'audio en tampon qui vous permet de faire autre chose. Cela me rappelle un des problèmes de Mozzi : certains capteurs bloquaient le processeur. Quelqu'un a écrit un code non bloquant pour travailler avec les capteurs, et il est maintenant incorporé dans Mozzi. J'ai fait des essais incluant jusqu'à cinq capteurs différents. Certains d'entre eux sont difficiles à utiliser en raison du volume modeste du tampon sonore.

**Cuartielles :** Pour les lecteurs peu versés dans le son, je dois expliquer qu'un tampon sonore est une technique qui permet de préparer un certain nombre de millisecondes de données que vous allez émettre à l'aide d'une interruption temporisée. Cela entraîne une certaine latence, c'est-à-dire une différence de temps entre le moment où vous envoyez une commande et celui où le son est modifié. Dans le cas de Mozzi, elle est de 15 millisecondes. Quel est l'effet perçu de cette latence ?

**Barrass :** C'est comme un effet de « chorus » (chœur) ou de « delay flanger » (mélangeur retardateur). Il est très discret et s'entend surtout dans les percussions. Mais Mozzi n'a jamais vraiment été conçu pour créer des instruments de musique ; il était plutôt destiné à créer des installations. Je suis surpris de voir combien de personnes ont créé des synthés avec des boutons, des câbles et du MIDI, et des capteurs pas si fous que ça. Mon frère et moi avions une expérience de la sonorisation et nous pensions à des choses comme une soufflerie, dotée de nombreux dispositifs Arduino qui pourraient modifier la perception du son. Ce n'est pas la fabrication d'instruments qui nous intéressait moi et mon frère.

**Cuartielles :** Avez-vous des exemples de ces installations et de ces productions sonores ?

**Barrass :** Il y en a un certain nombre sur la page Galerie de la bibliothèque Mozzi : <https://sensorium.github.io/Mozzi/gallery/>.

**Cuartielles :** J'aimerais avant tout savoir ce que vous avez en tête. Cette interview porte sur ce qui inspire les gens à créer des choses pour aider les autres, dans l'esprit de la démarche open source. Mais j'ai aussi quelques questions plus amusantes. Commençons par celles-ci. D'où vient le terme *Mozzi* ? J'ai lu que le terme d'argot *mozzi* désigne le moustique en Australie et en Nouvelle-Zélande. Est-ce bien le cas ?

**Barrass :** Au départ, nous voulions l'appeler *Project Cuttlefish* (projet Seiche), car l'un des objets fabriqués était taillé dans un os de seiche. Et à la dernière minute, nous avons opté pour *Mozzi*, parce que cet animal émet de petits sons et que la bibliothèque ainsi baptisée allait vraiment être utilisée avec de petits haut-parleurs, sans amplification ou enregistrement. C'est ce qui convenait vraiment - un petit son. Je suis assez surpris de la façon dont les choses se sont passées. Si vous avez de la place (dans votre instrument de musique), pourquoi ne pas expérimenter quelque chose qui soit beaucoup plus facile à utiliser ?

**Cuartielles :** Il existe d'autres plateformes plus récentes que *Mozzi* et qui ont fini par disparaître, comme *Axolotl*. Il s'agit (ou s'agissait) d'une très belle carte dotée d'un logiciel qui vous permettait de patcher des blocs pour modifier le son. Malheureusement, sa production était très coûteuse et il ne semble pas que le projet ait été poursuivi. Il existe quelque chose de nouveau appelé *Bale*, qui possède un hub USB, et des entrées de capteurs...

**Barrass :** Il y a quelques semaines, j'en ai vu un appelé *Daisy Seed*.

**Cuartielles :** Oui, c'est exact. Depuis l'arrivée du *Cube-X* (une ancienne plateforme de capteurs programmable avec *Max/MSP*), il y en a eu bien d'autres. Cependant, dans certaines situations, vous avez simplement besoin d'un morceau de code à ajouter à votre projet existant, et c'est là qu'un dispositif comme *Mozzi* peut jouer un rôle important. Si les interruptions n'entrent pas en collision avec le reste du code, vous pouvez le faire fonctionner. Il y a une différence avec ces systèmes dédiés et autonomes.

Vidéo : Turbulence Wind Sound Installation.





**Barrass :** Je n'ai jamais pensé que Mozzi était facile à comprendre, et je n'en suis toujours pas sûr. J'ai eu l'impression de devoir beaucoup l'expliquer aux autres, pendant longtemps. Je suis très heureux si l'outil est facile à comprendre pour certaines personnes.

**Cuartielles :** En lien avec ce concept d'explication de la bibliothèque à d'autres personnes, j'allais également poser une question sur la diffusion. Votre page de documentation comporte 12 catégories d'exemples. Je les lis dans l'ordre, en ajoutant de la complexité au fur et à mesure. Aviez-vous une intention pédagogique lorsque vous les avez créés, ou vous contentiez-vous de décrire les capacités du système ?

**Barrass :** L'un et l'autre. J'ai probablement fait les exemples dans l'ordre où j'ai écrit la bibliothèque. Et, progressivement, je suis passé à des exemples plus intéressants.

**Cuartielles :** Il est très courant dans ce monde de la technologie et de l'art, qui est également lié au monde universitaire, de finir par enseigner au cours d'ateliers sur la technologie. Avez-vous, à un moment donné, organisé des ateliers utilisant Mozzi avec des musiciens et des artistes d'installation pour expliquer les possibilités de la bibliothèque ?

**Barrass :** [rires] Mon frère travaillait en tant qu'universitaire. C'était très bien pour lui de continuer ses voyages autour du monde et d'enseigner dans le cadre

de quelques ateliers. Mais je n'ai pas suivi cette voie, même si j'aurais aimé le faire.

**Cuartielles :** Qu'en est-il des collaborations et des contributions ? En accédant au référentiel Github, j'ai pu voir qu'il y a des pics pour la production du code, mais qu'en est-il des collaborations, de l'ajout d'autres noyaux, des demandes de retrait, de la gestion des problèmes, etc. ?

**Barrass :** Il y a probablement trois ans, Thomas Friedrichsmeier m'a contacté alors qu'il effectuait un portage sur sa plateforme. Jusque-là, nous communiquions par un rapport de bogue occasionnel que j'essayais de suivre. Au bout de quelques mois, j'ai demandé à Thomas s'il voulait être un collaborateur, puisque je n'avais ni son matériel ni le temps de m'y intéresser. Je n'avais pas envie de gérer sa base de code, et il a commencé à s'occuper de l'essentiel du développement, surtout du portage, plutôt que d'étendre le côté créatif. Il est génial.

Un autre développeur, Thomas Combriat, est arrivé plus récemment et a apporté de nombreuses contributions. L'autre Thomas semble être heureux de faire le gros du travail. Les choses décollent. J'apprécie que le projet soit devenu autonome par rapport à moi. Comme sur le forum où les utilisateurs s'entraident (Thomas Friedrichsmeier a réalisé le portage de Mozzi pour le STM32, les processeurs ESP et le RP2040. Thomas Combriat, quant à lui, s'est occupé de Teensy 4).

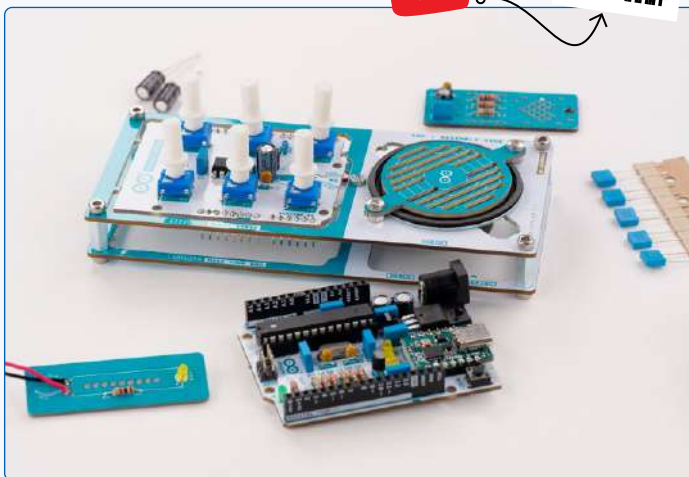
## Le kit Arduino Uno DIY

Si vous voulez effectuer des expérimentations avec la bibliothèque Mozzi, vous pouvez utiliser quelque chose de tout petit comme l'Arduino Uno, et un simple élément piézo connecté à la broche numéro 9 de votre carte. Vous pouvez également construire une machine sonore dédiée avec le kit Arduino Uno DIY. Vous devrez assembler votre propre Arduino Uno et le shield de synthétiseur qui l'accompagne, qui contient six potentiomètres (cinq connectés aux entrées analogiques et un pour contrôler le volume), un amplificateur audio et un haut-parleur, petit mais puissant. En fonction de votre niveau en matière de soudage, il vous faudra entre 60 et 90 minutes pour tout assembler et commencer à jouer. Tous les composants du kit sont à trou traversant. Nous avons inclus un module USB-C pour effectuer des chargements vers le processeur principal, alimenter la carte et avoir une communication série en retour vers votre ordinateur.

Avec le kit Arduino Uno DIY, vous pouvez produire des airs simples en utilisant la bibliothèque de sons par défaut dans l'IDE, mais vous pouvez aussi créer des sons synthétiques complexes en chargeant la bibliothèque Mozzi sur votre carte. Démarrez avec le kit DIY Uno et Mozzi en trois étapes :


1. Assemblez le kit Arduino Uno DIY et le shield synth (~60 min).
2. Installez la bibliothèque Mozzi pour Arduino dans votre IDE (~5 min).
3. Essayez différents exemples.

Vidéo : Exemple de la bibliothèque Mozzi avec ce shield



## Cuartielles : Ce qui nous amène à la question encore sans réponse : Quel est votre principal centre d'intérêt en ce moment ?

**Barrass :** J'ai emménagé ici (dans la campagne australienne) en pensant que j'allais faire pousser des légumes, mais les kangourous et les wallabies ne cessent de les manger. Et puis nous avons eu des feux de brousse, qui ont complètement ruiné nos projets. Nous sommes encore dans la phase de récupération. Depuis, mon travail créatif est surtout orienté vers mon groupe punk de protestation politique. Le groupe est installé sur une remorque et il joue pendant qu'elle se déplace. Il est vraiment dirigé par des acrobates de cirque avec lesquels j'ai joué de la musique pendant près de trois décennies - je les soutiens en jouant de la guitare pour les chansons qu'ils écrivent. Nous n'avons pas encore donné de véritables concerts. Je ne pense pas que nous irons loin ! Les chansons sont longues et ennuyeuses si vous ne connaissez pas les abominables hommes politiques dont elles parlent. Les wombats que l'on voit au milieu de cette vidéo - <https://youtu.be/E4qUPzUWxxA> - sont des animaux dont je me suis occupé comme soignant pour la faune

sauvage. L'une de mes principales activités consiste maintenant à aider une organisation de sauvetage de la faune à élever et à relâcher des animaux après les incendies dévastateurs qui ont eu lieu ici en 2019 et 2020. 

220438-04 — VF : Pascal Godart

### À propos de l'auteur

David Cuartielles est co-fondateur d'Arduino. Titulaire d'un doctorat en design d'interaction et d'un master en génie des télécommunications, il enseigne à l'université de Malmö.

### Des questions, des commentaires ?

Avez-vous des questions ou des commentaires relatifs à cet article ? N'hésitez pas à contacter Elektor à l'adresse [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr).

## LIENS

- [1] T. Barrass, « Greenwash », 2013 : <https://vimeo.com/69398645>
- [2] J. Deladrière, MozMo: Arduino Mozzi Synth in Eurorack Hardware, 2021: <https://bit.ly/github-Mozmo>
- [3] A. Freed, « Arduino Sketch for High Frequency Precision Sine Wave Tone Sound Synthesis », 2009: <https://bit.ly/freed-sketch>
- [4] Y. Nakanishi, Powderbox, The University of Tokyo: <https://yoshihito-nakanishi.com/projects/powderbox/>



## Produits

Vous recherchez les principaux produits mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- > **Arduino Uno Rev3**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-uno](http://www.elektormagazine.fr/arduino-uno)
- > **Arduino Uno DIY + Synth Shield Kit**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-synth-shield-kit](http://www.elektormagazine.fr/arduino-synth-shield-kit)



## L'édition spéciale bonus d'Arduino

Chaque semaine, de nouveaux articles déclassifiés !

## Obtenez-le ici GRATUITEMENT !

[www.elektormagazine.fr/arduino-bonus](http://www.elektormagazine.fr/arduino-bonus)



# les nouveaux Portenta X8

(avec Linux !) et

## Max Carrier

redéfinissent le champ des possibles



Stefano Implicito (Arduino)

La mission d'Arduino a toujours été de donner aux créateurs, aux électroniciens et aux innovateurs les outils dont ils ont besoin pour transformer leurs idées en projets réels. Cela ne changera jamais. Ce qui change, et à une vitesse vertigineuse, c'est notre définition du « possible ».

Chaque jour, le matériel open source accessible, flexible et fiable d'Arduino devient plus puissant, et notre écosystème plus complet. Comme vous l'avez peut-être entendu récemment, Arduino Pro a lancé deux nouveaux produits dans la gamme Portenta : la carte révolutionnaire X8, qui fusionne Arduino et Linux pour la première fois, et Max Carrier, qui vous donne de super capacités de prototypage pour donner vie à vos idées plus facilement et plus rapidement que jamais.

### Portenta X8

Portenta X8 est un SOM *plug-and-play*, de qualité industrielle, livré avec Linux OS préchargé, ce qui en fait une combinaison hybride de microprocesseur et de micro-contrôleur avec la capacité d'IA et de ML

sur la périphérie (figure 1). Il s'agit essentiellement de deux produits en un, avec la puissance de pas moins de sept cœurs. Il est doté d'un quadricœur NXP i.MX 8M Mini qui contient un Cortex-A53 (jusqu'à 1,8 GHz par cœur) plus un Cortex-M4 (jusqu'à 400 MHz), et d'un STM32H747XI double cœur Cortex-M7 (jusqu'à 480 MHz) + Cortex-M4 32-bit (jusqu'à 240 MHz). Le Portenta X8 est capable d'exécuter des logiciels indépendants grâce à son architecture de conteneur modulaire.

Grâce à la connectivité Wi-Fi/Bluetooth embarquée, vous pouvez effectuer des mises à jour du système d'exploitation et des applications à distance, afin que l'environnement du noyau Linux soit toujours au top des performances. La sécurité améliorée est

garantie par l'élément NXP SE050C2 Crypto de X8, qui sécurise les connexions au niveau matériel avec la certification PSA. Le module a également obtenu la certification Arm SystemReady et intégré les services Parsec, ce qui en fait l'un des premiers produits Cassini disponibles pour vous sur le marché.

C'est tout ce dont vous avez besoin pour développer vos projets les plus ambitieux pour l'industrie 4.0, l'agriculture intelligente, les bâtiments connectés et les villes intelligentes : consultez les spécifications techniques complètes sur la page dédiée [1] et donnez du pouvoir à vos applications Linux avec une exécution en temps réel.

### Max Carrier

Si cela ne suffisait pas, Arduino Pro a également présenté le Portenta Max Carrier (figure 2), qui booste le X8 ou le



Regarder  
Portenta  
Max Carrier  
d'Arduino Pro

<https://youtu.be/GxN2-hs9288>








H7 en ajoutant des options de connectivité (Fieldbus, LoRa, Cat-M1 et NB-IoT), des connecteurs industriels tels que RS232/422/485, USB, mPCIe, plus trois prises audio intégrées, une carte MicroSD et plus encore. [2]

Vous pouvez combiner ce support Arduino Pro avec les modules Portenta existants pour les transformer en ordinateurs monocartes ou en conceptions de référence pour l'industrie 4.0, ramenant votre temps de déploiement pratiquement à zéro. Vous pouvez ainsi prototyper et développer rapidement des projets performants tels que le contrôle à distance de machines et d'équipements industriels, des kiosques numériques intelligents qui améliorent l'expérience des utilisateurs, et des tableaux de bord IHM personnalisés pour contrôler à distance les appareils, les lumières et les systèmes intelligents de votre maison ou de votre bureau.

Aussi excités que nous soyons par ces lancements, il ne s'agit jamais seulement d'un nouveau produit (ou deux !), mais aussi des nombreuses nouvelles idées que nous pouvons susciter, de l'innovation que nous pouvons alimenter et des nouvelles opportunités que vous pouvez créer, si vous disposez des bons outils. 

220377-04 — VF : Maxime Valens

*Portenta X8 est un  
SOM de qualité  
industrielle, prêt  
à l'emploi, livré  
avec un système  
d'exploitation Linux  
préchargé à bord.*



### Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- **Arduino Portenta Max Carrier**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-max-carrier](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-max-carrier)
- **Arduino Portenta X8**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-x8](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-x8)

### À propos de l'auteur

Stefano Implicito associe une profonde passion pour la technologie à une capacité naturelle à établir des liens avec les gens qui transcendent les canaux de communication, les pays et les cultures. Après plus de dix ans d'expérience dans la gestion de la relation client dans le secteur high-tech B2B, il a lancé avec succès, en tant que responsable du marketing produit chez Arduino, plus d'une douzaine de nouveaux produits pour l'unité commerciale Arduino Pro, qui connaît une croissance rapide. Il considère l'extension du modèle open-source de l'entreprise, qui a fait ses preuves, du mouvement des makers et des milieux éducatifs aux applications industrielles à part entière, comme un moyen de générer de l'innovation et des opportunités pour l'ensemble de la communauté, et d'évoluer vers un monde où la technologie est réellement accessible à tous.

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ([pro@arduino.cc](mailto:pro@arduino.cc)) ou contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



Figure 1. Portenta X8 est un module puissant, de qualité industrielle, avec un système d'exploitation Linux préchargé, capable d'exécuter des logiciels indépendants du périphérique grâce à son architecture de conteneur modulaire.



Figure 2. Le Max Carrier transforme les modules Portenta en ordinateurs monocartes ou en conceptions de référence qui permettent une IA périphérique pour les applications industrielles, d'automatisation des bâtiments et de robotique à haute performance.

## LIENS

[1] Arduino Portenta X8 : [www.arduino.cc/pro/hardware/product/portenta-x8](http://www.arduino.cc/pro/hardware/product/portenta-x8)

[2] Arduino Portenta Max Carrier : [www.arduino.cc/pro/hardware/product/portenta-max-carrier](http://www.arduino.cc/pro/hardware/product/portenta-max-carrier)

# comment l'utilisation d'Arduino aide les étudiants à acquérir des compétences futures

CTC GO ! est un programme d'apprentissage complet et pratique qui guide les élèves à travers les concepts fondamentaux de l'électronique et du codage, et les met au défi d'assembler, de câbler et de programmer des jeux de table.

Keith Jackson (Arduino)

Arduino Education développe des programmes STEAM innovants qui aident les étudiants tout au long de leur parcours d'apprentissage, du collège à l'université. Les programmes comprennent une variété de produits électroniques, des logiciels libres, du contenu en ligne, ainsi qu'une formation et une assistance guidées pour les éducateurs.

## Compétences les plus demandées par les employeurs

- Réflexion critique et résolution de problèmes
- Créativité
- Travail d'équipe
- Communication
- Culture numérique
- Adaptabilité

Les compétences du futur ? En quoi consistent-elles ? Eh bien, il s'agit de toutes les compétences comportementales ou *soft skills* qui seront utiles aux élèves d'aujourd'hui dans leur futur parcours professionnel. Pensez à considérer des choses comme la résolution de problèmes, la pensée critique, la créativité et la collaboration – des compétences que vous avez probablement aiguës naturellement grâce à votre passion pour le bricolage électronique, la programmation ou le développement. Ces types de compétences doivent être délibérément développés dans les écoles (et à domicile), surtout durant l'ère numérique, afin d'étendre les compétences des élèves au-delà du programme standard et d'améliorer leur attrait pour les futurs employeurs. Et l'utilisation des produits Arduino aide les formateurs à faire exactement cela. Comment ?

## Arduino est plus que de l'électronique et du codage

Lorsque vous utilisez des produits ou des kits Arduino, vous commencez essentiellement de zéro pour créer quelque chose. Vous devez être créatif avec le circuit, créatif avec le code, trouver des solutions en cas de problèmes, rechercher différentes façons de faire les choses, essayer quelque chose de nouveau, demander de l'aide à un ami. Cela peut vous sembler un processus naturel, mais à chacune de ces étapes, vous utilisez une compétence non technique – et ces compétences ne se développent pas aussi naturellement à un jeune âge.

Le même processus s'applique à l'environnement scolaire – ou à la maison si vous utilisez Arduino avec vos enfants. Mais, dans la classe ou le laboratoire de sciences, vous pouvez utiliser des kits Arduino éducatifs conçus à cet effet, qui non seulement aident à enseigner l'électronique, la programmation, le codage ou l'ingénierie, mais veillent également à ce que les élèves acquièrent ces compétences comportementales.

## L'effet Arduino à l'université de Penn State

L'université d'État de Pennsylvanie se classe parmi les meilleures universités de recherche du monde. Elle fait partie des milliers d'institutions dans le monde qui ont été touchées



par la pandémie de coronavirus. Les docteurs Herschel Pangborn et Pansy Leung, du département de génie mécanique, ont trouvé de nouveaux et innovants moyens d'enseigner à distance en utilisant le kit étudiant Arduino. Bien que M. Herschel admette que ses étudiants juniors en ingénierie étaient amusement curieux qu'il a recommandé un kit destiné aux 11-13 ans, mais une fois qu'ils ont découvert son potentiel illimité, ils l'ont utilisé pour des projets dans le cadre de leur programme de cours tout en apprenant chez eux. Non seulement ce kit a permis de « comprendre comment les circuits fonctionnent dans la vie réelle », selon un étudiant, mais il a également fourni au département un moyen d'enseigner aux étudiants la résolution de problèmes.

Pansy, qui souhaite transformer son laboratoire en un processus de résolution de problèmes, déclare : « Les élèves appliqueront ce qu'ils ont appris avec Arduino au niveau

junior pour résoudre des problèmes réels, au lieu de se contenter de comprendre la théorie qui sous-tend la résolution de problèmes. » Il est essentiel de mettre la main à la pâte pour apprendre à résoudre des problèmes. Cela vous permet de vous investir dessus et d'être responsable de la résolution du problème, de stimuler la créativité dans la recherche de

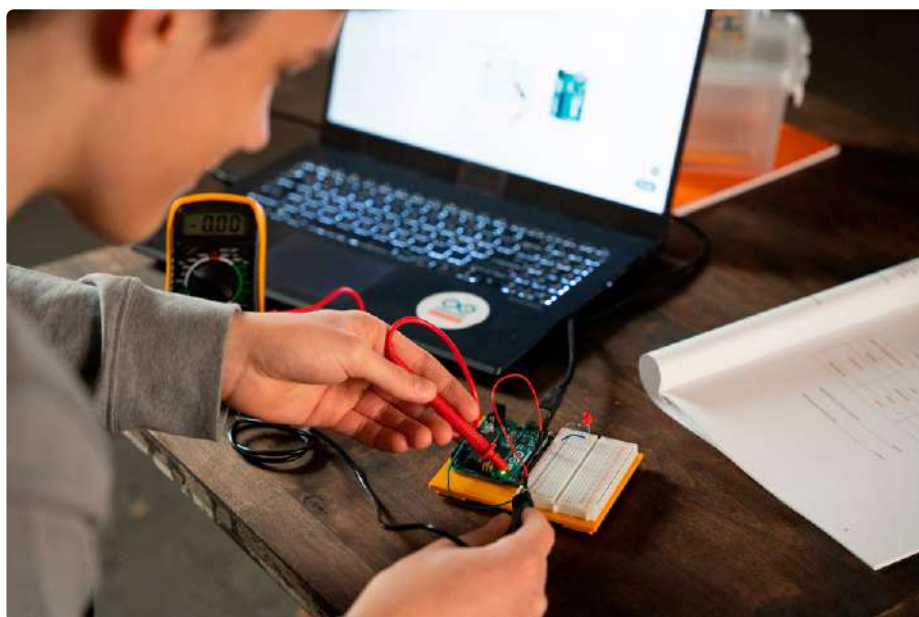
solutions et d'être persuadé de trouver des réponses innovantes.

### L'importance de l'expérimentation et de l'apprentissage pratique

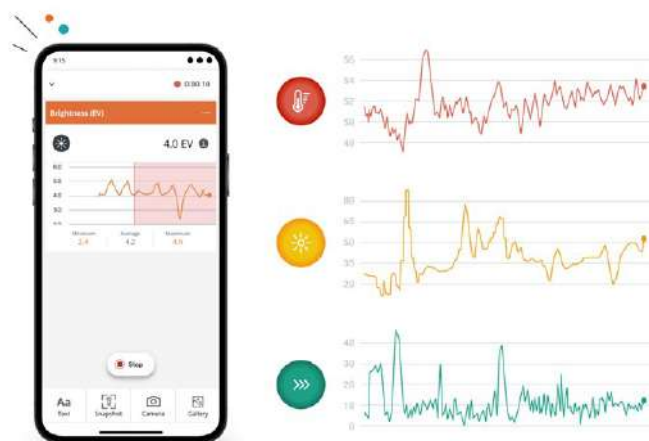
Comme l'ont découvert les étudiants de la Penn State University, l'apprentissage par la pratique est essentiel pour arriver à comprendre un concept et pour être capable de le décomposer en petites parties. Cela a toujours été vrai (rappelez-vous la citation de Confucius : « J'entends et j'oublie, je vois et je me souviens, je fais et je comprends »), ce qui amène à se demander pourquoi on a pensé que c'était une bonne idée d'avoir des enfants assis en rangs apprenant depuis des livres. Et le fait de mettre la main à la pâte ne vous aide pas seulement à comprendre un concept. En tant qu'étudiants, vous avez 1,5 fois plus de chances d'échouer à un cours si vous ne vous engagez pas dans un apprentissage

### Le kit étudiant d'Arduino

Les enfants peuvent s'initier aux bases de l'électronique, de la programmation et du codage avec le kit étudiant d'Arduino. Aucune connaissance préalable n'est requise. Le kit vous guide à travers 11 activités, introduisant des concepts tels que le courant, la tension et la résistance. Chaque kit comprend le matériel, l'accès au contenu d'apprentissage en ligne et une assistance dédiée, ce qui le rend idéal pour l'enseignement à distance, l'enseignement à domicile et l'auto-apprentissage. Plus d'informations : [arduino.cc/education/student-kit](https://arduino.cc/education/student-kit)



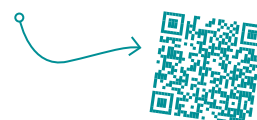
Le kit étudiant Arduino



Grâce à des capteurs intégrés, les élèves peuvent découvrir et jouer avec leurs environnements de manière simple et pratique.

### Application Science Journal

Le Dr Bates utilise l'application Science Journal, qui vous permet de collecter des données concernant le monde qui vous entoure en exploitant les capteurs de votre smartphone ainsi que les capteurs connectés à Arduino. Plus d'informations : [arduino.cc/education/science-journal](https://arduino.cc/education/science-journal)







par la pratique [1]. Ce type d'apprentissage engage également les deux parties de votre cerveau, et les scans montrent également une activité accrue dans les zones sensorielles et motrices du cerveau lorsque vous pensez à des concepts pour lesquels vous avez eu une expérience pratique.

Alan Bates, professeur de physique au Haileybury College, au Royaume-Uni, déclare : « Ce que j'aime dans Arduino, c'est que vous pouvez l'utiliser pour des expérimentations traditionnelles, mais aussi pour réinterpréter ces expérimentations. Vous pouvez même amener les élèves à concevoir leurs propres instruments pour les expérimentations, ce qui leur permettra d'avoir une vision plus profonde. Et ce faisant, les élèves acquièrent de nombreuses compétences, que j'appelle des compétences de la vie réelle. Vous pouvez apprendre aux étudiants à être plus autonomes car il n'y a pas de réponse pertinente – je ne connais même pas la réponse – ils doivent explorer, échouer et essayer de nouvelles possibilités, comme c'est le cas dans le monde réel. »

### Certifier vos compétences

De nombreuses écoles reconnaissent l'importance de préparer les élèves au monde réel et à un avenir réussi en se concentrant sur le développement de compétences comportementales. C'est le cas du Parklands College de Cape Town, en Afrique du Sud, dont la mission est la suivante : « Franchir les limites, faire grandir les esprits, construire des avenir ». Alors qu'ils utilisaient les produits Arduino dans leurs cours de STEM et dans leurs projets de classe, ils ont découvert la certification Arduino, qui certifie vos connaissances Arduino dans le domaine de la programmation et de l'électronique.

Le directeur de l'innovation technologique,



Noah Kemp a été le premier étudiant du Parklands College, en Afrique du Sud, à faire certifier ses compétences en Arduino !

Richard Knaggs, a déclaré : « Nous sommes très enthousiastes car cela correspond vraiment à notre vision. Et notre vision est de nous assurer que nous donnons à nos apprenants des opportunités authentiques de trouver leur objectif afin qu'ils puissent commencer à créer leur avenir pendant qu'ils sont encore à l'école. »

La certification est une corde utile à l'arc des étudiants, car elle montre aux futurs employeurs que vous avez non seulement des compétences techniques, mais aussi les compétences futures qu'ils ont besoin que leurs employés aient pour réussir en tant qu'entreprise, comme la résolution de problèmes et la pensée critique. (Et la certification Arduino est ouverte à tout le monde !) Nous savons que l'utilisation d'Arduino aide à développer les compétences futures – et c'est quelque chose dont nous sommes vraiment fiers. Après tout, la prochaine génération aura besoin de compétences en matière de résolution de problèmes, de pensée critique et de créativité pour trouver des solutions à de nombreux défis projetés par la vie. ◀

220452-04 — VF : Asma Adhimi

### À propos de l'auteur

Keith Jackson est un consultant en marketing chez Arduino. Il a plus de 25 ans d'expérience au service d'entreprises mondiales dans le secteur de la technologie et de l'électronique.



### Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

➤ **Le kit étudiant d'Arduino**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-student-kit](http://www.elektormagazine.fr/arduino-student-kit)

## LIENS

[1] J. Arnholz, « Is Hands-On Learning Better? », BYF.org, 12 février 2019 : <https://byf.org/is-hands-on-learning-better/>

# Bien s'équiper pour mieux travailler

Quelle est la marque d'un bon labo d'électronique ? Quels outils utilise la crème des ingénieurs ? Découvrez l'environnement de travail de nos amis d'Arduino, et saisissez au vol quelques-uns de leurs conseils



**Arturo Guadalupi**  
(Contrôle fabrication)

## Optimisez votre espace

J'utilise mon labo pour réaliser des circuits audio, mais il me sert aussi de bureau. Je l'ai divisé en quatre espaces : rangement des composants, travail sur le PC, assemblage et reconstruction de circuits, mesures et impression 3D. J'ai réservé un des murs de la pièce à ma collection d'instruments de musique.

**Conseil :** choisissez des outils de qualité, mais ne soyez pas tenté de les acquérir en une seule fois ! Commencez par l'essen-

tiel, et n'achetez un nouvel outil qu'au moment opportun. Optimisez votre espace en utilisant des rangements adaptés. Tout doit pouvoir être atteint instinctivement, sans avoir à ouvrir un tas de boîtes rangées n'importe comment.

**Projet actuel :** amplificateur à tube de 50/30 W à quatre canaux et commande MIDI/BLE.

### Outils

- Oscilloscope de table
- Alimentation de laboratoire
- Fer à souder de qualité
- Multimètre portable
- Générateur de signaux portable
- Station de dessoudage à air chaud

### Liste d'envies

- Analyseur de THD
- Analyseur de spectre
- Charge électronique



**Andrea Masi**  
(DevOps/SRE)

## À chaque outil sa place

Mon labo est un espace décloisonné de 200 m<sup>2</sup> servant à plusieurs activités : travail du bois et du métal, électronique, jardinage et (bientôt) brassage.

**Conseil :** je m'efforce de suivre les règles suivantes : chaque outil doit avoir son propre emplacement ; pas d'outils sur les bureaux (juste des composants) ; avoir eu au moins trois fois besoin d'un outil avant de se le procurer (« règle des 3 »). Sécurité et confort : bon éclairage et circulation de l'air sont essentiels ; ils favorisent l'exécution de tâches comme le soudage et le meulage, les rendant même plus agréables et plus sûres.

**Projet actuel :** prototypage d'un refroidisseur par évaporation sans produit nocif (comme l'ammoniac). Cela implique de l'usinage, un peu de chimie, et de l'électronique (carte de commande des pompes, lecture des capteurs

d'humidité et de température, et exécution de l'algorithme). Vous connaissez Arduino, n'est-ce pas ?

### Outils

- Multimètre de qualité
- Oscilloscope de 100 MHz
- Pied à coulisse et micromètre
- Pistolet à air chaud
- Testeur de transistors (Atlas DCA)
- Loupe binoculaire frontale
- Pinces et étaux
- Scies circulaires et scies à onglet
- Découpeuse/graveuse laser
- Aspirateur industriel

### Liste d'envies

- Stéréo-microscope à sortie vidéo
- Une meilleure station de soudage
- Tour de 700 mm
- Fraiseuse





**Martino Facchin**  
(Ingénieur en micrologiciel)

## Investissez dans une station de soudage

Mon labo et mon bureau se confondent en raison même du matériel que j'utilise. L'endroit peut sembler en désordre, mais chaque élément y est à sa place. J'ai toujours près de moi un oscilloscope robuste (avec décodeur de protocoles, très important) ainsi qu'un écran de 24" qui m'évite d'avoir à bouger la tête lorsque j'ai à visualiser quelque chose. Comme je connecte tout par USB, mon installation comprend pas moins de 12 ports.

**Conseil :** en tant qu'ingénieur en micrologiciel, je dois pouvoir assembler rapidement et proprement un prototype,

d'où ma suggestion d'investir sans compter dans une station de soudage (et dessoudage). Un oscilloscope est indispensable, mais si votre budget est serré, un PicoScope ou un analyseur de signaux (Saleae ou similaire) peuvent convenir. Un PC puissant s'avère également utile pour les tâches lourdes (développement Linux et FPGA) ou pour l'exécution depuis une machine virtuelle d'un logiciel qui n'existe qu'en version Windows.

**Projet actuel :** Je ne peux pas en parler, c'est top-secret !

### Outils

- Station de soudage de qualité avec pinces à dessouder (marque JBC)
- Oscilloscope
- Station à air chaud
- PC puissant (8 cœurs, 32 Go de RAM, SSD, Linux). Assemblée soi-même, une tour à processeurs Ryzen coûte peu cher.
- Câble FTDI pour une conversion série-USB fiable
- Débogueur JLink (très stable)
- Analyseur de protocole USB (Beagle 480) ; pas essentiel, mais un de mes jouets préférés. À n'acheter que si l'on traque d'obscurs bugs USB plus d'une fois par an.

- Convertisseur HDMI-USB (évite le recours à un écran séparé lorsqu'on travaille sur des signaux vidéo).

### Liste d'envies

- Sonde de courant à effet Hall pour l'oscilloscope
- Un PC encore plus puissant (un projet Yocto ne devrait pas prendre des heures)
- Voir la fin de la pénurie des puces



**Ubi de Feo**  
(Technologue créatif)

## Des outils de qualité font la différence

Aussi étrange que cela puisse paraître, je ne me rends plus très souvent dans mon labo d'électronique. Je m'occupe essentiellement de logiciel (l'EDI Arduino et son interface CLI) et mes activités manuelles se concentrent désormais sur la menuiserie. Comme je suppose que ma collection de scies et autres perceuses ne vous intéresse guère, j'ai photographié pour vous mon labo d'électronique numérique. Note : j'ai moi-même dessiné et assemblé l'établi, par ailleurs un des premiers meubles que j'ai construits.

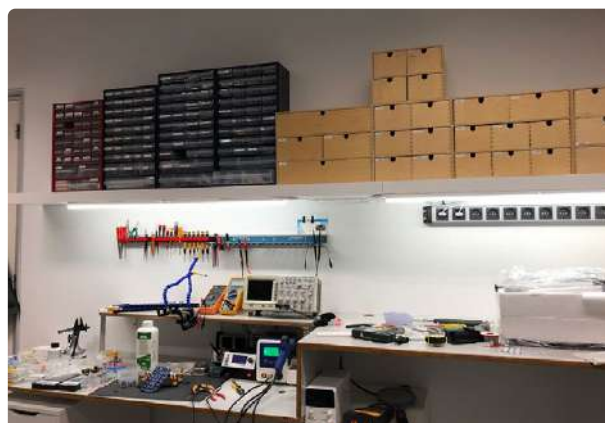
**Conseil :** véritable obsédé du détail, je planifie tout durant des mois avant de commencer quelque chose. Au début je m'en sortais avec des outils bon marché, mais je me suis vite rendu compte qu'être efficace et précis nécessitait de bons outils. Apprenez à utiliser un oscilloscope et un analyseur logique, un jour ils vous tireront d'affaire. Nettoyez votre labo avant de le quitter, le lendemain vous remercieriez votre moi d'hier. Le désordre prend vite ses aises, ne lui en laissez jamais l'occasion.

### Outils

- Rigol DS1204
- Fluke 175
- Omnifixo
- Ersä i-con 2
- Analyseur logique Saleae
- J-Link Segger
- Ultimaker 2
- Shapeoko 3 XL

### Liste d'envies

- Mon labo d'électronique ne manque de rien. Vraiment. J'ai tout acheté. Il en va autrement de mon atelier de menuiserie, mais là, croyez-moi, c'est un autre budget.







**David Cuartielles**  
(cofondateur)

## Identifiez vos besoins réels

Je travaille dans un conteneur placé dans mon jardin. Il comprend tout ce qu'il faut pour concevoir des circuits à petite échelle, un système de diffusion vidéo doté de deux caméras, une collection de cartes Arduino (je possède plus de 200 modèles provenant du monde entier), et de quoi réparer mon vélo. Sur une longue étagère (4 m de long) sont rangés un microscope, un oscilloscope, un four, une station de soudage, et tout un assortiment de petits composants achetés dans des commerces de rue lors de voyages à Séoul et Mexico. Je dispose aussi d'un NAS stockant toutes sortes de documentations.

**Conseil :** identifiez vos besoins réels. Par exemple je n'ai pas acheté de microscope avant que les formats 0402 ne deviennent prépondérants. Dressez une liste des choses que vous achetez et empruntez. Gardez les outils utiles à portée de main. Listez ceux qui pourraient vous servir. Surveillez régulièrement les ventes aux enchères et les marchés de l'occasion. C'est

sur l'un d'eux que j'ai récemment acquis un analyseur de spectre de 26,5 GHz pour une bouchée de pain.

**Projet actuel :** un cours appelé « Introduction à l'interaction incorporée » qui repose sur la carte Nano 33 BLE Sense, une plaque d'essai et des capteurs simples.

### Outils

- PC gamer avec carte graphique pour montage vidéo, relié à 2 écrans de 27"
- Oscilloscope
- Station de soudage Weller (j'en suis fan)
- Microscope
- Analyseur de spectre 26,5 GHz



### Liste d'envies

- Éclairage et chauffage automatisés
- Panneau solaire et alimentation sans coupure
- Passerelle LoRa
- Siège confortable



**Giulio Pilotto**  
(Ingénieur logiciel)

## L'importance de la polyvalence

Mon espace de travail est tout bonnement le bureau de mon appartement. Je collabore avec un FabLab proche, aussi mon équipement doit-il être portable et polyvalent. Tous mes instruments sont rangés dans trois boîtes. La plus grosse contient des outils pour les travaux mécaniques ; perceuse, tournevis, etc. Celle de taille intermédiaire contient aussi des outils mécaniques, mais destinés à des tâches plus précises ; y sont p. ex. rangées une petite visseuse électrique et une trousse à outils pour le démontage des smartphones. La dernière boîte est réservée à l'électronique proprement dite. Elle contient des cartes Arduino, des composants, des capteurs, des actionneurs, ou encore différentes colles. La page web suivante montre l'utilisation de ces trois boîtes lors d'un projet : [www.instructables.com/Jungle-Reef-Bluetooth/](http://www.instructables.com/Jungle-Reef-Bluetooth/).

**Conseil :** choisissez 10 projets que vous aimeriez réaliser, et dressez une liste des outils nécessaires. Achetez d'abord ceux qui sont le plus partagés par ces projets. Cherchez des avis et conseils d'achat sur le web. YouTube regorge de bancs d'essai (voyez p. ex. *Top 10 Parkside Tools*). Même une marque bon marché est un bon début. Photographiez votre espace de travail, imprimez les photos, et dessinez-y vos outils à l'emplacement que vous jugez idéal. Pensez ergonomie avant de penser style et décoration ! Quelques exemples : <https://www.instructables.com/howto/workspace/>.

**Projet actuel :** Arduino à module 433 MHz pour décoder un capteur IR passif ([https://github.com/giulio93/RevEng\\_433Mhz](https://github.com/giulio93/RevEng_433Mhz)).

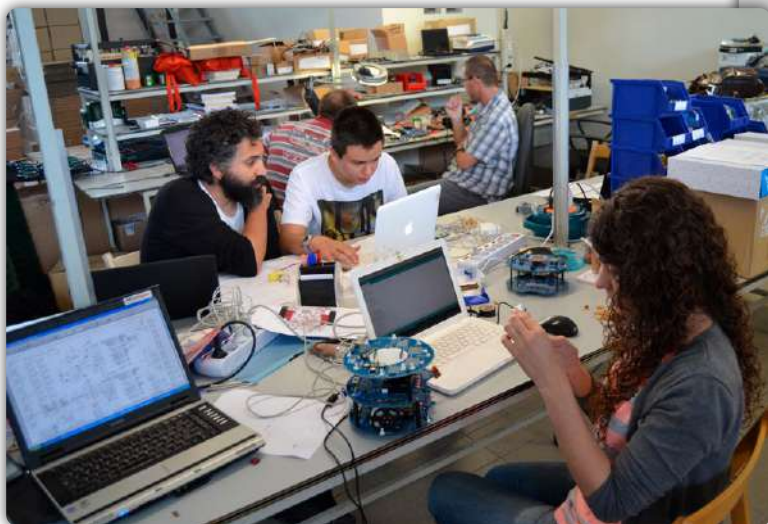
### Outils

- Multimètre
- Microscope
- station de soudage basique
- Outils Dremel



### Liste d'envies

- Oscilloscope
- Station de soudage Weller
- Loupe à éclairage LED



Nerea Iriepa, championne du monde !

◀ La robotique dans l'enseignement.  
(Source : Nerea Iriepa)

# l'importance de la robotique dans l'enseignement

Keith Jackson (Arduino)

L'utilisation de la robotique dans l'enseignement, même si elle n'est pas (encore) bien intégrée, peut être transformatrice. Elle est essentielle à l'apprentissage des matières scientifiques (sciences, technologie, ingénierie et mathématiques), elle est intéressante et elle prépare les élèves à l'avenir.

Il suffit de penser aux domaines dans lesquels les robots sont utilisés au quotidien : médecine, soins aux personnes âgées, appareils ménagers et voitures. La liste est longue. Vraiment, comment peut-on penser que l'enseignement de la robotique dans les écoles n'est pas important ?

Mais, cela commence à se développer, en grande partie grâce aux nombreux exemples de personnes qui ont innové, créé et résolu des défis de la vie parce que la robotique faisait partie de leur éducation. Et nous avons deux exemples pour illustrer cela.

## Championne du monde de robotique

Rencontrez Nerea Iriepa, championne du monde de robotique et responsable des ventes d'Arduino Education. En 2003, le professeur de Nerea a apporté des robots LEGO Mindstorms à leur club parascolaire et une passion est née. Le club a organisé un petit tournoi de robotique à l'école avant de viser plus haut, la RoboCupJunior, un tournoi international basé sur le football. Bien que l'équipe soit arrivée 26<sup>e</sup> sur 27, Nerea est devenue accro.

En 2008, Nerea a découvert Arduino et, après des années de difficultés à construire un robot digne d'un tournoi RoboCupJunior, elle a trouvé à la fois une communauté à qui elle pouvait demander conseil et des composants beaucoup plus simples. Et c'est l'année où son équipe a gagné, ou commencé à gagner, car elle a conservé sa couronne pendant trois ans, avec notamment une victoire record de 52-0 contre le Mexique.

L'une des meilleures choses dans tout ça ? Pouvoir donner des conseils aux autres équipes, à leur tour. Aidé en cela par l'approche open-source d'Arduino, rien n'était secret, et tout le monde pouvait apprendre les uns des autres.

La RoboCupJunior étant un tournoi destiné aux élèves, la retraite est arrivée trop tôt. Mais, ce qui s'est passé ensuite était incroyable : Nerea a rencontré deux fondateurs d'Arduino et leur a montré le robot victorieux de son équipe. Soudain, les gens ont voulu l'ache-



*Nerea a rencontré deux fondateurs d'Arduino et leur a montré le robot gagnant de son équipe. Soudain, les gens ont voulu l'acheter pour leurs salles de classe afin d'enseigner la robotique à leurs propres élèves.*

ter pour leurs salles de classe afin d'enseigner la robotique à leurs propres élèves.

Après deux ans de développement, le robot Arduino était prêt et, une fois que Nerea a terminé ses études universitaires, elle a obtenu un emploi chez Arduino Education.

### Faites le robot

L'Olympiade mondiale de robotique (WRO) a été créée en 2004, et elle est maintenant présente dans plus de 85 pays à travers le monde. C'est une compétition pour les jeunes âgés de huit à 19 ans et, lors de sa dernière tenue, qui était en 2019, 29 000 équipes ont participé.

Claus D. Christensen, secrétaire général de l'association WRO Ltd, a noté : « nous pensons que l'expérience pratique, l'exploration et le jeu sont les meilleures méthodes d'enseignement, et notre vision est de poursuivre un avenir où chaque jeune curieux, quel que soit son milieu, est inspiré et équipé pour réaliser son plein potentiel grâce aux sciences, à l'ingénierie et à la technologie. » C'est également le cœur d'Arduino Education, et c'est pourquoi nous sommes fiers d'être un sponsor de WRO et de soutenir leur excellent travail qui crée des opportunités pour les jeunes pour s'impliquer dans la robotique et les STIM (science, technologie, ingénierie et mathématiques).

commandes simples. C'est un système très facile, mais ils peuvent faire faire aux robots des choses comme avancer de trois pas et tourner à gauche. Et ils trouvent ça super amusant de contrôler le robot et de le faire rouler. »

Il poursuit en disant : « Il est très facile d'intéresser les enfants à la robotique. Et les robots sont très utiles. Je veux dire, un lave-vaisselle en est un, et les enfants ont une expérience pratique avec ça. La robotique mène égale-

ment à un monde qui demande des ingénieurs et des scientifiques, donc vous aurez un emploi à coup sûr si vous avez ces compétences. »

Et, pourquoi utilise-t-il Arduino dans son école ? « Ça fonctionne tout simplement. Vous téléchargez l'EDI (l'environnement de développement), vous branchez l'UNO sur votre ordinateur, vous téléchargez un sketch, et ça fonctionne tout simplement et rapidement. Vous obtenez des résultats immédiatement, ce qui est très important pour les enfants. Il y a un faible frein pour s'y plonger, et un gain rapide stimule vraiment leur engagement. »

Pour en savoir plus sur Arduino Education, rendez-vous sur [arduino.cc/education](https://arduino.cc/education). ◀

220455-04 — VF : Maxime Valens



World Robot Olympiad (WRO)

### Une école apporte la robotique à la jeunesse

À Copenhague, une petite école franco-danoise a une grande ambition : faire en sorte que chaque élève, dès l'âge de trois ans, ait une expérience en matière de robotique (en utilisant Arduino, bien sûr !). Nicolas Guilbert, fondateur de l'école et professeur de STIM, déclare : « Nous avons choisi la robotique parce qu'elle fonctionne. Nous la pratiquons d'ailleurs à l'école maternelle avec de très jeunes enfants. Nous utilisons un robot et leur demandons de taper des

### À propos de l'auteur

Keith Jackson travaille dans le marketing chez Arduino. Il est passionné par tout ce qui concerne Arduino, car c'est plus qu'une entreprise ou une marque, c'est une communauté entière et diverse.



### Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- **Bras robotique alimenté par un Arduino Braccio ++ RP2040**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-braccio](https://www.elektormagazine.fr/arduino-braccio)
- **Arduino UNO Rev3**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-uno](https://www.elektormagazine.fr/arduino-uno)



# LoRa fiabilise l'IdO

Stuart Cording (Elektor)

Avec sa gamme de produits Pro, Arduino privilégie LoRa et LoRaWAN pour assister les développeurs LPWAN. Massimo Sacchi, responsable des partenariats d'entreprise et développeur d'affaires chez Arduino, parle de LoRa et des solutions matérielles et logicielles connexes d'Arduino.

Le sans-fil a toujours été une arme à double tranchant pour les ingénieurs en électronique. D'un côté, il libère des obstacles à la mobilité, en autorisant des cas d'utilisation innovants dans tous les secteurs. Mais de l'autre, il nécessite une expérience en RF, est soumis à davantage de réglementations et est gourmand en énergie. Ainsi, pour ceux dont l'application dépend d'une alimentation par batterie, il a parfois été

difficile d'apporter les innovations exigées par certains marchés. En revanche, le développement continu des semi-conducteurs, notamment de la technologie RF sur CMOS, fait que les émetteurs-récepteurs radio sont de plus en plus petits et faciles à intégrer. Au fil des ans, une multitude de modules et de solutions de systèmes sur puce avec microcontrôleurs intégrés ont fait leur apparition sur le marché. Grâce

aux efforts déployés pour mieux utiliser le spectre sans licence dans les bandes ISM (industrielles, scientifiques et médicales) couplé aux services en nuage, les réseaux étendus à faible puissance (LPWAN) n'ont cessé de se développer.

Cela n'est pas passé inaperçu chez Arduino, qui, grâce à son portefeuille de cartes extensibles et à son approche de programmation simplifiée, a permis la prise en charge de presque toutes les technologies sans fil. Avec la création de leur gamme Arduino Pro pour les utilisateurs industriels, lancée au CES en 2020, LoRa et LoRaWAN ont été sélectionnés comme axe privilégié d'assistance aux développeurs LPWAN. Massimo Sacchi, responsable des partenariats d'entreprise et développeur d'affaires chez Arduino, est bien placé pour soutenir cet effort puisqu'il est également vice-président de la LoRa Alliance Task Force en



## Massimo Sacchi

Massimo Sacchi est responsable des partenariats d'entreprise et développeur d'affaires chez Arduino. Il a rejoint

l'équipe en 2019, quatre ans après avoir déménagé en Australie. Il a grandi et étudié en Italie, où il a obtenu un diplôme en génie électrique avant de travailler pendant 20 ans dans le domaine de l'automatisation industrielle. Massimo est passionné par l'IdO et les applications du nuage, et soutient la croissance des réseaux étendus à faible puissance en tant que vice-président de la LoRa Alliance Task Force d'Australie et de Nouvelle-Zélande.

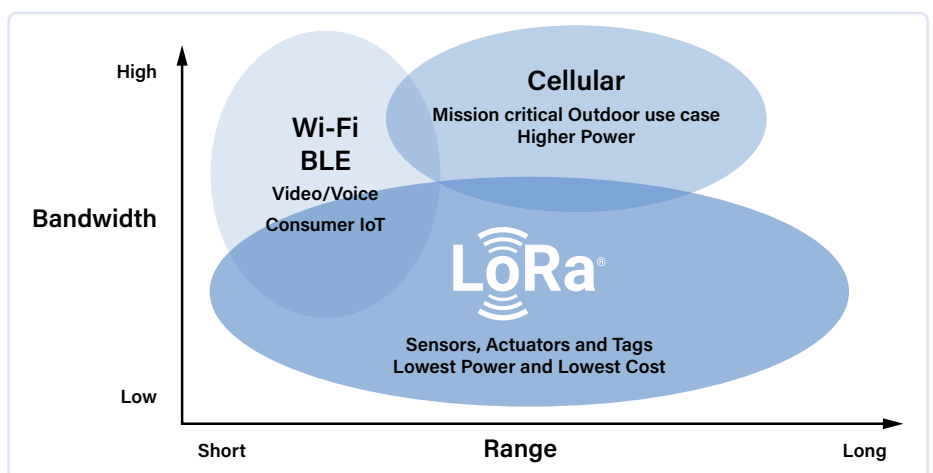


Figure 1. LoRa offre une connectivité à courte et longue portée pour les applications qui ne traitent que de petites quantités de données. (Source : Arduino)

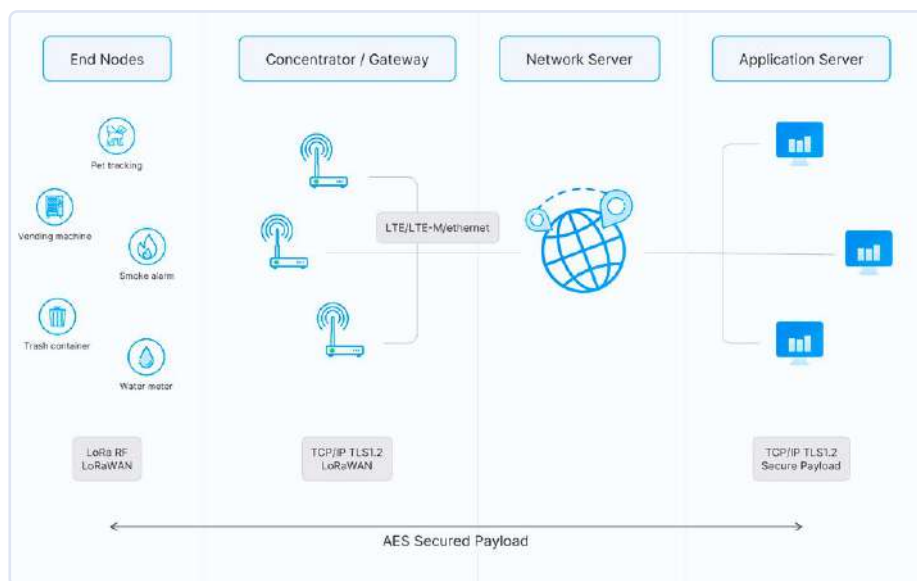


Figure 2. LoRaWAN est ce qui permet à LoRa de former un réseau, de se connecter aux services du nuage et de fonctionner en toute sécurité. (Source : Arduino)

Australie et en Nouvelle-Zélande.

« J'adore explorer les nouvelles technologies, notamment celles de l'IdOI », déclare Massimo. « Il est donc tout à fait naturel que, chez Arduino, nous utilisions nos capacités pour innover dans l'espace de LoRaWAN ».

### Qu'est-ce que LoRaWAN ?

Le choix est vaste pour ceux qui cherchent à mettre en œuvre des réseaux sans fil pour les applications de l'internet des objets (IdO) ou de l'IdO industriel (IdOI). Le cellulaire, tel que la 4G/5G, fournit une infrastructure fonctionnelle, permettant aux développeurs de se concentrer sur

leurs applications. Cependant, malgré l'essor des solutions à plus faible consommation telles que NB-IoT [1], l'autonomie promise de 10 ans n'est pas acquise [2]. Le wifi peut également être considéré comme omniprésent, mais sa portée est limitée et, avant wifi 6, les optimisations de puissance nécessaires à la consommation des nœuds IdO n'existaient pas. En outre, les nœuds sont limités à un fonctionnement à portée du routeur et des éventuels répéteurs en raison de l'absence de prise en charge du transfert de réseau.

Les réseaux LPWAN se concentrent sur les besoins de la majorité des applications IdO : petits paquets de données peu fréquents,

longue portée et très faible consommation d'énergie. LoRa est l'une des plus abouties de ces technologies (figure 1), une technologie radio utilisant une technique de modulation sans fil appelée Chirp Spread Spectrum (CSS) qui lui confère sa robustesse sur le terrain. Fonctionnant dans les bandes sub-gigahertz de 433 MHz, 868 MHz et 915 MHz du spectre réservé à l'usage ISM, une ou plusieurs de ces fréquences sont disponibles presque partout dans le monde. Pour transformer les nœuds compatibles LoRa en réseau, on ajoute la couche logicielle LoRaWAN (figure 2), une spécification open-source soutenue et maintenue par l'Alliance LoRa. Ainsi, les nœuds d'extrémité LoRaWAN, où les applications sont mises en œuvre, peuvent communiquer avec des passerelles connectées à l'Internet. À partir de là, une communication bidirectionnelle est établie avec des serveurs d'applications basés dans le nuage qui peuvent traiter les données ou interroger les nœuds.

### Simplicité et sécurité

« Ce qui est génial avec Arduino, c'est qu'il est si simple de créer un nœud LoRa et de le connecter à un réseau », explique Massimo, « il suffit de disposer d'un shield et d'une bibliothèque logicielle appropriés ». Pour les makers, les cartes les plus utilisées ont été les MKR1300 et MKR1310 (figure 3). Dotées du microcontrôleur basse consommation SAMD21 de Microchip, elles sont associées à un module LoRa

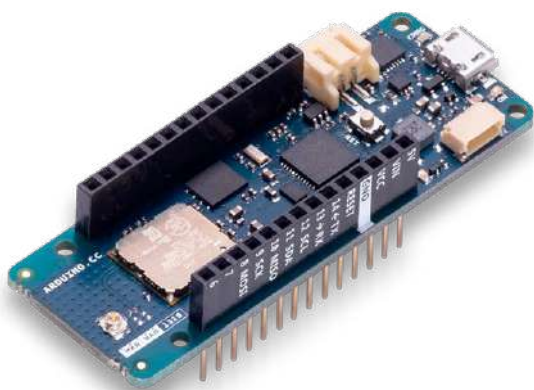


Figure 3. Le MKR1310 est un excellent point de départ pour l'IdO avec LoRa, un microcontrôleur basse consommation SAMD21 et un module radio Murata CMWX1ZZABZ. (Source : Arduino)

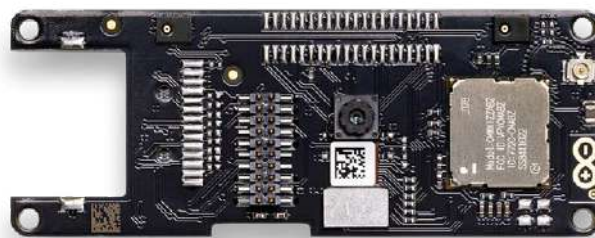


Figure 4. Le Portenta Vision Shield - LoRa ajoute la prise en charge de LoRaWAN au standard industriel pour le matériel Arduino Pro, tel que le Portenta H7. (Source : Arduino)



## *Ce qui est génial avec Arduino, c'est qu'il est si simple de créer un nœud LoRa et de le connecter à un réseau.*

Murata CMWX1ZZABZ et à un circuit de charge de batterie. Lorsqu'elle est correctement configurée, la carte ne consomme que 104  $\mu$ A. Mais, avec la multiplication des cyberattaques sur les systèmes industriels, ces technologies doivent aussi être sécurisées. Cette sécurité est assurée par une puce cryptographique ECC508 où le cryptage et le décryptage sont implantés dans du matériel conforme aux conventions de sécurité standard de l'industrie. « Cela rend un tel matériel sûr dès le premier cycle d'horloge », ajoute Massimo. Pour les professionnels, on trouve le Portenta H7 qui, couplé au Vision Shield (figure 4), acquiert sa capacité LoRa en utilisant le même module RF et un coprocesseur cryptographique plus puissant, l'ECC608. Évidemment, le défi suivant consiste à mettre en place une passerelle robuste à laquelle les nœuds seront reliés. Grâce à une nouvelle collaboration avec RAKwireless, Arduino propose désormais deux passerelles prêtes pour l'industrie (figure 5) avec leur WisGate Edge Lite 2 pour l'intérieur et leur WisGate Edge Pro pour le déploiement en extérieur [3]. Avec la prise en charge de l'alimentation par Ethernet (PoE) qui facilite l'installation, les passerelles offrent une solution sécurisée avec une couverture globale à l'intérieur des bâtiments grâce à la prise en charge de 16 canaux au lieu de huit habituellement. La passerelle peut donner accès à des plateformes telles que The Things

Network. Toutefois, si elles le préfèrent, les équipes peuvent également configurer leur propre réseau privé avec un client MQTT et un serveur réseau.

### **Un matériel simple nécessite un logiciel simple**

Même si le matériel peut être prêt à être connecté, rien ne peut se faire sans logiciel. Comme on pouvait s'y attendre, Arduino simplifie les choses, tant pour la carte que pour la connectivité au nuage. L'équipe a récemment lancé la version 2.0 de son IDE, apportant le débogage pour les débogueurs embarqués et tiers. Elle offre la possibilité d'explorer le contenu des variables et l'exécution du code, comme c'est le cas avec les IDE des fournisseurs de microcontrôleurs. L'interface en ligne de commande (CLI) est une nouveauté essentielle qui permet aux développeurs professionnels d'automatiser des tâches et d'intégrer l'environnement Arduino à d'autres outils, tels que l'intégration continue (CI) pour les tests.

Les applications IdO ont désormais la

capacité à se connecter aux services en nuage. L'Arduino Cloud [4] est lié à The Things Network (TTN), une plateforme mondiale bien connue qui prend en charge LoRaWAN. Grâce à l'utilisation de matériel de cryptographie standard, le provisionnement est simple et sécurisé.

« Il est important de noter que nous ne voulons pas enfermer les utilisateurs dans l'environnement Arduino », explique Massimo. « C'est pourquoi nous veillons à rester compatibles avec d'autres systèmes et plates-formes au standard LoRa, ce qui laisse aux développeurs le choix lorsqu'ils passent du prototypage au déploiement. Mais, par-dessus tout, notre objectif principal est de rendre LoRa facile à utiliser ».

L'une des limites des technologies LPWAN est la bande passante disponible. Le débit de LoRaWAN s'étend d'environ 5470 bps sur 2 km à 290 bps sur 14 km (tableau 1). C'est le prix à payer pour une longue durée de vie des batteries et une longue portée. Les développeurs doivent alors innover en traitant davantage de décisions au sein de leurs nœuds IdO et en réduisant la communication aux résultats plutôt que de transmettre les données au nuage pour traitement. Bien entendu, l'apprentissage automatique (ML) est une solution répandue, qui permet au microcontrôleur d'analyser de manière efficace une masse de données d'entrée complexes. Ici, les ingénieurs peuvent se tourner vers Edge



Figure 5. Les passerelles WisGate offrent une connectivité LoRaWAN robuste et sécurisée pour les déploiements professionnels, à l'intérieur comme à l'extérieur (Source : Arduino).

Facteur d'étalement	Taux de données	Gamme	Temps à l'antenne
SF7	5470 bps	2 km	56 ms
SF8	3125 bps	4 km	100 ms
SF9	1760 bps	6 km	200 ms
SF10	980 bps	8 km	370 ms
SF11	440 bps	11 km	40 ms
SF12	290 bps	14 km	1400 ms

Table 1. Comparaison des débits de données et de la portée pour LoRa en fonction du facteur d'étalement utilisé.



Impulse, une solution ML mature optimisée pour les microcontrôleurs de faible puissance [5].

### Puis-je tout miser sur LoRa ?

De nouvelles solutions LPWAN et IdO semblent émerger régulièrement, et donc rendre difficile le choix lorsque votre application doit être prise en charge pour les deux ou trois prochaines décennies. L'annonce récente par Google du retrait de son service IdO Core [6] et les problèmes rencontrés par Sigfox [7] suscitent naturellement des inquiétudes chez les ingénieurs à la recherche d'une plateforme IdO fiable et durable.

« Environ 90 % des applications qui ne nécessitent pas de capacités cellulaires sont déployées à l'aide de LoRa », partage Massimo. « Et nous constatons une croissance supplémentaire, notamment dans le domaine des villes intelligentes, comme l'amélioration de la maintenance de l'éclairage public, et dans l'agriculture ».

Combinée à la technologie ML, la longue portée de LoRa permet aux agriculteurs de confiner géographiquement le bétail et d'obtenir des informations plus précises sur la santé de leurs animaux.

LoRa, grâce aux membres de son alliance mondiale, s'emploie également à maintenir et à développer cette technologie.

« Au niveau de la couche physique, il est peu probable que des changements soient apportés », explique Massimo. « Toutefois, LoRaWAN peut offrir de nouvelles améliorations au niveau logiciel, ce qui lui permet de s'adapter aux nouvelles exigences du marché ».

Certains de ces changements nécessiteront des mises à jour logicielles, mais celles-ci auront principalement un impact sur les passerelles afin qu'elles puissent prendre en charge les nouvelles fonctionnalités déployées dans les derniers matériels LoRa

IoT développés. D'autres travaux portent sur l'extension du support mondial afin que la bande passante soit légalement disponible pour les réseaux LoRa dans davantage de pays.

« Nous étudions également les moyens de collaborer avec d'autres normes radio, mais, là encore, cela se traduira par des modifications logicielles plutôt que matérielles », ajoute M. Massimo.

### Passage en douceur du maker au professionnel

Si on examine le marché, LoRa semble définitivement prendre le dessus en termes de réponse aux exigences des applications IdO. Constatant que de nombreuses applications débutent sur le matériel d'un maker, Arduino offre une combinaison appropriée de matériel et de logiciel pour les projets d'innovation qui explorent la technologie disponible. À mesure que la solution évolue, le matériel Arduino Pro, les passe-

relles WisGate et une abondance de logiciels ouvrent la voie vers un déploiement LoRa professionnel. En outre, Arduino propose une gamme croissante de services supplémentaires par le biais de son réseau mondial de partenaires qui aident à l'intégration et à la fabrication des systèmes. Enfin, pour ceux qui hésitent encore sur la technologie LPWAN, LoRa offre la stabilité grâce à son alliance active de membres et au développement continu. ◀

220513-04 — VF : Denis Lafourcade

### À propos de l'auteur

Stuart Cording est ingénieur et journaliste avec plus de 25 ans d'expérience dans l'industrie électronique. Vous pouvez lire un grand nombre de ses articles dans Elektor à l'adresse

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



### Produits

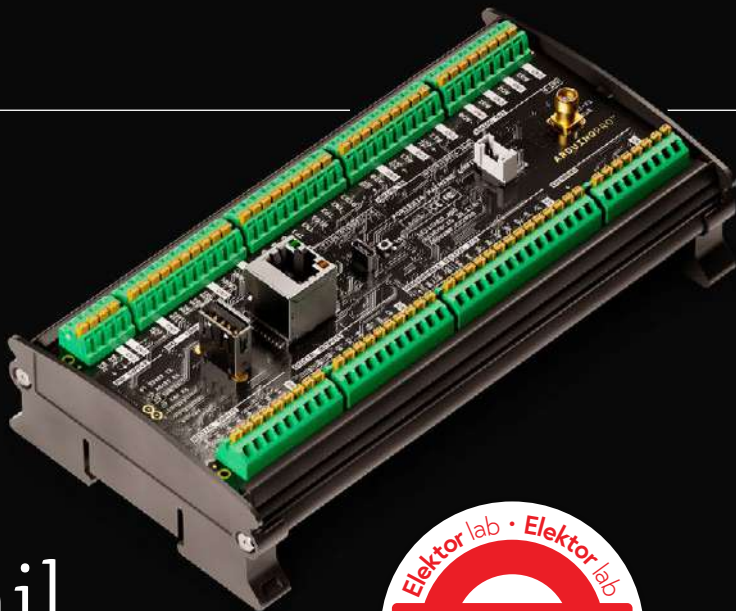
Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- **Arduino MKR WAN 1310**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-mkrwan1310](http://www.elektormagazine.fr/arduino-mkrwan1310)
- **Arduino Portenta Vision Shield LoRa**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-vision-shield-lora](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-vision-shield-lora)
- **Arduino WisGate Edge Lite 2**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-wisgate-edge-lite](http://www.elektormagazine.fr/arduino-wisgate-edge-lite)
- **Arduino WisGate Edge Pro**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-wisgate-edge-pro](http://www.elektormagazine.fr/arduino-wisgate-edge-pro)
- **Livre en anglais « Develop and Operate Your LoRaWAN IoT Nodes », C. Kühnel, (Elektor 2022)**  
[www.elektor.fr/20147](http://www.elektor.fr/20147)

### LIENS

- [1] GSMA, « Narrowband - Internet of Things (NB-IoT) » : <https://bit.ly/gsma-nb-iot>
- [2] u-blox, « Powering ten years of NB-IoT connectivity with a single battery », 22 janvier 2019 : <https://bit.ly/ublox-nbiot>
- [3] Arduino, « WisGate Edge Gateways for LoRaWAN Connectivity » : <https://store.arduino.cc/pages/wisgate-lora-gateways>
- [4] Arduino Cloud : <https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/>
- [5] « Image Classification with Edge Impulse », S. Romero, Arduino, 21 septembre 2022 : <https://bit.ly/arduino-nicla-vision>
- [6] « Google Cloud to Shut Down IoT Core Service », S. Evans, IoT World Today, 23 août 2022 : <https://bit.ly/google-cloud-iwt>
- [7] « Sigfox Enters Insolvency Proceedings Following Difficulties », R. Daws, IoTnews, 27 janvier 2022 : <https://bit.ly/sigfox-iotnews>

# la carte Portenta Machine Control en détail



Brian Tristam Williams (Elektor)

Les cartes Arduino se sont imposées comme les cartes de référence pour les éducateurs et les électroniciens au cours des 15 dernières années, avec des millions de cartes livrées, sans compter les cartes compatibles, grâce à la philosophie de son environnement open-source. En 2020, l'écosystème Arduino Pro a été lancé, visant le marché des automates programmables industriels (API).

## Arduino Portenta H7

Comme il s'agit du cœur d'Arduino Portenta Machine Control, jetons un œil sur la première des cartes de la gamme Arduino Pro. Le Portenta H7 tire son suffixe du microcontrôleur intégré STM32H747XI. En tant que produit Arduino, il se distingue immédiatement comme une carte de la ligne Pro avec son circuit imprimé noir. Avec la Portenta H7, Arduino a parcouru beaucoup de chemin depuis son énorme succès de 2010 avec l'Arduino UNO, qui utilise un microcontrôleur 8 bits cadencé à 16 MHz. La Portenta H7 comporte deux cœurs : un Arm Cortex-M7 cadencé à 480 MHz et un autre Arm Cortex-M4 à 240 MHz.

À part le processeur, il y a d'autres caractéristiques remarquables à bord :

- Mémoire flash de 16 MB, SDRAM de 8 MB
- Wifi et Bluetooth 4.1
- Le microcontrôleur STM32H7 possède un processeur graphique intégré

- Le connecteur USB-C sur la carte prend en charge la sortie vidéo DisplayPort (avec une résolution jusqu'à 1280x720 pixels), apportant une IHM (interface homme-machine) à votre projet sans pilote matériel supplémentaire.

Vous pouvez toujours programmer la carte en utilisant l'EDI Arduino, mais la plateforme offre d'emblée MicroPython et JavaScript. Avec les deux cœurs, vous pouvez par exemple utiliser la bibliothèque *TensorFlow Lite* pour la vision industrielle, reconnaître des objets sur un cœur, pendant que votre interpréteur MicroPython ou JavaScript traite votre code sur l'autre.

La carte dispose de deux connecteurs à 80 broches haute densité sur la face inférieure, pas aussi pratiques pour les hobbyistes que les broches SIL du UNO, mais permettant une expansion similaire avec une sélection de « *shields* » Arduino Pro, ou, dans le cas de la famille Portenta, des cartes supports complètes telle que la Portenta Machine Control. Cela ne veut pas dire que les connecteurs standard au pas de 2,54 mm sont remis en question. La carte possède toujours un brochage compatible avec la série MKR sur les bords, où vous pouvez souder des connecteurs pour séparer les périphériques de base telles que les entrées/sorties analogiques et le bus série. Avec le tarif de cette carte, vous allez sans aucun doute faire beaucoup plus qu'un projet de clignotement de led sur le H7.

## Portenta Machine Control

La Portenta Machine Control [1] est une interface polyvalente et une carte de support à monter sur rail DIN destinée à la Portenta H7 ; en fait, la Portenta H7 est connectée sur la face inférieure de la carte, le tout pour un prix de 299 €. Il nous a fallu démonter le boîtier pour trouver la carte H7, mais elle est bien présente, connectée avec les connecteurs haute-densité mentionnés plus-haut (**figure 1**). Malheureusement, la carte H7 étant intégrée dans les entrailles de la Machine Control, signifie que son connecteur USB-C n'est pas aisément accessible, et de fait rendant les applications avec DisplayPort pas très pratiques à réaliser. De plus, la carte H7 livrée avec la Machine Control est intrinsèquement liée avec la carte porteuse, de sorte qu'Arduino

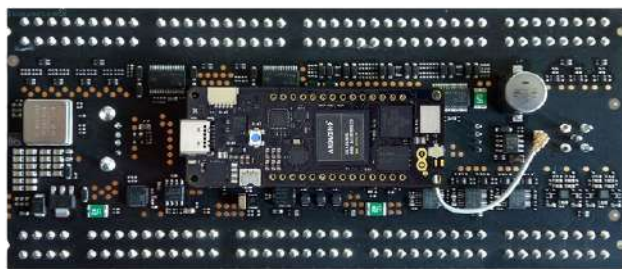


Figure 1. Arduino Portenta H7 placée sous la Portenta Machine Control.

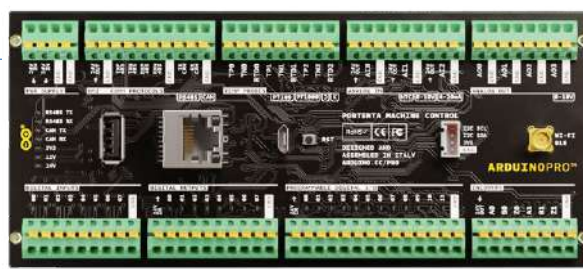


Figure 2. Arduino Pro Portenta Machine Control.

ne recommande pas de les séparer et d'essayer d'utiliser la carte H7 toute seule, disant que cela annulerait la garantie.

Comme la H7, la Portenta Machine Control porte le marquage spécifique noir et vert-olive de la gamme Arduino Pro, visible directement depuis le boîtier qui la contient.

Mesurant 50 mm × 90 mm, la carte Machine Control montre une gamme impressionnante d'entrées/sorties avec plus de 80 bornes à enficher, réparties en 9 sections différentes (**figure 2**). Dans le sens des aiguilles d'une montre, nous avons en partant du haut à gauche:

- Alimentation : 2 entrées 24 V avec leurs masses associées
- Protocoles de communication : liaisons RS-485 (ou 422 ou 232) et bus CAN
- Entrées spéciales dédiées aux sondes de températures, telles que PT100/PT1000/J/K
- 3 entrées analogiques, adaptées aux CTN, 0-10 V, 4-20 mA, chacune ayant une sortie 24 V et une masse
- 4 sorties analogiques 0-10 V
- Encodeurs
- Entrées/sorties programmables, et comme avec l'Arduino traditionnel, vous pouvez les programmer en entrée ou en sortie.
- Sorties numériques
- Entrées numériques

Entre les rangées de bornes enfichables, le centre de la carte offre des entrées/sorties plus générales, incluant:

- Colonne de LED donnant une indication instantanée d'une activité sur les bus RS-485 ou CAN, ainsi que la présence des tensions d'alimentation de 3,3, 12, et 24 V.
- Connecteur USB femelle haut-débit, qui peut être utilisé en tant que maître ou esclave.
- Connecteur Ethernet embarqué avec transformateur intégré.
- Connecteur micro-USB femelle bas-débit – sert à programmer la Portenta H7.
- Bouton de réinitialisation (reset)
- Bus I<sup>2</sup>C sur un connecteur Grove.
- Connecteur SMA pour le wifi et le Bluetooth (détaché du connecteur RF du H7).

Curieusement, cette bête de somme de la ligne de production industrielle n'est pas livrée avec une antenne, mais le connecteur SMA vous offre la possibilité d'en utiliser une sur la carte même ou à un endroit mieux approprié de votre environnement.

Grâce à la prise Ethernet disponible, vous pouvez bien-sûr choisir de soulager le spectre électromagnétique de votre environnement

industriel et opter pour un réseau câblé en laissant le wifi de côté.

Le boîtier en plastique pour montage sur rail DIN ne semble pas aussi solide que celui d'un automate industriel, mais cela abaisse le poids à moins de 200 g.

Globalement, la Portenta Machine Control réussit à relier deux mondes, apportant des capacités IdO à des machines industrielles autonomes, évitant l'usage habituel des automates industriels, offrant de multiples environnements de développement, permettant à ceux qui ne veulent pas passer huit heures par jour à programmer un automate de rentrer dans la course.

La multitude d'entrées et de sorties, signifie qu'il est possible de connecter la plateforme à n'importe quel capteur ou sortie dans une chaîne de production industrielle sans circuits complexes supplémentaires. Ainsi, pour ce niveau de prix, vous disposez d'une solution matérielle avec des options de programmation flexibles parmi une sélection de langages et d'environnements de développements, la capacité de faire tourner deux cœurs ultrarapides indépendamment et simultanément, ayant accès à toutes les ressources disponibles. ◀

(220532-04) — VF : Laurent Rauber

### Des questions, des commentaires ?

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



### Produits

- **Arduino Portenta H7**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-h7)
- **Arduino Portenta Machine Control**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control](http://www.elektormagazine.fr/arduino-portenta-machine-control)

### LIEN

[1] Fiche technique de l'Arduino Portenta Machine Control : <https://content.arduino.cc/assets/AKX00032-datasheets.pdf>



# rétro- gaming avec Arduboy



Arduboy FX.

David Cuartielles (Arduino)

Début 2014, Kevin Bates assemblait le prototype de sa mini-console de jeu Arduboy. L'année suivante, il lançait une campagne Kickstarter. Vous connaissez la suite.

**David Cuartielles :** Avant même d'aborder l'histoire de l'Arduboy, parlez-nous un peu de vous. À quel moment vous êtes-vous intéressé à l'électronique ? Quand avez-vous découvert et utilisé Arduino ?

**Kevin Bates :** Aussi loin que remontent mes souvenirs, j'ai toujours aimé démonter et remonter les objets. Mon premier contact concret avec l'électronique remonte à mon adolescence, lorsque j'ai assemblé

mon propre PC, ajouté des LED au boîtier, surcadencé le processeur, ce genre de choses.

J'ai été technicien de maintenance sur divers parc éoliens des États-Unis et du Canada pour aider au réglage et à la réparation de turbines. J'ai eu en mains plusieurs coffrets d'initiation 100 in 1 Electronic Kits durant mon adolescence, et même assemblé une radio FM, mais c'est ce travail de technicien qui m'a véritablement appris à lire un schéma et forcé à respecter la loi d'Ohm. Car voir fumer le composant d'un kit mal câblé c'est amusant, et presque magique, mais ça l'est beaucoup moins quand cette petite fumée bleue sort d'une turbine !

J'ai été surpris d'apprendre que ces géants de plusieurs millions de dollars étaient souvent commandés par des microcontrôleurs à 8 bits. C'est à cette époque, vers 2008-2009, qu'Arduino est devenu populaire et que je me suis dit : « Ouah, on a juste à brancher un câble USB et ça marche ? ». Je ne pensais vraiment pas que ce serait aussi simple. J'ai été accro à Arduino dès mon premier clignotement de LED. .

**Cuartielles :** La popularité de votre prototype Arduboy est devenue virale début 2014. Décrivez-nous ses caractéristiques. En quoi Arduino vous a-t-il aidé ?

**Bates :** Tout est parti de l'idée de créer une carte de visite numérique dont le support était un circuit imprimé. Ce n'était pas nouveau en soi, il en existait par exemple



Figure 1. Kevin Bates.

une dotée d'un connecteur USB et d'un script Rubber Ducky permettant de taper un CV et d'ouvrir un site web. J'ai d'abord cherché à jouer à une version simple du jeu *Simon Says* avec quatre LED et des commandes tactiles. Pour l'affichage j'ai utilisé un écran OLED alimenté par pile bouton, et pour les commandes j'ai opté pour une croix directionnelle et deux boutons OK et Annuler (**figure 2**). Ce n'est qu'en cherchant sur papier comment les agencer que j'ai vraiment imaginé la forme et l'usage final de ce prototype.

Ce qui l'a rendu viral comme vous dites, ce sont les découpes en creux que j'ai pratiquées dans la carte afin d'y placer les composants. Comme les boutons étaient capacitifs, la hauteur de l'ensemble n'excédait pas 1,6 mm sur le circuit imprimé. L'idée de ce montage en creux plutôt qu'en surface m'est venue le jour où j'ai fait tomber un condensateur dans un trou traversant (**figure 3**).

La communauté open-source qui gravite autour d'Arduino a facilité mon approche. J'ai beaucoup appris des concepteurs de cartes qui partageaient leurs fichiers, schémas et codes source. Pour moi Arduino était une plateforme et un logiciel qui fonctionnaient, tout simplement. Je ne me montre pas très patient dès qu'il s'agit de mettre en place un environnement de compilation traditionnel. Devoir utiliser *Make* et se taper plusieurs pages de documentation pour installer des dépendances me répugne d'avance. Arduino contourne tout ça. Si un message d'erreur s'affiche, vous le cherchez sur Google, rien de plus. Ça marche, tout simplement (**figure 4**).

Ma chance a aussi été de pouvoir rencontrer certains des fondateurs d'Arduino une fois mon projet devenu viral. Des types sympas et épatants !

**Cuartielles : Vous avez lancé une campagne de financement sur Kickstarter en mai 2015. Comment s'est-elle passée, et quand ont démarré les premières livraisons ?**

**Bates :** Ouah ! Ça remonte à loin ! J'ai récolté près d'un demi-million de dollars, c'était incroyable. Il y avait aussi la pression de devoir livrer et satisfaire près de dix mille personnes, ce qui m'a amené à reconsidérer plus d'une fois la conception finale, ce que j'ai par exemple fait après avoir vainement cherché durant six mois un meilleur ampli audio.

Le développement s'est déroulé de façon ouverte et j'ai pu compter sur le soutien de la communauté et de forums consacrés à l'Arduboy. Une grande partie du mérite revient à tous ces contributeurs. Sans eux, l'Arduboy n'en serait pas là aujourd'hui.

Les premières livraisons ont démarré environ un an après la fin de la campagne Kickstarter. Je tablais sur six mois, mais au vu du produit final le retard paraît excusable. D'ailleurs tout le monde semblait heureux du résultat. J'ai participé au développement du produit en Chine, une grande aventure pour moi, et qu'encore une fois je dois à tous ceux qui m'ont soutenu.

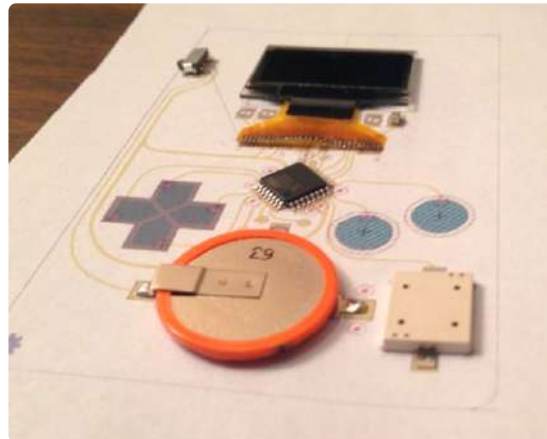


Figure 2. Prototype de l'Arduboy.



Figure 3. La carte et ses découpes en creux.

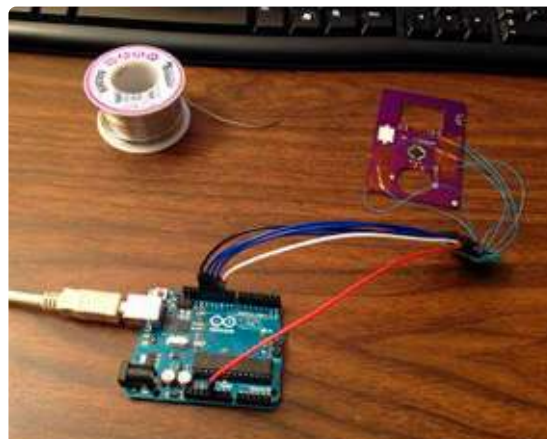


Figure 4. Développement avec Arduino.

Figure 5. L'Arduboy Nano.



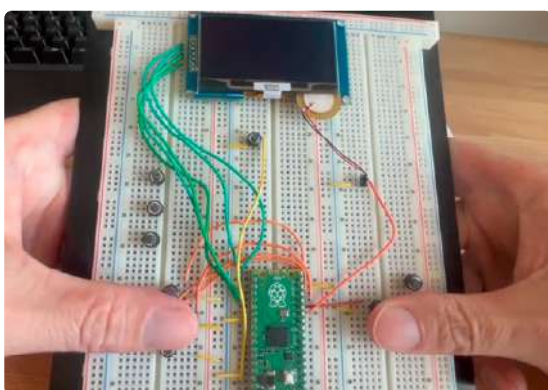
**Cuartielles :** Vous semblez œuvrer frénétiquement à une refonte de votre console. Combien de variantes avez-vous réalisées ?

**Bates :** Votre question me fait rire ! J'ai souvent l'impression d'être un groupe qui essaie de sortir un deuxième album après un premier succès. J'ai imaginé l'Arduboy sans songer à en faire un produit quelconque, un état d'esprit pas facile à retrouver.

Figure 6. Le matériel de l'Arduboy incorporé à des lunettes.



Figure 7. Exploration du RP2040.



L'Arduboy se voulait une plateforme de jeu minimale, et il me semble y être parvenu, mais comment poursuivre dans cette voie ? Comment devenir « plus minimal » ?

Dès que j'ajoute de nouvelles fonctions, elles entrent en concurrence avec d'autres plateformes ou soulèvent des problèmes de coûts de fabrication liés aux volumes de production. Ce genre de processus de décision m'a longtemps paralysé parce que j'essayais de résoudre un problème arbitraire. J'ai fini par me libérer de tout ça et suis revenu à ce que je faisais au début : prendre du plaisir et créer quelque chose qui m'amuse. Vous pouvez d'ailleurs suivre mes projets sur Twitter : [twitter.com/bateskecom](https://twitter.com/bateskecom).

C'est dans cet état d'esprit que j'ai conçu l'Arduboy Nano, un système de jeu imprimé en 3D, plus petit qu'une pièce de 25 cents (figure 5) et dont j'ai emprunté les techniques de conception à un ami de Tiny Circuits. Son écran ne fait que 32 x 48 pixels mais repose sur le même contrôleur d'écran que l'Arduboy et donc, à quelques modifications près du code, sur la même bibliothèque. Grâce à des aides venues de Twitter, je suis ensuite parvenu à déployer des écrans OLED transparents dans une paire de lunettes dont les montures sont des CI. L'affichage est commandé par le matériel Arduboy intégré à l'une des branches (figure 6).

J'ai ensuite exploré les capacités du RP2040 et les types d'écrans qu'il pouvait commander (figure 7). J'ai notamment essayé la version OLED plus grande de 2,3 pouces que celle utilisée dans l'Arduboy, et vu que ses performances dépassaient nettement celles du 32u4.

Plus tard j'ai téléchargé Fusion 360 et me suis amusé à imaginer un boîtier pour ce matériel. Je me suis aussi intéressé à un nouveau module d'affichage. On trouve de plus en plus d'afficheurs transflectifs, et un écran monochrome de 400 x 240 comme celui de la console Playdate montre tout le potentiel de ce format pour le jeu vidéo.

Les quantités minimales de commande sont un problème lorsqu'on veut assembler un produit avec des pièces moulées par injection. Je cherche donc plutôt à loger mes composants dans des coques préexistantes, autrement dit des morceaux de plastique conçus et produits par d'autres, mais peu chers et faciles à se procurer.

Finalement, j'essaie de boucler la boucle avec un produit dont Super Impulse a obtenu la licence pour



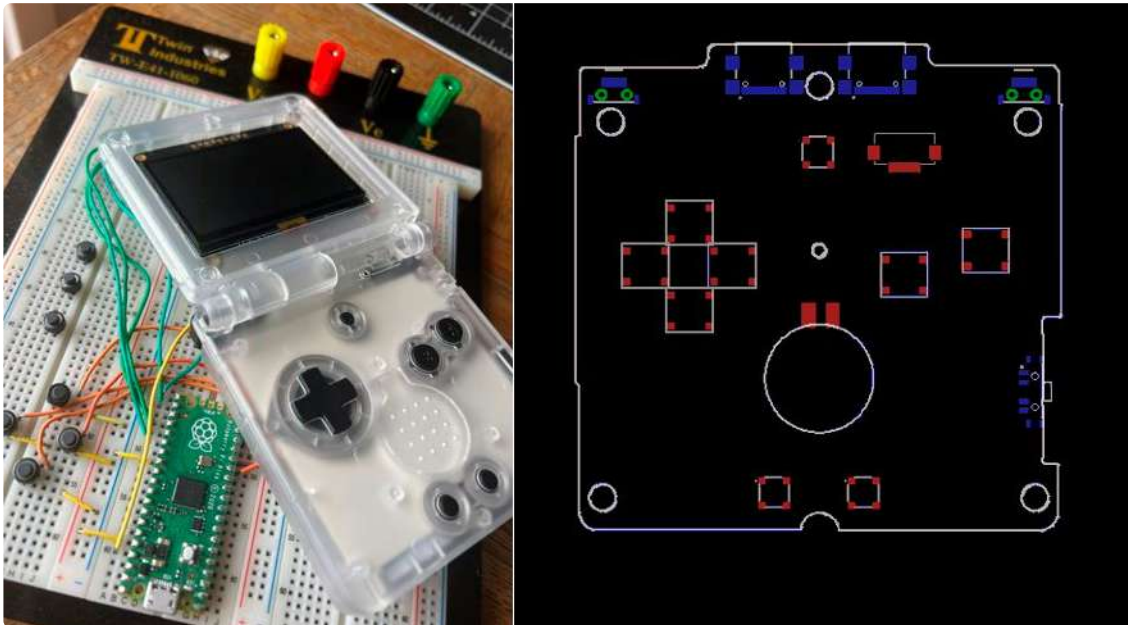


Figure 8. La console à RP2040.

fabriquer sa *Micro Arcade*. J'ai remplacé le CI et réutilisé les composants internes pour fabriquer une console à RP2040 et écran couleur, le tout au format bien connu de carte bancaire (**figure 8**). Certains ont réussi à lancer *Doom* sur le RP2040, donc avoir *Doom* dans sa poche n'est plus qu'une question de temps. Vous pouvez suivre l'évolution du projet sur mon site Patreon. J'y partage mes prototypes et envoie des CI et pièces supplémentaires : [patreon.com/bateske-com](https://patreon.com/bateske-com) (**figure 9**).

**Cuartielles : La console est soutenue par une vaste communauté. Comment contribue-t-elle à l'Arduboy ?**

**Bates :** L'Arduboy se confond avec sa communauté. Disons, pour mettre les choses en perspective, que tout, à l'exception du schéma du CI et du site web, a bénéficié d'un apport de la communauté. Dès le départ, quand j'ai partagé les kits du développement matériel, les utilisateurs m'ont fait des suggestions dont j'ai tenu compte pour modifier les schémas. La bibliothèque a été entièrement réécrite et optimisée par les utilisateurs, et grâce à eux il est possible d'afficher plus de cent bitmaps à une cadence supérieure à 60 images par seconde.

Tous les jeux ont été écrits par des membres de la communauté, de même que les tutoriels expliquant comment coder son propre jeu. Grâce à eux vous disposez d'une assistance technique 24 heures sur 24, d'ailleurs souvent en plusieurs langues.

La communauté a créé un émulateur qui permet de découvrir la plateforme Arduboy de façon virtuelle. Les utilisateurs ont aussi la possibilité de jouer à des jeux Arduboy dans leur navigateur.

L'ajout d'une mémoire flash externe à une puce pour embarquer tous les jeux est un autre apport de la communauté, et cette puce fait maintenant partie de l'actuelle *Arduboy FX*.

L'Arduboy est un système ouvert de création qui permet d'apprendre à coder des jeux et à concevoir du matériel, et encore une fois cette opportunité n'existerait pas sans l'apport continu des membres du forum. Comme je leur suis extrêmement reconnaissant, j'ai tenu à les remercier en inscrivant leurs noms au dos du CI de l'Arduboy. J'ai fait la même chose au dos de mon nouveau projet, l'*Arduboy Mini* (**figure 10** et [arduboy.com/mini](https://arduboy.com/mini)) en utilisant une police de style graffiti.

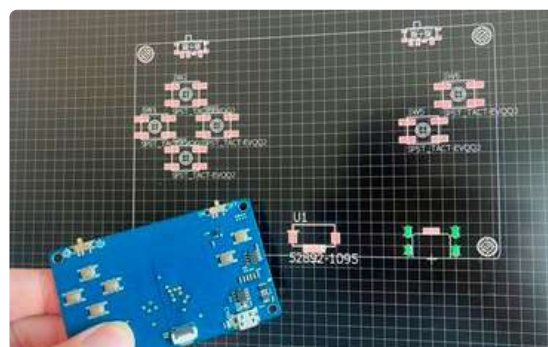


Figure 9. Un autre prototype.



## *L'Arduboy se voulait une plateforme de jeu minimale.*

### **Cuartielles : Quel est votre jeu Arduboy préféré ?**

**Bates :** Me permettez-vous de choisir mon propre jeu, *New Blocks on the Kid*, un jeu d'empilage de blocs ? Plus sérieusement, à mes yeux le meilleur jeu pour l'Arduboy est *Circuit Dude*, désormais disponible sur mobile, PC et Nintendo Switch. C'est un succès qui fait plaisir à voir. J'aime aussi beaucoup *Snelk*, assez basique certes, mais c'est la reprise de Snake, un classique.

### **Cuartielles : Où en êtes-vous aujourd'hui ? Combien de personnes sont impliquées dans la fabrication des consoles ?**

**Bates :** Eh bien, je suis toujours là, la console Arduboy aussi, et ça depuis bientôt 9 ans ! Je suis à San Francisco et ne voyage plus, ce qui me fait bizarre puisqu'au début je pensais devoir aller en Chine au moins une fois par an. Bien des choses ont changé, beaucoup sont restées les mêmes. Je suis seul dans l'entreprise. J'ai employé du personnel à certains moments, mais à la tête de l'entreprise il n'y a vraiment que moi. Si parfois je dis « nous », c'est une sorte de « nous » royal faisant référence à la communauté. *Seeed Studio* produit toujours l'Arduboy FX mais sous-traite l'assemblage. J'aimerais y retourner un jour, déjeuner avec les personnes qui concrétisent un projet est sympa.

### **Cuartielles : Quels défis devez-vous relever aujourd'hui ? La pénurie de composants a affecté de nombreuses entreprises ces 36 derniers mois. Comment ferez-vous face à ce problème à l'avenir ?**

**Bates :** Mon principal défi consiste à imaginer un nouveau produit. Le reste, c'est la routine d'entre-

prise, classique mais chronophage, comme les tâches administratives et le paiement des impôts.

C'est à Seeed Studio que revient le plus difficile, l'approvisionnement en composants. Ils estiment la date à laquelle pourra démarrer une production, et quand elle va au-delà de 9 mois ou d'un an, il faut expliquer au client pourquoi il devra patienter. Le dernier lot n'a pas subi de retard grâce à l'équipe d'Arduino qui a eu la bonté de me procurer des puces qu'ils avaient en stock. C'était un petit volume pour eux, mais pour moi la différence est énorme entre livrer 0 console et en livrer 1000, donc je leur adresse un grand merci !

Ceci dit, j'ai toujours été confronté à une demande supérieure à mes capacités de production, donc ce problème d'approvisionnement n'est pas vraiment nouveau pour moi.

Le contexte financier a par ailleurs empiré depuis mes débuts puisque les taxes d'importation de mon produit s'élèvent maintenant à 25 %. L'essentiel de ce surcoût est prélevé sur mon salaire. Mon affaire a heureusement décollé très vite, ce qui m'a permis de me faire un nom, et à l'entreprise de trouver sa place. J'étais au bon endroit au bon moment. Une telle réussite serait impossible aujourd'hui. Comme je l'ai dit, je suis encore là, l'Arduboy aussi, alors... je dois continuer !

### **Cuartielles : Quelle est la prochaine étape pour l'Arduboy ?**

**Bates :** Le succès de la console Arduboy a dépassé mes rêves les plus fous. J'ai même reçu des douzaines de témoignages d'utilisateurs dont la vie avait été changée par l'Arduboy. Ils me disent par exemple qu'ils ont pu devenir développeurs professionnels de jeux vidéo en apprenant à coder avec l'Arduboy. Ce genre de récit est typique : quelqu'un découvre la console, et non seulement il l'apprécie, mais elle change sa vie.

C'est un phénomène que j'essaie de comprendre et de mettre en perspective. Comment, dans un monde confronté à tant de problèmes, puis-je encore me permettre de travailler sur une si petite plateforme de jeux ? Je me dis qu'apprendre à coder des jeux, c'est aussi apprendre à résoudre des problèmes, à se fixer des objectifs, à penser de façon rationnelle, et à développer des compétences en communication lorsqu'on collabore avec d'autres personnes. Ces qualités humaines ne sont généralement pas enseignées mais sont essentielles à mes yeux.

Ayant découvert l'aspect formateur de cette plateforme open source, comment puis-je la rendre encore plus

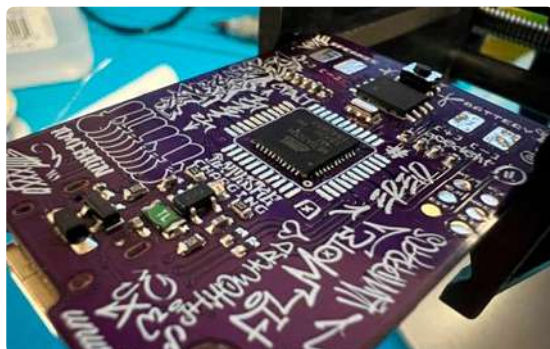


Figure 10. L'Arduboy Mini.

accessible ? Pour l'instant ma réponse est de la rendre meilleur marché, et pour ça j'ai imaginé l'Arduoy Mini. Il est plus facile de gagner l'intérêt d'un enseignant lorsque le produit pédagogique proposé est peu cher.

Une autre façon de promouvoir la plateforme serait de passer par l'émulateur, donc je travaille également sur ce projet issu de la communauté. L'incorporer à une appli pour mobiles ou appareils Chrome qui permettrait d'entrer un CV serait la suite logique des débuts de l'Arduoy.

Comme ce n'est pas une mince affaire, je suis à la recherche de partenaires, voire de personnes déjà sur ce créneau et que je pourrais rejoindre. Si vous voulez aller vite, partez seul. Si vous voulez aller loin, partez à plusieurs. J'ai été vite, mais je frise la quarantaine et songe à ce que je laisserai derrière moi. J'essaie d'imaginer un avenir à l'Arduoy qui me permettrait de m'en éloigner en étant certain d'en avoir tiré le maximum. J'aimerais aussi m'attaquer au marché des calculatrices graphiques, mais c'est une tout autre histoire. ◀

220543-04 — VF : Hervé Moreau

### À propos de l'auteur

David Cuartielles est le cofondateur d'Arduino. Il est titulaire d'un doctorat en design interactif et d'un master en génie des télécommunications. Il enseigne à l'université de Malmö.



### Produits

Les produits mentionnés dans cet article vous intéressent ?  
Rendez-vous dans l'e-shoppe !

- > **Arduoy FX - mini-console portable open source**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-arduboy](http://www.elektormagazine.fr/arduino-arduboy)
- > **Arduino Nano 33**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-nano33](http://www.elektormagazine.fr/arduino-nano33)
- > **Nano RP2040 Connect**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-nano-rp2040-connect](http://www.elektormagazine.fr/arduino-nano-rp2040-connect)



## Une offre encore décuplée

La plus vaste sélection de semi-conducteurs et composants électroniques en stock et prêts à être expédiés™

[mouser.fr](http://mouser.fr)



**MOUSER**  
ELECTRONICS



# Réduire l'utilisation de l'eau sur les pistes d'équitation

un IdO pour surveiller en permanence les niveaux d'humidité et de température du sol

David Cuartielles (Arduino)

Dans le domaine de l'équitation, le maintien de conditions de piste optimales a longtemps été une tâche manuelle nécessitant l'expertise de jardiniers qualifiés, mais tout surveiller, partout et en même temps demeure impossible. Anders Åkerberg, chef de projet au centre équestre de Jägersro, est allé frapper à la porte d'Arduino pour trouver des solutions plus intelligentes.

Le centre équestre de Jägersro, probablement le plus important du sud de la Scandinavie, avait besoin de réduire sa consommation d'eau. Anders nous a contactés pour discuter d'un moyen intelligent d'y parvenir. « Nous souhaitons, bien sûr, rendre notre piste aussi écologique que possible. Actuellement, nous avons un expert qui contrôle l'hippodrome et décide quand il faut recourir au tracteur d'arrosage pour aider à maintenir le bon niveau d'humidité du sol. De nombreuses variables interviennent dans cette décision, depuis les angles des différentes parties de la piste, jusqu'aux différences de température dues à l'incidence du soleil, ou même la façon dont le vent souffle sur la piste. Il y a tout simplement trop de facteurs externes à prendre en compte ». Mais, ce qui semblait être un simple processus d'automatisation a débouché sur un très intéressant projet pour explorer l'utilisation de l'Arduino Portenta H7 comme outil de collecte de données et de prise de décision sur site. Cet article décrit les premières étapes du projet, ainsi que les raisons ayant conduit à la sélection des capteurs pour ce projet. Tous les enseignements présentés ici peuvent s'appliquer à de nombreux autres projets d'IdO, qu'il s'agisse d'hippodromes nécessitant l'utilisation de vrai gazon ou de champs que l'on doit soigneusement irriguer pour la production de légumes.

## Contexte

En 2017, à Malmö en Suède, fut prise la décision de construire une nouvelle installation sportive de trot (**figure 1**), en remplacement de l'installation existante qui ne pouvait pas répondre aux attentes des concurrents, des chevaux, des spectateurs, et même de la société, sur ce que devrait être une installation sportive moderne. Le projet prévoit une refonte de l'ensemble de l'installation, qui devrait être prête en 2025.

L'équitation est un sport très suivi en Suède et dans toute la Scandinavie. Il y a différents types de courses hippiques : les jockeys peuvent monter directement sur les chevaux ou être assis sur un chariot de course (appelé sully) tiré par un cheval dans ce que

l'on appelle les courses attelées. Quel que soit la discipline, l'hippodrome est le même. Il consiste en une piste de 1000 mètres de long construite avec des matériaux organiques tels que du sable, du gravier et des cailloux de différentes tailles. La qualité de la piste est supervisée par une équipe spécifique qui surveille et corrige constamment son état.

L'un des principaux aspects à prendre en compte est l'humidité de la piste. Pour minimiser l'impact qu'elle aura sur les sabots et les pattes des chevaux, elle ne doit être ni trop humide ni trop sèche. L'effet produit par un gravier correctement arrosé s'appelle l'amorti, qui, en raison du poids des chevaux, transforme le



gravier humide en un mélange de ressort et d'amortisseur. La qualité du sol fait l'objet d'une controverse constante entre les concurrents et le personnel de piste. Actuellement, des appareils portatifs sont utilisés en parallèle avec les observations de surface des experts pour déterminer l'humidité optimale de la piste. L'irrigation se fait à l'aide d'un tracteur dédié équipé d'arroseurs. Cette situation recèle de belles opportunités pour explorer une possible automatisation afin d'aider l'expert de la piste à obtenir plus rapidement de meilleures informations et de garantir une qualité de piste uniforme et prévisible. En théorie, cela permettra également de réduire la consommation d'eau de la piste, grâce à une meilleure précision des emplacements et quantités d'eau nécessaires.

## Le problème

Le véritable défi consiste à pouvoir déterminer avec précision la quantité d'eau à utiliser pour chaque section de la piste. La nature même de la piste en est la cause :

- La piste intérieure et les virages ont des inclinaisons différentes (2 degrés contre 18) ;
- Il est impossible de faire en sorte que les couches de gravier à la surface de la piste aient une épaisseur et une composition exactement identiques ;
- Même si nous y parvenions, les chevaux y mettraient fin dès leur première course ;
- L'orientation de la piste lui confère une exposition solaire non uniforme (vous pensez à l'évaporation ?) ;
- Le vent affecte ponctuellement les conditions ;
- Périodiquement, ou sur décision du directeur de piste, la surface est arasée et quelques centimètres de gravier sont enlevés et remplacés.

## La solution

Comme vous pouvez l'imaginer, les variables affectant la qualité de la piste sont bien trop nombreuses pour résoudre le problème de l'endroit où arroser la piste et quand utiliser des techniques telles que la vision par ordinateur. Le moyen le plus fiable de savoir où arroser la piste nécessite l'installation d'un réseau de capteurs permanents enfouis sous la couche supérieure de gravier, la plus fine, de la piste. Après avoir collecté les données, il devrait être possible de modéliser la piste et d'utiliser d'autres mécanismes pour déterminer les niveaux d'humidité. Ce projet porte sur cette première étape. Notre objectif est de créer une piste connectée où l'humidité sera calculée en temps réel en plusieurs endroits à la fois.

Notre idée consiste à bâtir un système qui sera utilisé pour surveiller les données quantitatives de la piste (humidité et température) et les corrélérer avec les obser-



vations faites par ses gestionnaires. Comme mentionné plus haut, on s'attend à ce que des informations de capteurs similaires provenant de différents points de la piste donnent lieu à des déterminations de qualité différentes. Il est donc important de trouver comment former un système capable de fournir au gestionnaire de piste des données auxquelles il pourra se référer, et non pas de simples valeurs brutes de capteurs. Dans l'idéal, ce système devrait permettre de réduire le temps nécessaire à la collecte de données le long de la piste, et les décisions pourraient se prendre simplement en regardant une représentation visuelle de celles-ci.

Pour Anders, c'était le premier pas vers l'automatisation du système d'arrosage de l'hippodrome et la réduction de la consommation d'eau, tout en améliorant les conditions de la piste en les maintenant aussi uniformes que possible. Pour moi, ce projet représente l'opportunité d'essayer certaines technologies complexes. Et je parle ici de capteurs compliqués et coûteux (entre 150 et 350 € pièce). Pour rédiger cet article, j'ai étudié une famille de capteurs qui existent depuis longtemps, mais qui sont généralement hors de portée pour la plupart d'entre nous. Je présente ici les premières étapes de ce projet afin d'illustrer comment d'autres peuvent suivre une approche similaire. La même technologie pourrait être appliquée dans le domaine de l'agriculture intelligente, de l'entretien des terrains de sport, de la détection de fuites de liquides... en fait, tout type de projet ayant à faire avec l'eau et le sol, quels qu'ils soient.

La solution ultime, qui couvrira l'ensemble de la piste, comportera un nombre de capteurs et de cartes Arduino Portenta H7 qui reste à déterminer. Une partie de la recherche en cours consiste à déterminer la distance qui devra séparer les points de mesure. On ne sait pas non plus si l'on doit mesurer en différents points en travers de la piste ou si, étant donné qu'elle est inclinée vers l'intérieur, un seul point de mesure suffira. En plus, on peut avoir besoin de capteurs avec des câbles jusqu'à 70 mètres de long, mais cela les rend encore plus chers, car ils doivent être calibrés manuellement en usine, et ils ne sont généralement pas faits pour supporter des câbles aussi longs.

▲  
Figure 1. Zone pour la nouvelle piste de Jägersro. (Source : Jägersro Hästcenter)

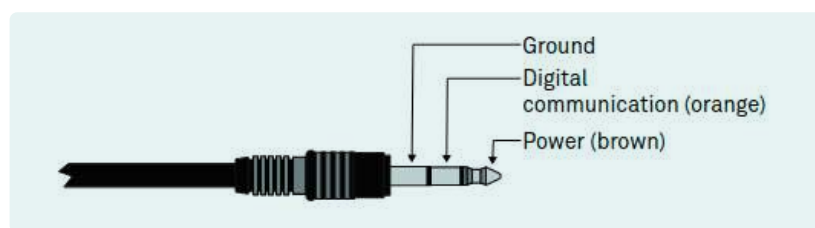


Figure 2a. Connecteur jack. (Source : METER Group, TEROS 11 Integrator Guide)

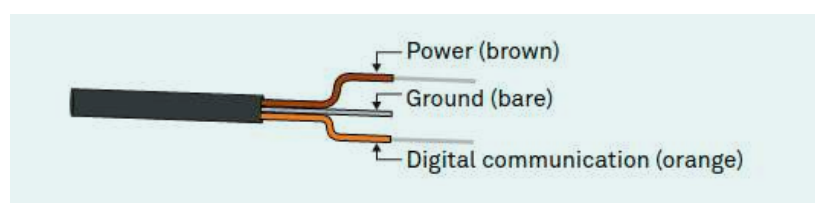


Figure 2b. Fils dénudés et étamés. (Source : METER Group, TEROS 11 Integrator Guide)

**Tableau 1. Comparatif des différents capteurs étudiés.**

Fonction	TEROS 10	TEROS 11	TEROS 21
Résolution	0.001 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.001 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	
Température	-40 ... 60 °C	-40 ... 60 °C	-40 ... 60 °C
Mesures	humidité	humidité, température	potentiel hydrique, température
Capteur analogique	1 ... 2.5 V	1 ... 2.5 V	
Protocole de communication	analog out	série DDI ou SDI-12	série DDI ou SDI-12
Influence du volume	430 ml	1010 ml	
Fréquence	70 MHz	70 MHz	70 MHz
Tension	3 ... 15 VDC	3 ... 15 VDC	3.6 ... 15 VDC

## Potentiel de l'eau

Un concept pertinent que j'ai découvert au cours de la recherche préliminaire pour ce projet est le « potentiel de l'eau ». Pour mieux comprendre ce que cela signifie, il faut penser en termes de thermodynamique. L'excès de chaleur circule toujours de manière à égaliser la température de deux surfaces en contact. Le potentiel hydrique peut être considéré de la même manière : l'eau s'écoule des zones à fort potentiel hydrique vers celles à faible potentiel. De ce point de vue, nous ne pouvons pas mesurer le potentiel hydrique comme une quantité absolue – il doit être interprété comme une quantité relative. L'eau pure fournit la valeur de référence pour ce potentiel. La présence de divers solvants dans l'eau, ou la répartition de l'eau dans le sol, entraîne une modification du potentiel hydrique. Donc, si vous êtes sur le point de vous plonger dans les fiches techniques d'un capteur d'humidité du sol haut de gamme, il est important de garder cela à l'esprit.

## Les capteurs

Pour cet article, j'ai comparé quelques capteurs de la famille TEROS de METER Group. Ces capteurs existent

depuis longtemps (la société s'appelait auparavant Decagon). Ce sont des capteurs numériques – ils sont équipés d'un microcontrôleur qui prend des mesures et renvoie l'information à un autre appareil, sous forme analogique ou numérique. La plupart des entreprises qui vendent ce type de capteurs proposent également des enregistreurs de données portatifs à utiliser sur le terrain. On peut donc trouver les capteurs avec un connecteur jack pour faciliter la lecture, ou avec des extrémités dénudées soigneusement étamées, comme le montrent les **figures 2a et 2b**.

J'imagine que la plupart des lecteurs connaissent les capteurs d'humidité du sol bon marché, qui mesurent soit la conductivité du sol, soit sa capacité. Ils se présentent sous la forme d'une lame avec entre une et trois pointes, et renvoient un signal qui peut être lu simplement sur une entrée analogique d'une carte à microcontrôleur. Ces capteurs bon marché sont parfaits pour une utilisation en intérieur et pour les projets où l'on peut facilement les remplacer en cas de panne, mais les enterrer et attendre d'eux qu'ils survivent à des températures hivernales négatives et à une traction mécanique permanente due au déplacement du gravier ne paraît pas raisonnable.

À l'extrémité plus professionnelle du spectre, nous trouvons les capteurs que j'ai choisi d'évaluer. Il existe deux familles différentes de capteurs : ceux à terminaison métallique et ceux utilisant la technologie piézoélectrique. Le **tableau 1** présente quelques caractéristiques de base de ces capteurs, pour vous donner une idée de leur fonctionnement. Je vous renvoie aux références de leurs fiches techniques pour plus d'informations.

Les capteurs TEROS 10 (**figure 3**) et TEROS 11 (**figure 4**) utilisent la même technologie pour le calcul de l'humidité, et sont donc identiques en ce qui concerne leurs possibilités, à l'exception de la surface qu'ils peuvent couvrir (appelée influence volumique), qui est plus que doublée pour le TEROS 11. Comme vous pouvez le voir sur les photos des capteurs, ces deux premiers appareils semblent identiques, à part le fait que l'un a deux broches et l'autre trois. La troisième broche du TEROS 11 est un thermocouple permettant de mesurer la température du sol. C'est une grande différence entre les deux capteurs, et cela affecte également la façon dont les données sont envoyées au microcontrôleur. Le TEROS 10 envoie un signal analogique brut, qui peut être lu directement par une carte Arduino en utilisant la fonction `analogRead()`. Je l'ai testé en connectant simplement les fils d'alimentation/masse/signal du capteur aux broches de ma BoB Portenta. L'alimentation du capteur en 3V3 était suffisante pour qu'il fonctionne, malgré le câble de 5 m de long entre le capteur et mon Portenta. De leur côté, les TEROS 11





et TEROs 21 (**figure 5**) peuvent fournir plus d'un type de valeur (humidité et température pour les entrées de gamme), il est donc nécessaire d'implémenter un protocole numérique pour la communication avec les capteurs. C'est un avantage, car il est maintenant possible de configurer les capteurs pour qu'ils communiquent en utilisant le SDI-12, un type spécifique de technologie de bus (nous y reviendrons plus tard). C'est également la raison pour laquelle les TEROs 11 et TEROs 21 ont besoin de tensions plus élevées pour fonctionner. Lors de mes tests, j'ai dû utiliser une alimentation externe de 12 V pour m'assurer que les capteurs fonctionnaient comme prévu (**figure 6**).

### DDI vs SDI-12

En utilisant SDI-12 (*Serial Digital Interface at 1200 Baud*), il est possible de connecter plusieurs capteurs à 1200 bps en parallèle et de lire des informations à partir de ceux-ci en utilisant des commandes AT spéciales, lisibles par un humain (voir le site de SDI-12 pour plus d'informations [5]). De plus, ces capteurs ont implémenté une procédure en cas d'incident appelée DDI-Serial, qui oblige le capteur à envoyer une chaîne de texte sur le port de communication lorsqu'il redémarre. La **figure 7** montre une capture d'écran du terminal *Serial Monitor* d'Arduino recevant des informations pendant les multiples cycles d'alimentation du capteur. Dans ce cas, je venais de jeter quelques glaçons dans un récipient contenant de l'eau, et vous pouvez voir qu'on peut constater que la valeur d'humidité reste constante alors que la température baisse. Les derniers caractères à la fin de chaque ligne sont l'identifiant spécifique du capteur, l'octet de somme de contrôle, etc. Par conséquent, une façon possible de réaliser ce projet avec un TEROs 11 ou TEROs 21 est déjà résolue en utilisant les rafales de données DDI après chaque cycle d'alimentation du capteur. Il me suffirait de mettre en place une carte où les différentes broches de réception pourraient être reliées entre elles et d'avoir différents MOSFET pour alimenter les capteurs séparément. Je devrais également vérifier l'impédance et calculer combien de capteurs je pourrai avoir simultanément et s'il faudra une sorte de pilote. DDI et SDI-12 sont tous deux des protocoles de communication série 7N1 à 1 fil. On peut trouver une bibliothèque série complète bien documentée et maintenue pour les cartes Arduino basées sur AVR [6], mais elle utilise la bibliothèque *SoftwareSerial* d'Arduino, ainsi que des interruptions matérielles pour s'assurer qu'elle reçoit les signaux correctement. La bibliothèque ne nécessite qu'un minimum de matériel pour se connecter au capteur. Et comme *SoftwareSerial* est en semi-duplex, vous pouvez connecter directement le câble de données du capteur à une broche, et cela



Figure 3. Capteur TEROs 10.  
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)



Figure 4. Capteur TEROs 11.  
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)



Figure 5. Capteur TEROs 21.  
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)



Figure 6. Configuration expérimentale.  
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)

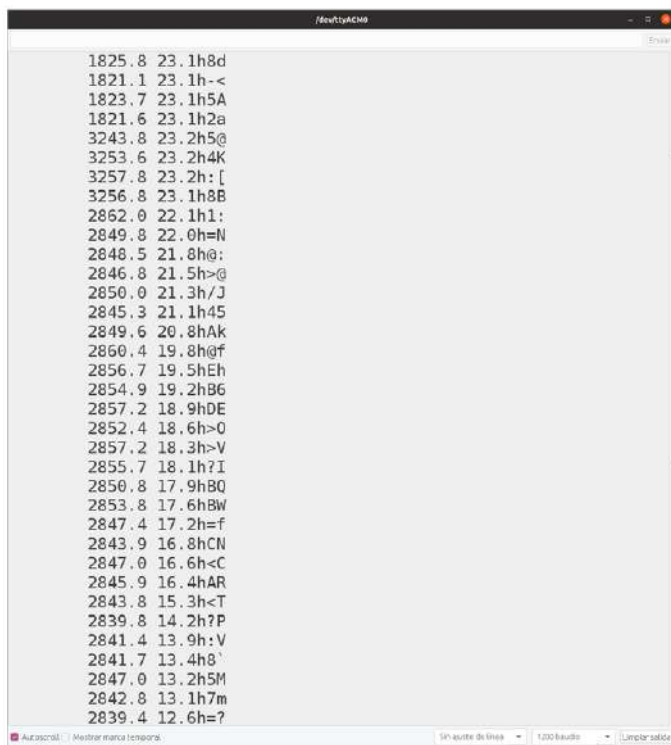


Figure 7. Le moniteur série de l'Arduino affichant les messages DDI d'un TEROS 11.

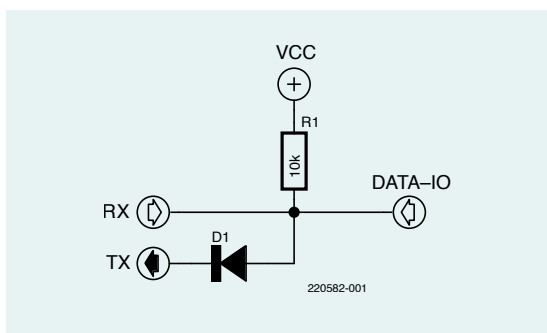


Figure 8. Convertisseur série deux fils à un fil.

fonctionnera (tant que vous avez une carte 3V3, ou sinon il faudra une conversion de tension pour protéger le capteur). Portenta n'ayant aucun problème avec les ports série matériels, nous n'utiliserons pas une implémentation de *SoftwareSerial* (et parce que nous compilons sous mbedOS, qui ne fonctionne pas bien avec les micrologiciels pilotés par des interruptions). Dans mon cas, j'ai utilisé l'astuce d'utiliser un port série matériel (broches 13/14 sur le Portenta H7), avec TX connecté via une diode à une broche RX avec résistance de rappel. C'est une astuce bien connue qui devrait fonctionner dans ce cas (NDLR : c'est le cas, mais seulement pour la réception, pas pour l'émission). La **figure 8** montre le schéma de la conversion 2 fils vers 1 fil.

Par conséquent, la prochaine étape pour moi, maintenant que je dispose d'une communication DDI, est de mettre en œuvre un pilote matériel pour permettre l'envoi de requêtes de données aux capteurs, prenant ainsi en charge la norme SDI-12. Cela me fournira un second moyen d'obtenir des informations.

## Mise sous tension des capteurs

Toutes les fiches techniques de ces capteurs expliquent qu'il faut les allumer brièvement, juste pour lire les données, puis de les éteindre. Les raisons en sont à la fois la réduction de la consommation d'énergie et la prolongation de la durée de vie de l'électronique qu'ils contiennent. En effet, les lectures peuvent être compromises si les capteurs sont laissés allumés pendant de longues périodes. Cela s'applique aux trois capteurs testés. Ce concept de cycle d'alimentation implique que je devrai inclure des MOSFET pour activer et désactiver chacun des capteurs – ce que j'avais déjà prévu de faire comme moyen de récupérer les informations via DDI. Comme j'alimente les capteurs en 12 V, je peux chercher des MOSFET relativement puissants (comme l'IRFZ-24, l'un de mes préférés) qui me permettraient de réutiliser la carte que je devrai concevoir pour d'autres situations.

## Choisir le bon capteur

Il est clair pour moi que j'ai besoin d'informations sur la température et pas seulement sur l'humidité du sol, donc le TEROS 10 n'est pas une option. Après quelques tests initiaux en laboratoire, le TEROS 11 m'a donné une meilleure impression en termes de robustesse mécanique et d'étanchéité. Les capteurs devront être enterrés dans du gravier, et je m'attends à ce qu'ils soient en contact direct avec l'eau, donc le TEROS 11 semble également meilleur de ce point de vue. Cependant, je ne peux pas me faire une opinion sans une expérience de terrain. J'ai l'intention d'enterrer un couple de TEROS 11 et de TEROS 21 dans la piste pendant quelques mois pour avoir une idée de leur résistance. Si le prix était un facteur limitatif (il pourrait l'être, plus tard dans le processus), le TEROS 21 coûte plus de 350 € l'unité – une raison plus que suffisante pour ne pas le choisir. Le TEROS 11 coûte un peu plus de la moitié de ce prix. Si je devais placer un groupe de trois capteurs tous les 10 m sur la voie, j'aurais besoin de 300 capteurs. Je laisse au lecteur le soin de faire le calcul de ce que cela représenterait, rien que pour les capteurs.

## Les prochaines étapes

Ce projet est loin d'être terminé. Je travaille actuellement sur la conception d'un support pour le BoB Portenta qui accueillera l'entrée d'alimentation pour les capteurs, les MOSFET pour cycler l'alimentation, et les pilotes pour la communication série à 1 fil. Une fois que tout cela sera en place, je choisirai une alimentation 12 V robuste, un boîtier ABS standard, et je l'installerai sur place pour sauvegarder les données

sur une carte SD et les transmettre par wifi à l'Arduino Cloud (il y a une connexion wifi sur la piste). Dans quelques mois, je saurai enfin quels capteurs sont les meilleurs. Si vous voulez aussi savoir, suivez mes progrès sur le blog Arduino [7], où je compte publier les différentes étapes du processus au fur et à mesure de mes découvertes. ◀

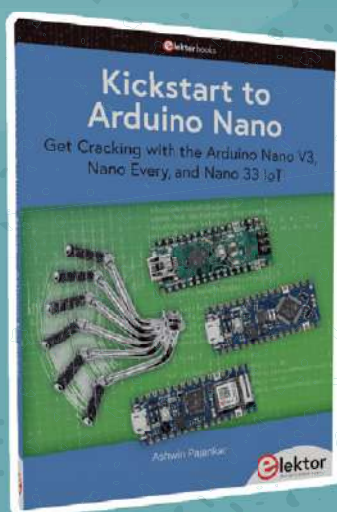
(220582-04) — VF : Denis Lafourcade



> **Arduino Portenta H7 Development Board (SKU 19351)**  
[www.elektor.fr/19351](http://www.elektor.fr/19351)

## LIENS

- [1] Jägersro Håstcenter : <https://jagersrohaastcenter.se/>
- [2] Manuel du METER TEROS 10 : [http://publications.metergroup.com/Manuals/20788\\_TEROS10\\_Manual\\_Web.pdf](http://publications.metergroup.com/Manuals/20788_TEROS10_Manual_Web.pdf)
- [3] Manuel des METER TEROS 11/12 : [https://publications.metergroup.com/Manuals/20587\\_TEROS11-12\\_Manual\\_Web.pdf](https://publications.metergroup.com/Manuals/20587_TEROS11-12_Manual_Web.pdf)
- [4] Manuel du METER TEROS 21 GEN 2 : [https://publications.metergroup.com/Manuals/20854\\_TEROS21\\_Gen2\\_Manual\\_Web.pdf](https://publications.metergroup.com/Manuals/20854_TEROS21_Gen2_Manual_Web.pdf)
- [5] Groupe de soutien SDI-12 : <https://sdi-12.org>
- [6] Bibliothèque Arduino-SDI-12 sur GitHub : <https://github.com/EnviroDIY/Arduino-SDI-12>
- [7] Blog Arduino : <https://blog.arduino.cc/>



## Kickstart to Arduino Nano

Ce livre constitue la première étape pour les novices et les amateurs de microcontrôleurs qui souhaitent s'initier à la programmation Arduino. Il suit une approche pas à pas pour expliquer les concepts et le fonctionnement des choses. Chaque concept est suivi d'un schéma de circuit et d'exemples de code. Viennent ensuite des explications détaillées sur la syntaxe et la logique utilisées. En suivant de près ces concepts, vous deviendrez plus à l'aise avec la construction de circuits.

[www.elektor.fr/20241](http://www.elektor.fr/20241)





# le projet Panettone

système de gestion et de maintien  
d'un ferment au levain

**Daniel Fantin (Australie)**

Ce projet Arduino est né de la frustration de beaucoup, beaucoup de Panettone ratés. Pour mémoire, le panettone est une brioche italienne traditionnelle préparée pour Pâques et Noël. Elle a une texture incroyablement légère et aérée, qui nécessite une levure très active provenant d'un levain...



Figure 1. Un magnifique Panettone, n'est-ce pas ?

Jetez un coup d'œil à la **figure 1**. Voilà à quoi ressemble un Panettone réussi : léger, aéré, gorgé de beurre et de fruits. Si vous avez l'eau à la bouche, il y a ici tout ce qu'il faut (sur le plan technique) pour préparer parfaitement vous-même un aussi magnifique gâteau. *Buon appetito !*

## Qu'est-ce qu'un ferment au levain ?

En termes simples, il s'agit d'une association de bactéries et de levures qui, nourries de farine fraîche et d'eau, libèrent des gaz qui créent un pain aéré et levé. La levure doit être suffisamment forte pour lutter contre la charge gravitationnelle du pain ou de la pâte à Panettone. Dans le cas du pain, ce n'est pas si terrible, mais pour le Panettone, nous nous heurtons à de grandes quantités de beurre, de fruits et de sucre – une tâche difficile pour toute levure.

Quand un levain est-il assez fort pour être utilisé dans un Panettone ? C'est simple : Quand il triple de hauteur en quatre heures, tout en étant maintenu à 27 °C. Cela paraît simple, pour le moins, mais ce maintien est

difficile. Personne n'a vraiment envie de chauffer sa maison à 27 °C juste pour son levain, et encore moins de maintenir cette température pendant des semaines tandis que la force du levain augmente. Et comment savoir s'il a triplé de volume en quatre heures ? Allez-vous vérifier en permanence ? Programmer des alarmes et garder un mètre ruban dans la cuisine ? C'est trop, trop difficile, trop accaparant. Il vaut mieux laisser ça à un robot.

Que se passe-t-il lorsque le levain n'est pas assez fort ? Le Panettone qui en résulte est dense, difficile à manger et semble raté. Qu'en est-il lorsqu'il est assez fort ? Revenez à la **figure 1**. Vous savez juste qu'il est délicat, moelleux, aéré, velouté, sucré, croustillant, beurré... tout ce que vous en attendez.

Nous sommes donc au mois de mai au moment où j'écris ces lignes, et j'ai du temps avant de devoir faire ma prochaine fournée de Panettone (en décembre). Lorsque, dans ma discipline à l'université de Deakin, on nous a demandé de résoudre un problème du « monde réel », Pâques venait de passer, et je venais juste d'échouer avec un tas d'autres Panettone. Cela semblait donc être

un problème du monde réel qui valait la peine d'être résolu.

Tout d'abord, j'ai pensé à acheter une chambre de pousse ou quelque chose de similaire, mais ce sont des articles CHERS, surtout si l'on considère que ce que j'avais l'intention de construire avait encore plus de fonctionnalités (et était, au global, moins cher).

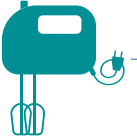
## Critères du projet

Qu'est-ce que le projet doit faire ?

1. Gérer la température du ferment au levain.
2. Nous dire s'il est assez fort pour le Panettone.

Donc, il me faut :

- quelque chose pour suivre la hauteur du levain à l'intérieur du bocal (cela me permettra de savoir si le levain a triplé de hauteur en quatre heures)
- quelque chose pour suivre la température du levain dans le bocal
- quelque chose pour chauffer ou refroidir le bocal afin qu'il reste toujours à environ 27 °C



- quelque chose pour m'avertir des événements importants (par exemple, le seuil des quatre heures)
- une interface graphique pour pouvoir réinitialiser le ferment de levain après l'avoir nourri
- une interface graphique pour pouvoir suivre à distance les variables clés (température, croissance)

Je voulais utiliser les principes de conception basés sur les composants afin de pouvoir toujours isoler les problèmes à un seul endroit. Alors que ce projet aurait facilement pu être regroupé sur une seule carte, je voulais créer quelque chose qui puisse tester l'interface entre différents systèmes, et m'instruire pour entreprendre des projets plus compliqués à l'avenir. C'est pourquoi j'ai opté pour :

- **Capteurs** : un RPi 3B+ pour gérer le DHT et les capteurs de distance (à base de laser) et transmettre ces données sans fil (vers la carte Particle, voir ci-dessous) et via USB série (vers l'Arduino).
- **Chauffage/refroidissement** : un

Arduino UNO pour allumer les plaques chauffantes et le ventilateur lorsque nécessaire, afin de maintenir la température du levain.

- **GUI/notifications/remontées** : une carte Particle Argon [1] pour donner à l'utilisateur une interface graphique à distance, une interface graphique LCD, et alerter sur les événements importants.

La **figure 2** présente un schéma rapide de l'architecture du système.

### Webhooks/IFTTT

Tout devrait pouvoir communiquer avec le reste. Je n'avais pas beaucoup d'expérience dans ce domaine, et j'ai pensé que la plateforme IFTTT [2] (*If This Then That* : si ceci, alors cela) offrait le moyen le plus simple et le plus facile de mettre en place cette communication. J'ai donc créé un compte IFTTT, puis j'ai généré une applet avec un webhook comme « IF ». En gros, **SI** le *webhook* reçoit une requête web avec une charge utile JSON (JavaScript Object Notation) (c'est-à-dire une

requête du RPi), **ALORS** il déclenche une fonction Particle. Celle-ci peut alors utiliser les données JSON comme elle le doit.

Le site Web PiMyLifeUp [3] m'a beaucoup aidé. Le plus important est que le *webhook* vous donne une adresse de la forme :

<https://maker.ifttt.com/trigger/tempsent/json/with/key/XXXXXX>

Où XXXXXX est votre clé personnelle. Il ne nous reste plus qu'à utiliser cette URL dans notre code pour déclencher cette applet en la postant au moment opportun.

Le deuxième IFTTT est une connexion entre la Particle et le téléphone – c'est assez simple. L'**IF** attend que la Particle publie un événement d'un nom spécifique, puis envoie une notification à l'application IFTTT sur le téléphone si et quand elle est reçue.

### Le Raspberry Pi

Maintenant, faisons en sorte que tous les capteurs fonctionnent, et que le RPi communique avec tout. Pour connecter le circuit :

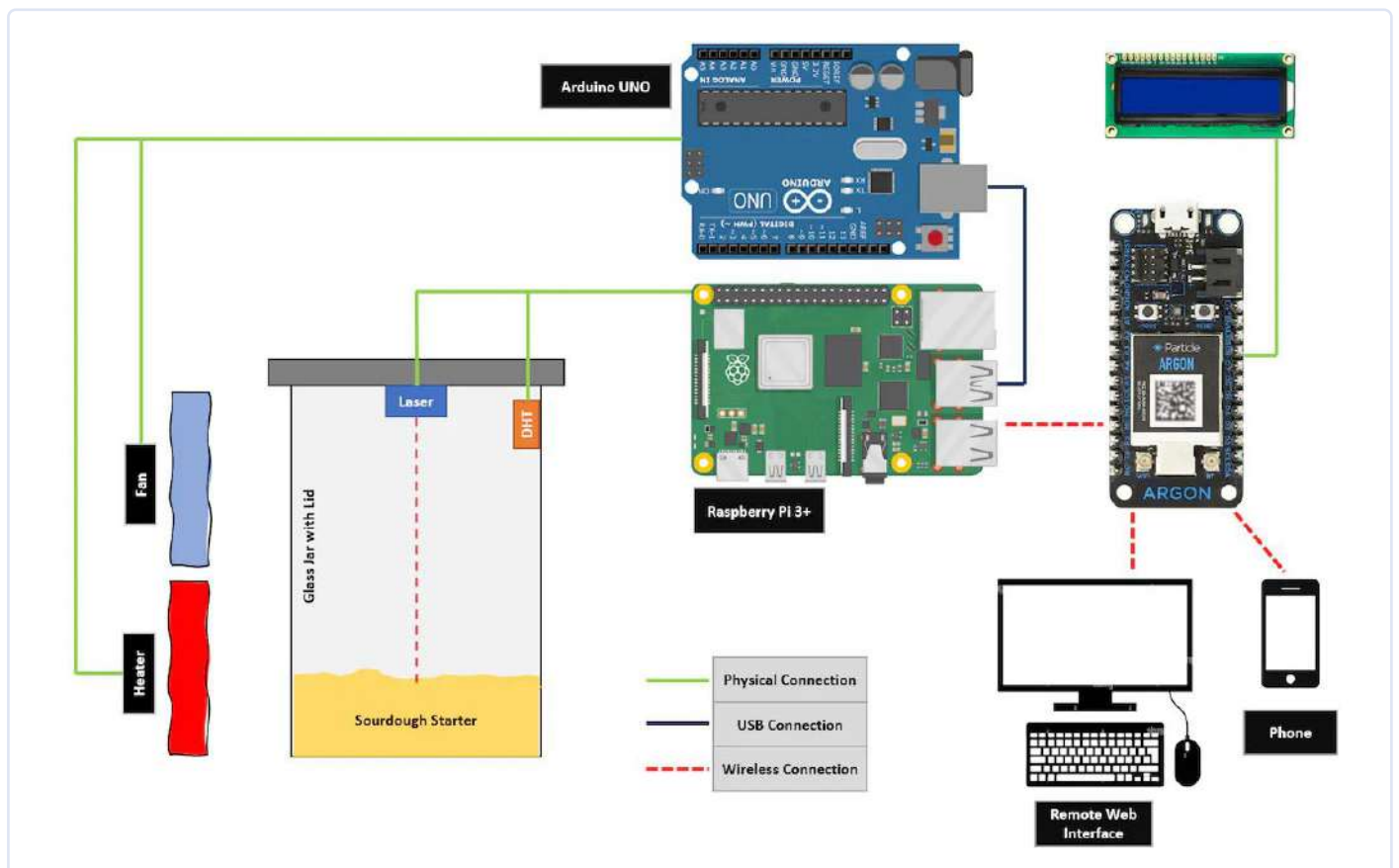


Figure 2. Schéma de l'architecture du système.

➤ **DHT** : Connectez la broche d'alimentation du DHT au 5 V du RPi, la deuxième broche au GPIO4 du RPi, et la quatrième broche sur le capteur DHT est inutilisée. Nota : Il aurait été préférable d'utiliser un DHT22 pour la précision, mais le mien

était défectueux et je l'ai remplacé par un DHT11 pour le produit final.

➤ **VL53L1XLaser** : Connectez Vin au 3,3 V du RPi, GND au GND du RPi, SDA au GPIO2 du RPi, et SCL au GPIO3 du RPi. Ceci permet la communication série entre le RPi et le Laser.

À noter ici que j'ai choisi un laser pour mesurer la distance, plutôt qu'un capteur à ultrasons, pour quelques raisons :

- Précision – les mesures au laser sont beaucoup plus précises.
- Un laser est plus fiable, d'autant plus que la surface de la pâte est souple.
- Je n'aime pas ennuyer mes chats avec du bruit ultrasonique permanent toute la journée.

La **figure 3** montre ma configuration de test pour les modules de mesure de distance et de température par laser ; les connexions doivent être effectuées comme sur la **figure 4**. Les noms des ports sont indiqués sur le schéma

pour améliorer la visibilité du câblage. À noter que le schéma ne montre pas la connexion USB entre l'Arduino et le RPi, alors qu'il s'agit d'un composant essentiel pour la communication.

Maintenant, place au code. J'ai créé un nouveau fichier Python sur le RPi et commencé l'écriture. J'ai utilisé l'EDI Python, Thonny [3], car je le trouve très facile à utiliser. Commençons par les importations :

- **Adafruit DHT** [5] pour l'utilisation du capteur DHT
- **PiicoDev-VL53L1X** de Core Electronics [6] pour le laser
- **Time/Sleep**
- **Requests** pour les webhooks et la communication sans fil
- **Serial** pour la communication via USB avec l'Arduino

## Quelques éléments de configuration

On utilise des drapeaux pour signaler à la Particle que le ventilateur ou le chauffage sont

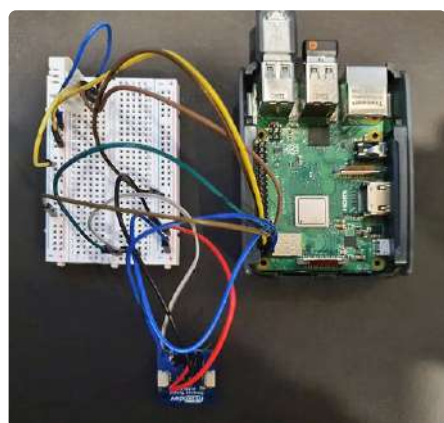


Figure 3. Montage de test pour les modules laser et température.

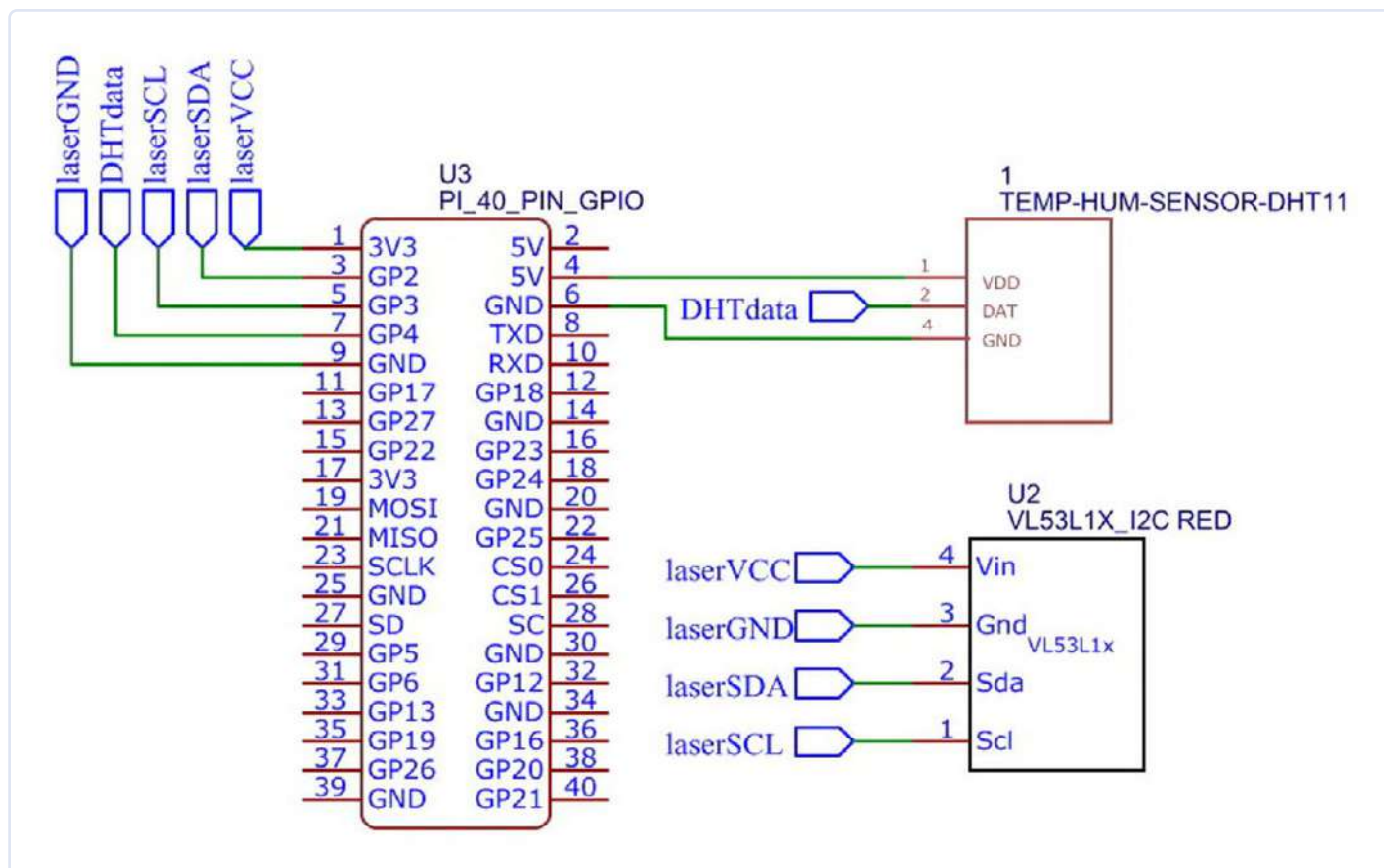
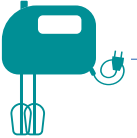


Figure 4. Les connexions réalisées à la figure 3.





en marche. L'« airmessagerie » est transmis en série comme un entier à l'Arduino pour « faire quelque chose ». Le port série a été configuré à l'adresse correcte en la vérifiant dans le terminal : `ls /dev/tty*`

J'ai créé une méthode de « lectures moyennées » pour la robustesse – elle prend cinq lectures consécutives et en fait la moyenne avant de les envoyer aux webhooks/série, etc. Cela permet d'éviter que d'uniques lectures erronées ne déclenchent des événements par erreur. Il y a également une vérification du code de gestion des erreurs qui envoie à l'utilisateur une notification si 100 lectures erronées sont observées.

Il y a de nombreux commentaires dans la boucle principale, principalement utilisés à des fins de débogage. Cette boucle recueille la moyenne et décide ensuite de ce qu'il faut faire :

- Si la température est inférieure à 24 °C, mettre le chauffage en marche.
- Laisser la température monter jusqu'à 27 °C, puis éteindre le chauffage.
- Si la température est > 30 °C, mettre le ventilateur en marche.
- Laissez la température descendre à 27, puis éteindre le ventilateur.
- Tant que la température est comprise entre 24 et 30 °C (la zone optimale pour le levain), aucun dispositif n'est actif.

Il en résulte le script Python *PiCodepy*, qui fait partie du logiciel et peut être téléchargé gratuitement sur le site Web de l'article [7].

### Arduino

La configuration de l'Arduino est plus difficile du point de vue de l'alimentation électrique, mais heureusement, mon père est un expert en électronique. Le ventilateur a besoin de 12 V, ce qui est bien plus que ce que peut fournir l'Arduino. De plus, les plaques chauffantes prennent 5 V mais ont une résistance de 6 Ω. Le courant nécessaire est donc proche de 1 A – bien plus que ce qu'une broche Arduino peut supporter. Par conséquent, c'est une source d'alimentation externe qui fournit la puissance nécessaire au ventilateur/chauffage lors du déclenchement par l'Arduino.

#### La configuration :

- **Chauffage** : Connectez la broche 12 de l'Arduino à un côté de la bobine du relais, et l'autre côté au GND de l'Arduino. Connectez le +5 V de l'alimentation au rail commun du relais. Connectez le pôle positif des plaques chauffantes du côté NO du relais.
- **Ventilateur** : Connectez la broche 10 de l'Arduino à un côté de la bobine du relais, et l'autre côté au GND de l'Arduino.

Connectez le +12 V de l'alimentation au rail commun du relais. Connectez le pôle positif du ventilateur du côté NO du relais.

- **GND** : Connectez le GND des plaques chauffantes et des ventilateurs au GND de l'alimentation.
- **Arduino** : Connectez une batterie de 9 V (ou une alimentation électrique) à l'Arduino. Seul l'Arduino est alimenté par la batterie, PAS le RPi.

La **figure 5** montre le montage expérimental et la **figure 6** le circuit du système autour du chauffage et du ventilateur. L'Arduino reçoit des données du RPi via USB (série). Les messages sont codés en UTF-8. Tout ce que nous devons faire est d'obtenir le code série et d'exécuter l'action appropriée en fonction

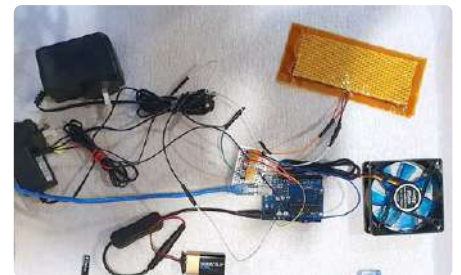


Figure 5. Montage vite fait du système.

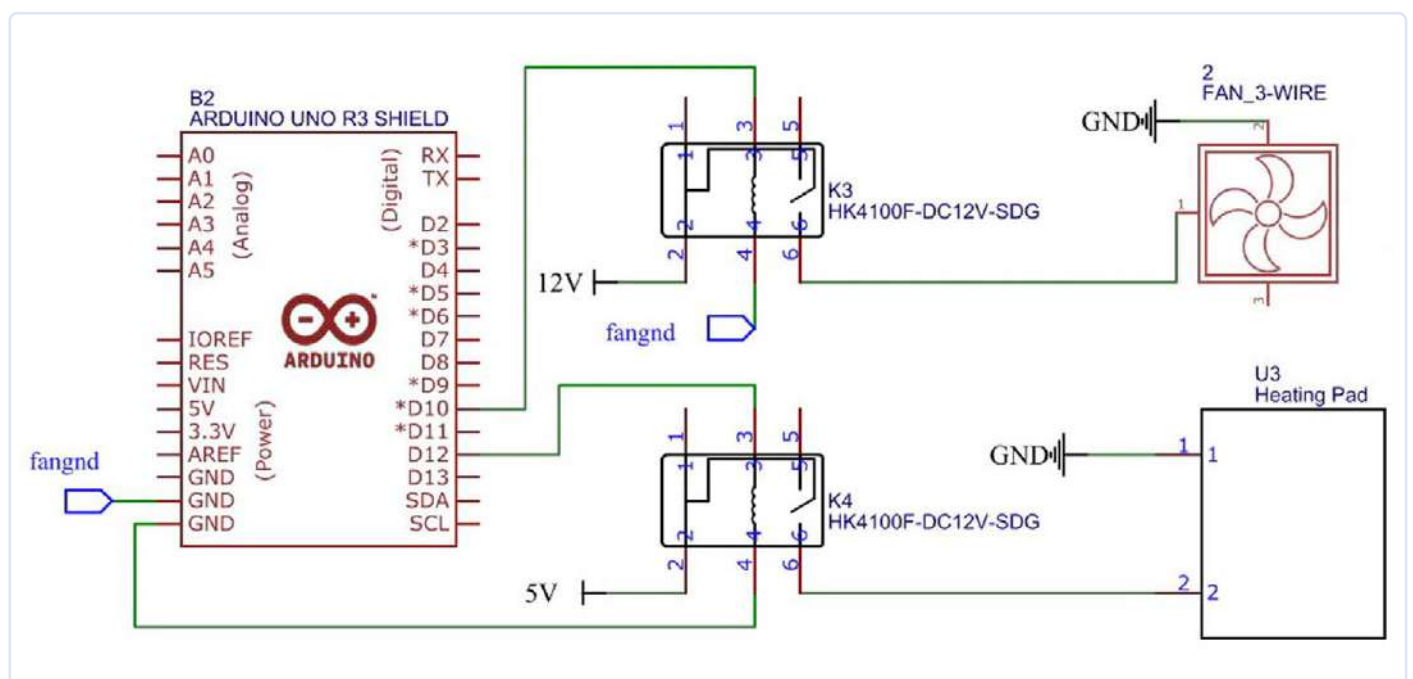


Figure 6. Connexions autour de la carte Arduino.

de ce code. Ceci est géré par une instruction if dans la boucle principale du code ci-dessous. Le site Web d'Automatic Addison [8] a été très utile à cet égard. Le code Arduino se trouve dans un fichier à l'adresse [7].

## Particle Argon

La Particle Argon est au centre de la communication entre l'utilisateur, le code et les dispositifs. Le LCD, le potentiomètre et les LED doivent être connectés à la carte. Le LCD peut utiliser l'I  C, mais j'ai dû connecter quelques lignes en plus (**figure 7**). Le site Web Hackster [9] m'a aidé à bien le faire.

J'ai ensuite connecté deux LED : Une verte pour « le levain est bon ! » et une rouge pour « le levain n'est pas bon ». Elles ont été connectées aux broches D6 et D7 de l'Argon, puis mises à la masse via une résistance de 220 à. Après avoir ajouté le potentiomètre, le sous-système Particle était prêt (**figure 8**). Le schéma complet se trouve à la **figure 9**. Le code de la Particle [7], généré dans l'EDI Particle, est le plus long et le plus compliqué, car il relie tout. Parcourrons-le :

- Création de l'objet `Lcd`, effacement des chaînes, initialisations nécessaires.
- Codage en dur des constantes de la hauteur initiale du pot et de la hauteur de départ de la pâte, car il s'agit de valeurs connues et fixes.
- Création de la fonction `resetbutton()`. Celle-ci est activée à distance via HTML pour réinitialiser le minuteur une fois que les quatre heures sont écoulées (et que les résultats sont clairs).

### L'initialisation

- Effacer le LCD et afficher un message d'introduction.
- Initialisation des deux fonctions qui interagissent avec IFTTT. `displayTemp`

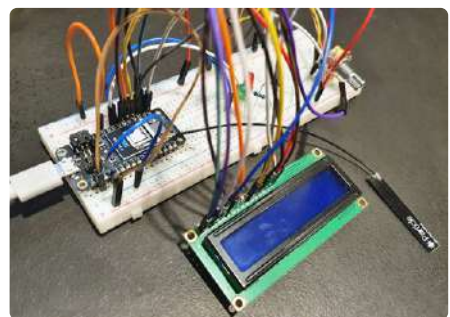


Figure 8. Configuration de la carte Particle.

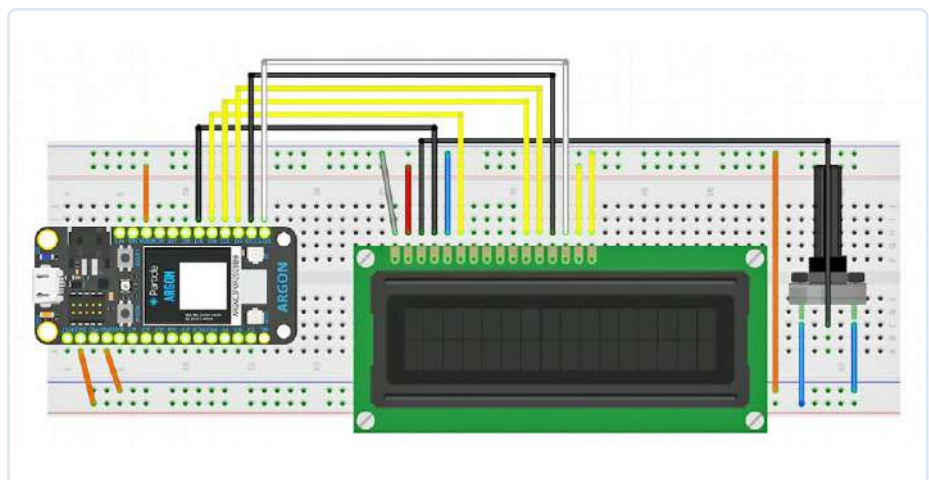


Figure 7. L'écran et la carte Particle.

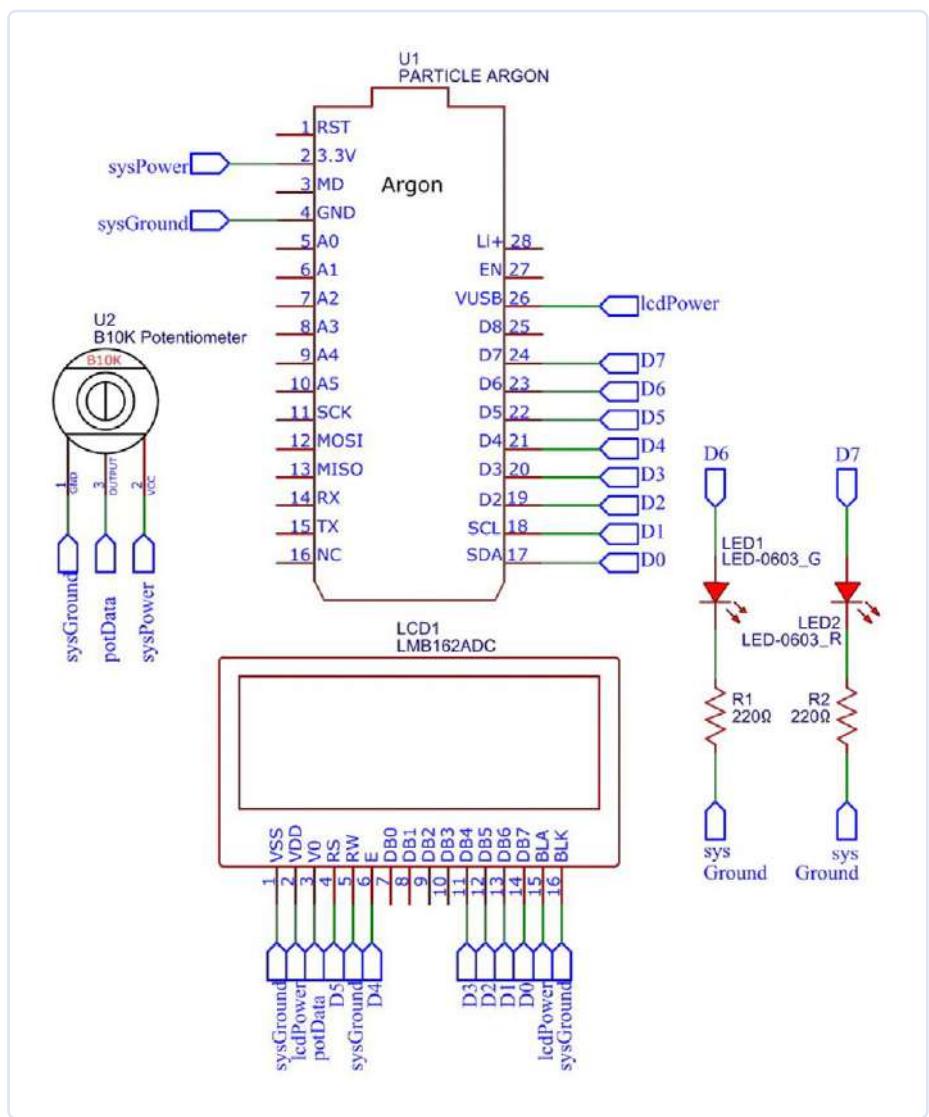


Figure 9. Schéma de la carte Particle et de ses composants.

exécute la fonction `tempDisplay()` et reset exécute la fonction qui réinitialise le bouton.

- Enregistrement de l'heure de départ.
- Extinction des LED.

### La boucle

- Il y a un délai de dix secondes pour que le LCD ne soit pas surchargé par de continus rafraichissements.
- Impression des commandes courantes (cmd1 et cmd2). Celles-ci sont définies dans la fonction `tempDisplay()`.
- Calcul de la croissance du levain.
- Si la minuterie dépasse quatre heures, un nouveau message indiquant le résultat final apparaît à l'écran.

### La fonction tempDisplay()

C'est là que sont reçues les données JSON provenant du *webhook* mentionné précédemment. Ce sont toutes les données critiques de distance du RPi, transmises sans fil à la Particle. Malheureusement, je n'ai pas réussi à composer le JSON pour qu'il soit facilement accessible. Au lieu de cela, je l'ai simplement pris comme une chaîne de caractères que j'ai décomposée en sous-chaînes, ce qui était très simple. Je me suis assuré que les règles de formatage de RPi étaient strictes afin que cela fonctionne toujours correctement. Le JSON contenait les données suivantes : Distance, Température, et si le ventilateur ou le chauffage était allumé. Ces données ont été utilisées pour gérer à la fois le HTML et le LCD. Ce code peut également être trouvé sur [7].

### HTML

On a utilisé l'HTML pour permettre l'accès à distance au système. Cela me permet de réinitialiser la minuterie lorsque les quatre heures sont écoulées, ainsi que de surveiller la température et la croissance depuis n'importe où avec un accès à l'Internet.

Le code est trop long pour être imprimé ici, mais nous pouvons montrer quelques fonctions. L'essentiel du code est tiré du tutoriel Particle [10]. Les fonctions clés du HTML étaient :

- Afficher les données de température en direct (en s'abonnant à un flux d'événements).
- Afficher les données de croissance en direct (en s'abonnant à un flux d'événements).



## Listage 1. Les appels à `particle.getEventStream()`

```
particle.getEventStream({ name: 'tempEvent', auth: sessionStorage.
  particleToken }).then(
  {
    function (stream) {
      console.log('starting event stream');
      stream.on('event', function (eventData)
        showTemp(eventData)
      });
    });

particle.getEventStream({ name: 'growEvent',auth: sessionStorage.
  particleToken }).then( function (stream)
  {
    {
      console.log('starting event stream');
      stream.on('event', function (eventData)
        showGrow(eventData)
      });
    });

particle.getEventStream({ name: 'timeEvent', auth:sessionStorage.
  particleToken }).then(
  function (stream) {
    {
      console.log('starting event stream');
      stream.on('event', function (eventData)
        showTime(eventData)
      });
    });
  });
```

### Listing resetControl

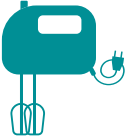
```
function resetControl(cmd) {
  //const deviceId = $('#deviceSelect').val();
  $('#statusSpan').text('');
  particle.callFunction({ deviceId: 'X', name: 'reset', argument:
    cmd,auth:sessionStorage.particleToken}).then(err);
  function (data) {
    $('#statusSpan').text('Reset completed'); },
  function (err) {
    $('#statusSpan').text('Error calling device: ' +
      ) );
  }
}
```



## Listage 2. Fonction `resetControl()`

```
function resetControl(cmd) {
  //const deviceId = $('#deviceSelect').val();
  $('#statusSpan').text('');
  particle.callFunction({ deviceId: 'X', name: 'reset', argument:
    cmd, auth:sessionStorage.particleToken}).then(err);
  function (data) {
    $('#statusSpan').text('Reset completed'); },
  function (err) {
    $('#statusSpan').text('Error calling device: ' +
      ) );
  }
}
```





- Remise à zéro de la minuterie (en appelant une fonction lorsqu'on appuie dessus).

Les appels `particle.getEventStream()` (listage 1) montrent comment les données sont extraites du flux d'événements. La fonction `resetControl()` (listage 2) est déclenchée par l'appui sur un bouton (l'ID de la Particle a été supprimé).

### Vues en action

La figure 10 montre quelques photos du LCD à différents moments. La dernière partie, d, montre la notification de c sur un smartphone. La figure 11 montre le système complet du robot (a), la boîte avec l'électronique à l'intérieur (b) et les cartes et fils sur le dessus de la grande boîte (c). Et, si vous vous demandez à quoi va ressembler ce levain, la figure 12 montre la croissance féroce du levain entre avant et après la session de quatre heures.

### Conclusion

C'est tout. Tout fonctionne, et tout est synchronisé. Maintenant, il est temps de produire automatiquement le premier ferment au levain avec ce robot à pâte. Et, bien sûr, quand le levain est assez fort, faites cuire et mangez !

220416-04 — VF : Denis Lafourcade

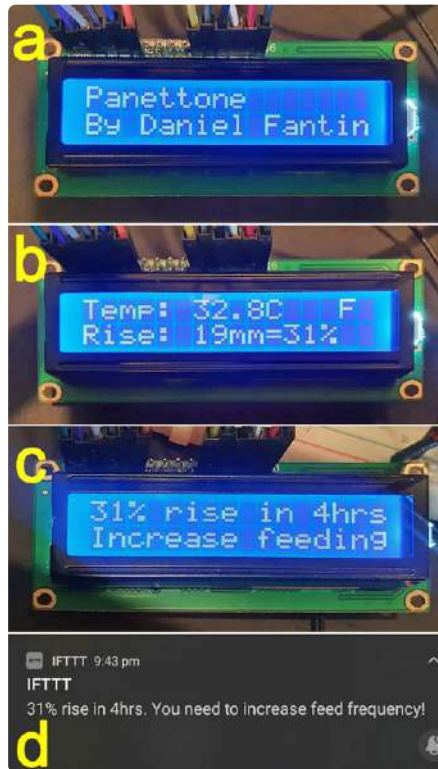


Figure 10. Différents contenus sur le LCD (a, b et c), plus le message du smartphone après quatre heures.

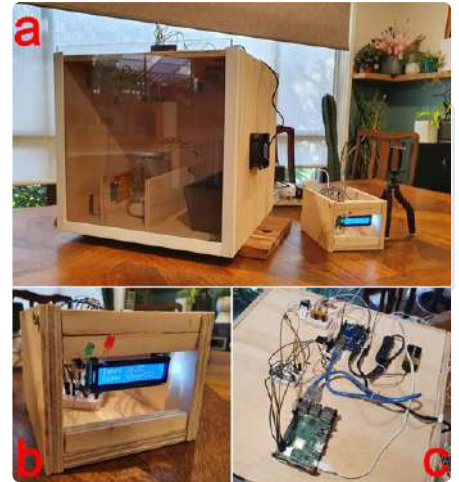


Figure 11. Le robot complet (a) avec le boîtier de commande (b) et quelques cartes et fils (c).



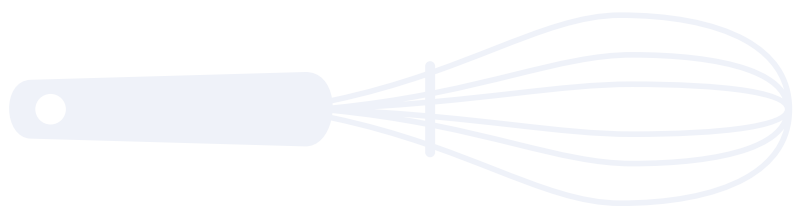
Figure 12. Le ferment au levain avant (a) et après avoir atteint la hauteur correcte quatre heures plus tard (b).

### À propos de l'auteur

Daniel Fantin est étudiant en deuxième année d'informatique à l'université de Deakin. Il est passionné par la nourriture et la technologie, alors combiner la cuisine italienne et la robotique est un prolongement logique.

### Des questions, des commentaires ?

Si vous avez des questions techniques, n'hésitez pas à contacter l'auteur par l'intermédiaire de Hackster [12] ou l'équipe de rédaction d'Elektor à l'adresse [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr).



### LIENS

- [1] Particle Argon : <https://docs.particle.io/argon/>
- [2] IFTTT : <https://ifttt.com>
- [3] PiMyLifeUp : <https://pimylifeup.com/using-ifttt-with-the-raspberry-pi/>
- [4] EDI Thonny : <https://thonny.org>
- [5] DHT Adafruit : [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_Python\\_DHT](https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT)
- [6] PiicoDev\_VL53L1X : <https://elektor.link/piicodevgithub>
- [7] Logiciel du projet : [www.elektormagazine.fr/220416-04](http://www.elektormagazine.fr/220416-04)
- [8] Automatic Addison : <https://elektor.link/rpiarduino2way>
- [9] Site web de Hackster : <https://elektor.link/particlehackster>
- [10] Tutoriel sur la Particle : <https://elektor.link/particleapitut>
- [11] Projet sur hackster.io : <https://elektor.link/hacksterpanettone>
- [12] Daniel Fantin à hackster.io : [www.hackster.io/danielfantin](http://www.hackster.io/danielfantin)

# Supporting **Arduino Resellers**

Cette édition spéciale Arduino du magazine Elektor a été rendue réalisable grâce au soutien de ces membres de la communauté des revendeurs Arduino.

N'hésitez pas à les consulter pour tous vos besoins liés à l'Arduino !

**GOTRON**  
AALST GENT HASSELT



[www.gotron.be](http://www.gotron.be)

HELLAS  
**digital**



[www.hellasdigital.gr](http://www.hellasdigital.gr)

**TINYTRONICS**



[www.tinytronics.nl](http://www.tinytronics.nl)

 **Paradisetronic.com**



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

 **Techni Science.**



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

 **reichelt**  
elektronik – The best part of your project



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

 **WHADDA**  
MADE BY VELLEMAN



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

 **KUBII**



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

**GO TRONIC**  
ROBOTIQUE ET COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES



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

# Space Invaders avec Arduino

Colin Dooley (Espagne)

**Vous souhaitez combiner votre amour du jeu avec votre passion pour Arduino ? Voici un exemple innovant d'utilisation d'Arduino pour programmer Space Invaders**

J'ai grandi en programmant des jeux vidéo dans les années 1980, alors quand j'ai reçu mon premier Arduino, j'ai naturellement voulu en programmer avec. Les Arduino ont les mêmes limitations de mémoire et de processeur que les premiers ordinateurs domestiques, donc je me suis immédiatement senti à l'aise. Les choses ont évolué depuis lors. J'ai maintenant un EDI et un langage de programmation de haut niveau, mais les étapes de base et les techniques d'optimisation pour programmer des jeux sur un Arduino sont les mêmes. Il y a des nombres hexadécimaux, beaucoup de bits à décaler, du temps passé à essayer de tout faire tenir dans une minuscule mémoire vive, etc. Mes anciennes compétences en langage d'assemblage étaient encore très utiles ; j'ai fini par faire beaucoup de désassemblage de code pour voir ce que le compilateur faisait mal (pas mal !) et par adapter mon code pour obtenir les meilleurs résultats.

Le jeu que j'ai choisi est *Space Invaders* (figure 1). C'est un jeu emblématique, et pas trop complexe à programmer. L'idée que j'avais en tête était d'utiliser un Arduino pour créer une minuscule machine Space Invaders qui soit aussi proche que possible de l'original (*pixel perfect*).

J'ai trouvé un site Web qui présentait un désassemblage complet de la ROM de Space Invaders et je m'en suis servi comme référence pour la logique du jeu. C'était beaucoup de travail pour obtenir tous les détails corrects, et j'ai beaucoup appris sur le jeu dans le

processus. (Il s'avère qu'il y a des bouts de code vieux/mort dans les ROM qui donnent des indices sur le développement). Le site en question est [www.computerarcheology.com/Arcade/SpaceInvaders/](http://www.computerarcheology.com/Arcade/SpaceInvaders/).

Je peux affirmer que le résultat est aussi proche du jeu original qu'il est possible de l'obtenir sans exécuter les ROM originales sur un émulateur, ce qui ne peut pas être fait sur un Arduino 8 bits ! Toute la logique est là. Si vous êtes un joueur expert, vous pouvez compter vos tirs pour obtenir le maximum de points des soucoupes volantes, etc. Le seul véritable changement par rapport à l'original est que j'ai fait en sorte que les bombes de l'envahisseur tombent un peu plus lentement, car il était difficile de jouer au jeu sur un si petit écran.

## Graphisme

Le jeu original Space Invaders dispose d'un écran de 224 x 256 pixels. Mon premier travail a été de trouver le plus petit écran possible avec cette qualité (il doit être *pixel perfect*, rappelez-vous !). Après quelques recherches sur AliExpress, j'en ai trouvé un approprié et je me suis mis au travail.

Tous les graphiques du jeu ont été faits à l'ancienne, avec un crayon et du papier millimétré (figure 2). Ils sont dessinés sous forme de pixels, convertis en nombres hexadécimaux (je peux encore le faire dans ma tête), puis saisis dans le programme. Vous pouvez les trouver dans le fichier `graphics.h` dans le code source ([www.thehighprotondiet.com](http://www.thehighprotondiet.com)).



Figure 1. Le projet Space Invaders.

L'écran communique par SPI, et j'avais peur que cela soit un goulot d'étranglement pour un jeu vidéo qui tourne à 60 fps (figure 3). Heureusement, Space Invaders ne change pas beaucoup de pixels entre deux images et la « lenteur » du bus SPI n'était pas un problème. Après quelques week-ends, j'ai réussi à faire fonctionner les graphiques du jeu en n'utilisant qu'environ 10 % du CPU de l'Arduino. Le processeur de l'Arduino est beaucoup plus puissant que ceux des ordinateurs domestiques des années 1980. Il s'est avéré que le son nécessitait beaucoup plus de puissance CPU que les graphiques.

## Son

J'ai trouvé les échantillons sonores de Space Invaders dans le cadre de l'émulateur MAME.

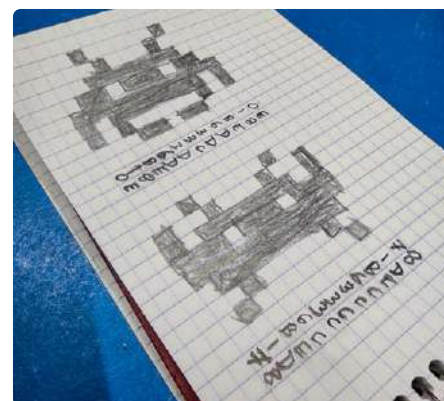


Figure 2. J'ai créé les graphiques avec un crayon et du papier millimétré.



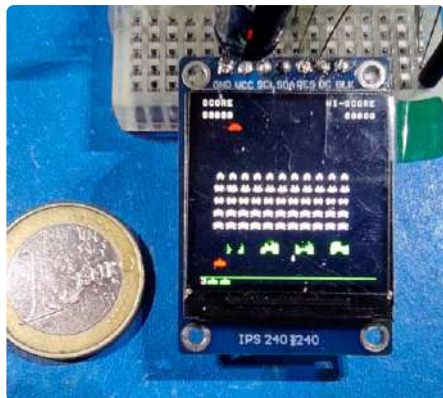


Figure 3. L'écran est compact.

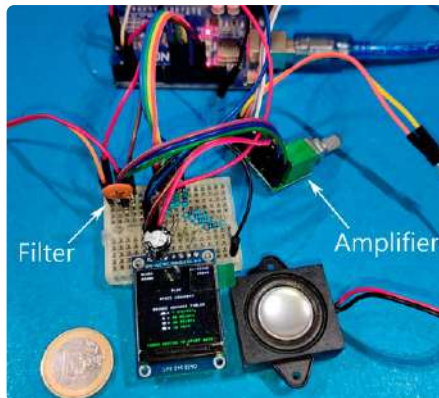
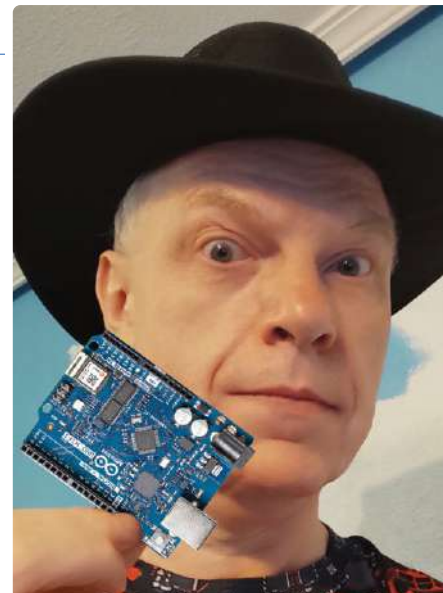


Figure 4. La partie électronique comprend un simple filtre passe-bas, un petit amplificateur audio et un haut-parleur.



Le seul problème était qu'ils faisaient 49 Ko et que l'Arduino n'avait plus qu'environ 20 Ko de mémoire de libre après avoir chargé mon programme. J'ai fini par convertir les sons en échantillons de 6 bits au lieu de 8 bits et par les tasser dans la mémoire. Il y avait un son qui ne tenait tout simplement pas en mémoire (celui de la mort de la soucoupe volante), j'ai donc substitué avec la mort du joueur. J'espère que personne ne le remarquera. Je ne l'avais pas prévu ainsi, mais l'utilisation de sons 6 bits présente un autre avantage considérable : Space Invaders possède quatre canaux sonores, et vous pouvez additionner quatre nombres 6 bits pour obtenir un son 8 bits. Cela signifie que le mixage du son peut être effectué de manière optimale sur un processeur 8 bits comme l'ATmega328 de l'Arduino. Le son 8 bits final sort via un signal MLI généré par le minuteur matériel no. 2 de l'ATmega328. Le signal passe par un simple filtre passe-bas réalisé avec une résistance et un condensateur, puis dans un petit amplificateur audio et un haut-parleur que j'ai trouvé sur AliExpress (figure 4). Le résultat est génial ! Le son rappellera certainement beaucoup de souvenirs à tous ceux qui ont connu cette époque.

### Commandes du jeu

Pour les commandes, j'ai trouvé un joystick vraiment minuscule sur AliExpress (figure 5). Il était trop petit et le mouvement était très rigide. J'ai donc imprimé en 3D une petite extension. Le résultat final a l'air vraiment bien et est beaucoup plus facile d'usage.

### Le boîtier

J'ai récemment acheté une découpeuse laser pour mon atelier à la maison, donc le boîtier est en MDF découpé au laser à l'aide d'un plan que j'ai trouvé sur Internet (figure 1). Je l'ai légèrement modifié pour ajouter des dessins et des découpes pour l'écran et le joystick. Il

constitue une bonne base pour me permettre de trouver comment réaliser les joysticks et leur électronique interne.

### Le futur

Je n'en ai pas encore fini avec ce projet. Le boîtier présenté ici est très générique, ce n'est pas une vraie machine Space Invaders. L'originale utilisait un système à miroirs pour superposer les graphiques des envahisseurs sur un fond coloré. Combiné à d'autres pièces astucieuses, cela donne un effet 3D à plusieurs couches. Je prévois de reproduire ce système prochainement ! Vous pouvez trouver plus d'informations et le code source de ce projet sur mon site web : [www.thehighprotondiet.com](http://www.thehighprotondiet.com). ◀

220557-04 — VF : Maxime Valens

### Des questions, des commentaires ?

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

### À propos de l'auteur

Colin Dooley a grandi en programmant des ordinateurs de salon 8 bits dans les années 1980. Son premier véritable emploi a été dans une société de jeux vidéo à Sheffield, en Angleterre, au milieu des années 80, à l'époque des Sinclair Spectrums, Amstrads et Commodore 64 qui constituent aujourd'hui une grande partie de la scène rétro. Selon Colin, « c'est un honneur pour moi d'être présenté dans une édition spéciale du magazine Elektor. Les magazines comme Elektor étaient l'une des rares ressources dont nous disposions pour apprendre à connaître les ordinateurs et la programmation informatique à l'ère pré-Internet. »



Figure 5. Le minuscule joystick.

# l'art avec Arduino

## des idées inspirantes d'artistes et de designers

David Cuartielles (Arduino)

La magie semble au rendez-vous lorsque les artistes intègrent des cartes Arduino dans leur travail. David Cuartielles, cofondateur d'Arduino, a récemment interviewé trois artistes avant-gardistes sur leur passion pour l'art et l'utilisation de solutions Arduino dans plusieurs projets.

Nous avons d'abord créé les cartes et systèmes Arduino pour aider nos étudiants en art et en design à créer des dispositifs numériques et des installations interactives. Nous étions convaincus (et le sommes toujours) que les utilisateurs devraient être capables de programmer et de construire leurs propres objets intelligents en ajoutant simplement quelques composants et en écrivant des programmes simples.

La communauté de l'art et du design avait besoin de nouveaux outils simples pour aborder la création électronique, et Arduino est devenu un outil formidable pour accompagner la création de milliers de nouveaux éléments et expériences artistiques. Nous avons organisé de nombreux ateliers pour les artistes dans les musées, les centres culturels, les galeries et les facultés des arts de différentes universités. Après la création de la première carte Arduino de série en mars 2005, nous avons organisé un atelier au Centro Cultural Code Duque, au sein du Medialab de Madrid, en Espagne. Peu après, en 2006, à peine un an après la création d'Arduino, nous avons été invités à animer des ateliers lors d'Ars Electronica, le plus important festival d'arts électroniques au monde. L'utilisation d'Arduino dans les arts s'est rapidement développée. En conséquence, en 2014, l'Arduino Diecimila a été ajouté à la collection permanente du MoMA [1]. Il existe de nombreuses histoires d'artistes utilisant l'Arduino dans leur travail, ce qui a rendu vraiment difficile de décider qui pourrait représenter la scène



José Salatino.

électronique basée sur l'Arduino au sens large. J'ai récemment interviewé José Salatino, Kelly Heaton et Jacob Remin et j'ai rassemblé leurs récits dans cette section spéciale consacrée à l'art et à la technologie. Vous y découvrirez ce que les robots peintres, les synthés tactiles et les circuits de commande ornés d'une représentation de Bouddha ont en commun.

### Peindre avec Arduino : José Salatino

José Salatino est un *maker* et peintre vivant en Espagne qui a expérimenté différentes technologies et techniques. Nous l'avons rencontré pour parler de son robot de peinture, mais aussi pour en savoir plus sur les spécificités de cette technologie.

**David Cuartielles : Bonjour José. Pouvez-vous nous parler de vous ? Où vivez-vous et quels sont vos centres d'intérêt ?**

**José Salatino :** Bonjour David. Merci de me donner l'occasion de présenter mon projet et de témoigner de mes passions. Je vis à Barcelone depuis un an, tout près de la basilique de la Sagrada Familia, et je suis ravi d'y être. C'est une ville merveilleuse, où que l'on regarde. D'ailleurs, la première fois que j'ai montré mon projet, c'était à la Maker Faire de Barcelone en 2017. Une expérience inoubliable. L'un de mes centres d'intérêt, comme vous le mentionnez dans l'introduction, est la peinture (**figure 1**). J'en fais depuis longtemps



comme un hobby, et dernièrement, j'essaie de le faire de manière plus professionnelle. L'autre grand intérêt est celui des « inventions », que j'ai pu concrétiser grâce à l'apparition d'Arduino et du mouvement *maker*.

**Cuartielles : La combinaison peintre-maker est intéressante. Pouvez-vous nous en dire un peu plus sur la façon dont vous avez été initié à la peinture ?**

**Salatino :** Mes débuts dans la peinture ont été intuitifs. Je n'ai pas de formation académique dans ce domaine. J'ai commencé un jour à peindre le portrait d'un chanteur argentin que j'aime beaucoup, et le résultat m'a paru acceptable, au point que je l'ai encadré et que je le lui ai remis personnellement. J'ai beaucoup aimé cette expérience et je l'ai renouvelée avec plusieurs artistes, dont Joan Manuel Serrat et la célèbre pianiste argentine Martha Argerich. Et depuis lors, j'ai continué. Avec l'arrivée d'Arduino, qui m'a donné la possibilité de concevoir et de construire des machines très sophistiquées à un coût abordable, l'idée de fabriquer un robot peintre est inévitablement apparue.

**Cuartielles : Qu'est-ce qui vous a amené à l'Arduino ? Nous nous sommes rencontrés dans le passé, et nous avons vu votre robot en action. Pouvez-vous nous dire quel type d'opérations il effectue ?**

**Salatino :** Une autre de mes passions a toujours été l'électronique. Et dès mon plus jeune âge, j'ai essayé de fabriquer des circuits pour automatiser des choses. Mais à cette époque, la seule possibilité de le faire était les microprocesseurs, qui étaient très chers, compliqués à obtenir et très difficiles à programmer et à assembler. Il fallait avoir des connaissances approfondies et un laboratoire bien aménagé pour pouvoir arriver à un résultat correct. L'Arduino a résolu tous ces problèmes. Alors que j'avais renoncé pendant de nombreuses années à essayer d'automatiser quoi que ce soit, il m'a permis de le faire. Deux jours après avoir acheté mon premier Arduino UNO, j'avais déjà réussi à construire un robot différentiel qui réagissait à la lumière et à quelques autres paramètres. C'était magique ! Quant à mon robot peintre, son rôle est de peindre un portrait avec des pinceaux et de la peinture acrylique. À partir d'une image numérique, et après un processus réalisé par plusieurs algorithmes, j'obtiens les informations nécessaires pour que le robot réalise son travail. À savoir : définir la couleur à utiliser, faire le mélange correspondant, définir la position et la forme du coup de pinceau, et enfin l'appliquer. Il existe d'autres tâches complémentaires comme le changement, le nettoyage et le séchage des pinceaux.

**Cuartielles : Votre robot a un nom ? Vous l'avez utilisé pour peindre des portraits. Y a-t-il une raison pour laquelle vous avez opté pour ce type d'œuvres et non pour une autre ?**



**Salatino :** Lors de la Maker Faire à laquelle j'ai participé, le nom officiel était : *Portrait Painter Robot Project* (figure 2). En tant que peintre, j'ai toujours préféré le portrait à un autre thème, et je pense que c'est ce qui a défini ce que mon robot aime. Parallèlement, je dois aussi avouer qu'il y a une raison scientifique. Le cerveau humain a une capacité spécifique à reconnaître le visage humain. Ainsi, quand les portraits que mon robot peint présentent des lacunes, le cerveau de l'observateur fait les corrections nécessaires pour percevoir ce qu'il voit comme le visage d'une personne.

**Cuartielles : Il existe d'autres robots peintres. D'après ce que j'ai compris, ils diffèrent les uns des autres par les styles de peinture qu'ils peuvent réaliser, la façon dont ils mélangent les couleurs, etc. Pouvez-vous nous parler des principales caractéristiques de votre dispositif ?**

**Salatino :** C'est vrai, il existe de nombreux robots peintres. En fait, j'ai participé il y a quelques années à un concours de robots peintres (RobotArt 2018) en obtenant une honorable dixième place, en concurrence avec des groupes d'universités célèbres et des scientifiques ayant accès à de vastes ressources techniques et économiques. Sans aucun doute, ce qui rend mon robot différent des autres est sa capacité de mélanger automatiquement les couleurs. En fait, c'est seulement après avoir résolu ce problème que j'ai été encouragé à fabriquer mon premier robot peintre.



Figure 1. Œuvre d'art créée avec le robot peintre de Salatino. (Source : José Salatino)

Figure 2. Projet de robot peintre portraitiste. (Source : José Salatino).



Figure 3. Salatino et Cuartielles discutent du robot et d'un tableau.  
(Source : José Salatino)



En utilisant les trois couleurs primaires, les trois couleurs secondaires, le noir, le blanc et quatre nuances de gris, il est capable de produire plus de 150 nuances différentes, avec lesquelles il est possible de reproduire n'importe quelle image en couleur, en s'approchant au plus près de l'image originale.

**Cuartielles : Vous vous êtes beaucoup engagé dans la communauté des makers et vous avez participé à différentes Maker Faire. En fait, nous nous sommes rencontrés à la Maker Faire de Rome (figure 3). Comment s'est passée cette expérience ? Comment les gens ont-ils accueilli votre robot ?**

**Salatino :** Oui, j'ai pu participer à plusieurs Maker Faire, et l'expérience a toujours été incroyable. Je possède plusieurs rubans bleus remis par les organisateurs en reconnaissance de mes projets, et ce sont mes trophées les plus précieux. J'ai également bénéficié de l'acceptation du public, qui m'a fait part de ses opinions avec différents points de vue.

Lors d'une Maker Faire, vous rencontrez des publics très variés. Il y a beaucoup de makers attirés par l'aspect purement technique ou qui veulent voir comment vous avez résolu un problème particulier. Il y a aussi une bonne partie du public qui n'est pas lié au mouvement des makers, qui veut voir de quoi il s'agit, qui vous dit simplement s'il aime ou pas, ou s'il est surpris par quelque chose en particulier qui n'a généralement rien à voir avec la question technique. Mais il y a aussi certaines personnes qui veulent connaître les motivations des autres à faire quelque chose. C'est avec ces personnes que j'aime parler. Enfin, mon projet est totalement immergé dans un domaine très conflictuel qu'est la relation entre l'art et la technologie, et j'ai également eu des conversations très intéressantes à ce sujet.

**Cuartielles : Pour approfondir la technologie qui se cache derrière votre robot, comment est-il alimenté ? Quelle carte utilisez-vous ? Quels sont les autres éléments que vous avez utilisés ?**


**Salatino :** J'ai construit deux versions du robot peintre. La première, celle que vous avez vue à Rome,

était basée sur l'électronique d'une imprimante 3D (Arduino Mega 2560 R3 + Ramps 1.4 + 4 moteurs pas à pas NEMA 17 + micrologiciel Marlin). J'ai ensuite construit une deuxième version avec le même concept, mais j'ai obtenu des moteurs NEMA 23 avec des pilotes intégrés et j'ai dû faire quelques changements à l'électronique en remplaçant les pilotes Pololu par un circuit imprimé qui m'a permis de connecter la Ramps 1.4 aux nouveaux pilotes.

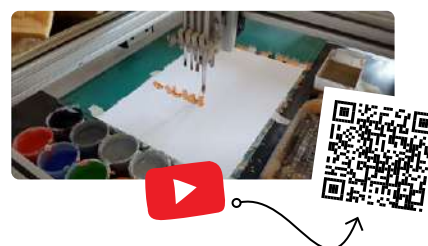
En ce qui concerne la mécanique, la première version a été construite avec des profilés en aluminium, mécanisés avec beaucoup d'efforts avec les quelques outils dont je dispose. La deuxième version est basée sur des mouvements linéaires industriels montés sur un cadre en bois que j'ai conçu de manière à pouvoir le démonter pour le transport.

**Cuartielles : Enfin, pouvez-vous nous dire où les gens peuvent vous joindre ? Avez-vous un site web ou des comptes de réseaux sociaux où l'on peut en savoir plus sur vos projets ?**

**Salatino :** Oui, si vous cherchez « Jose Salatino » sur Google, vous accéderez à plusieurs entrées sur mon activité de peintre et de maker. J'ai récemment créé un site web pour exposer mes peintures de manière plus professionnelle. L'adresse est : [www.josesalatino.com](http://www.josesalatino.com). Vous pouvez voir mes projets de maker les plus importants à cette adresse : [www.hackaday.io/josesalatino](http://www.hackaday.io/josesalatino). Je vis actuellement dans un appartement où je ne peux pas aménager un atelier pour travailler. Je ne fais donc pas beaucoup de choses et je me contente de jouer avec mes machines. (Enfin, je travaille aussi huit heures par jour dans une usine pour payer mes factures).

Je profite de l'occasion pour dire que j'aimerais beaucoup participer à de nouveaux projets (les plus fous sont les plus passionnants), dans lesquels l'art et la technologie interagissent. Il y a encore beaucoup à faire, et j'aimerais continuer. Vous pouvez me contacter par courrier électronique ([jvsalatino@gmail.com](mailto:jvsalatino@gmail.com)), sur Instagram (@josevicentesalatino), sur Twitter (@jvsalatino) et sur YouTube (jvsalatino). 

Découvrez le robot peintre portraitiste en action !



## L'Arduino et l'installation The Tree of Life : Kelly Heaton

Kelly Heaton est une artiste bien connue des lecteurs d'Elektor. Elle a fait la couverture de l'édition Circuits de vacances 2022 d'Elektor, et nous avons eu la chance de connaître en détail son initiation à l'électronique et sa pratique artistique actuelle. L'une de ses œuvres contient une carte Arduino. À première vue, *The Tree of Life* est un contrôleur central servant à une installation plus large qui comprend plusieurs des célèbres oiseaux de Kelly. Nous avons pris contact avec elle pour en savoir plus sur cette œuvre et son fonctionnement.

**David Cuartielles :** Bonjour Kelly. Merci de vous être rendue disponible pour cette interview. Pouvez-vous nous parler brièvement de vous pour les lecteurs qui n'ont pas encore lu notre précédent entretien ? [2]

**Kelly Heaton :** Merci de m'avoir invitée ! Je construis des circuits artistiques et philosophiques pour visualiser le flux d'énergie dans notre univers conscient. L'ingénierie électrique analogique est essentielle à ma pratique, car c'est ce qui se rapproche le plus de la compréhension et de la sculpture de l'électricité en tant que moyen de création brut. La plupart des gens pensent que l'ingénierie électrique est logique et pragmatique, mais pour moi, c'est un moyen de réfléchir à la nature énergétique de l'existence.



Kelly Heaton

**Cuartielles :** Votre travail comprend tout un écosystème de cartes différentes, de modèles de composants, de vêtements... J'aimerais toutefois me concentrer sur *The Tree of Life*, un circuit imprimé palpitant sur lequel figure une image de Bouddha, une série de relais, un Arduino UNO R3 et des connecteurs pour capteurs (figure 4). Pouvez-vous nous parler du concept qui s'y rapporte ? Comment s'articule-t-il avec le reste de votre travail ?

**Heaton :** *The Tree of Life* (l'arbre de vie) est un archétype ancien d'interconnexion. C'est l'un de mes symboles préférés et un thème récurrent dans mon travail. Dans la mythologie occidentale, l'arbre sacré du monde relie toute la création en un puissant symbole de bien-être écologique. Dans le bouddhisme tibétain, Gautama Bouddha a atteint l'illumination sous l'arbre de la Bodhi, et l'arbre du Refuge est un diagramme de la lignée des maîtres divins et des aspirants spirituels. J'ai associé ces thèmes dans un circuit esthétique avec des énergies

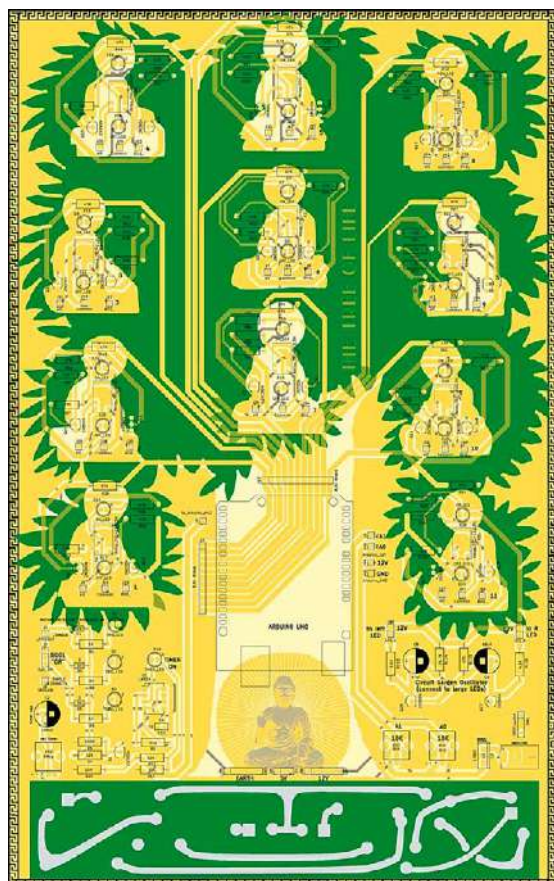


Figure 4 . À gauche, le fichier de conception du dispositif *The Tree of Life* dans le Circuit Garden, 2022. À droite, le circuit imprimé avec un Arduino UNO intégré. (Source : Kelly Heaton)



Figure 5. Le circuit imprimé de l'installation *The Tree of Life* exposé dans le *Circuit Garden*. (Source : Kelly Heaton)



électroniques, naturelles et spirituelles. Dans le cadre de mon *Circuit Garden* (2022), *The Tree of Life* est présenté à l'intérieur d'un circuit intégré sculptural, comme l'âme du microprocesseur « boîte noire » omniprésent. Dans mon dispositif, j'ai utilisé un Arduino UNO pour orchestrer par programmation un paysage sonore de mes générateurs de chants d'oiseaux et de grillons. Je ne suis pas un codeur Arduino expérimenté. J'ai donc posté une demande d'aide sur votre forum [Arduino] et le membre John Wasser m'a généreusement fourni une routine de séquençage pseudo-aléatoire. La communauté Arduino est incroyable ! Je suis tellement reconnaissante lorsque les gens partagent leurs connaissances. La complexité technique peut être un obstacle frustrant à l'expression artistique, car il est difficile de cultiver simultanément l'intelligence du cerveau droit et du cerveau gauche. La recherche de la consilience (unité de la connaissance) est la raison pour laquelle le symbole de l'Arbre de vie a une si forte résonance avec mon art.

**Cuartielles :** Il y a une question évidente que je dois poser. Dans votre travail, vous vous concentrez sur les technologies analogiques, mais l'Arduino est essentiellement un microcontrôleur numérique utilisé pour programmer et exécuter des tâches séquentiellement. Qu'est-ce qui vous a amené à l'Arduino et pourquoi avez-vous décidé d'utiliser un Arduino UNO au cœur de *The Tree of Life* ?

**Heaton :** Je me concentre sur l'électronique analogique pour trois raisons : (1) le numérique simule la vie, alors que l'analogique est proche de la vie ; (2) je veux comprendre la nature fondamentale de l'électricité en tant que moyen de création ; et (3) l'ingénierie électrique analogique offre un potentiel énorme pour faire progresser les connaissances humaines. Cela dit, de nombreuses tâches pratiques sont plus faciles à réaliser avec un outil numérique standard tel que l'Arduino. J'avais déjà construit un séquenceur analogique pseudo-aléatoire en 2018 dans le cadre de mon projet *Hacking Nature's Musicians*, et je connaissais donc les complications. J'avais une date limite pour mon installation *Circuit Garden* et j'avais besoin d'un séquenceur qui puisse fonctionner dans un espace public pendant trois mois. De plus, la création d'oiseaux chanteurs, de grillons, de papillons et de sculptures de circuits en peluche m'occu-

pait beaucoup. L'électronique analogique expérimentale est un art formidable, mais elle n'est pas toujours pratique, robuste, reproductible ou rapide à développer. J'ai décidé d'utiliser un Arduino pour le séquenceur parce que parfois, résoudre un problème est suffisant. J'ai choisi ma carte Arduino particulière parce que les spécifications étaient bonnes et que j'aime beaucoup le nom « UNO ». Nous sommes tous connectés dans un (uno) circuit cosmique.

**Cuartielles :** En parcourant la documentation en ligne de cet élément, je constate qu'il y a quatre parties différentes pour le circuit imprimé. La première est celle qui est dédiée au contrôle. C'est là que l'Arduino est placé. Ensuite, il y a un plus petit circuit intégré, que je suppose être un 555. Il y a deux potentiomètres utilisés comme entrées analogiques pour l'Arduino. Et enfin, il y a la partie inférieure du circuit imprimé que nous pourrions appeler les racines de l'arbre. Est-ce une bonne représentation de la carte ? Comment les différentes parties interagissent-elles les unes avec les autres ?

**Heaton :** Il est plus facile de comprendre la fonction si vous voyez mon *Circuit Garden* de près de 7 m de long (figure 5), car c'est ce qu'il contrôle. En gros, l'Arbre de vie orchestre le moment où mes oiseaux et mes grillons en circuit imprimé sont audibles, comme un marionnettiste de Mère Nature pour un chœur de jardin électronique. Deux détecteurs de mouvement positionnés à distance sont utilisés pour déclencher un monostable 555, c'est-à-dire une minuterie à un coup, avec un délai réglé par un potentiomètre. Lorsqu'un mouvement est détecté, le 555 génère un signal actif pendant cinq à trente secondes. Ce signal déclenche l'Arduino pour exécuter une routine de séquençage pseudo-aléatoire tant que le monostable reste activé. L'Arduino UNO allume et éteint ses broches de sortie pendant des périodes de temps variables qui peuvent être ajustées à l'aide d'un autre potentiomètre. Comme l'Arduino ne peut absorber qu'une petite quantité de courant, j'amplifie les signaux de sortie et les utilise pour déclencher des interrupteurs à relais que vous voyez dans les onze bodhisattvas de la canopée de l'arbre. Les interrupteurs relais contrôlent l'intelligibilité de mes circuits d'animaux à distance par rapport aux longs fils qui passent sous l'installation. Lorsque



le mouvement n'est plus détecté, le monostable finit par s'éteindre, et l'Arduino devient muet. Au bas de la carte *Tree of Life*, ce que vous appelez les racines, il y a un multivibrateur astable avec la même composition visuelle que ma grande installation *Circuit Garden*. Ces « racines » oscillantes sont un microcosme du jardin, un symbole des secrets de l'univers et un rappel que tout est finalement réductible à une énergie vibratoire. Mon Arbre de vie incarne les principes hermétiques de « ce qui est en haut est comme ce qui est en bas » et de « ce qui est à l'intérieur est comme ce qui est à l'extérieur ».

**Cuartielles : La couche de cuivre supérieure est une œuvre d'art en soi. Il s'agit d'un arbre où l'on peut voir la silhouette de onze bodhisattvas sur les feuilles d'un arbre. L'Arduino est fixé sur la planche au-dessus d'un bouddha en méditation. Vous avez joué avec les couches de cuivre, de substrat et de masque de soudure pour obtenir trois couleurs. Avez-vous tout dessiné sur un logiciel de conception de circuits imprimés ? Si oui, lequel avez-vous utilisé ?**

**Heaton :** Malheureusement, il n'existe pas de logiciel unique offrant les outils pluridisciplinaires nécessaires à la réalisation d'un tel art. C'est un véritable défi, assorti de son lot de casse-têtes et de contraintes, tant au niveau de la conception que de la fabrication (mais ces défis sont aussi ce qui rend l'art passionnant parce qu'il est novateur). En quelques mots, voici comment je procède : je dessine les tracés dans KiCad en utilisant mon schéma et un diagramme vectoriel de la composition que je dessine ailleurs et que j'importe comme couche de référence. Lorsque le circuit fonctionnel est terminé, j'exporte mes couches de production pour les éditer dans Adobe Illustrator et Photoshop. C'est là que les choses deviennent à la fois magnifiques et effrayantes. Il n'est pas facile de conserver le circuit fonctionnel intact à l'aide de programmes qui ne connaissent pas la connectivité électrique. Je pense toujours que ce sera plus facile que ça ne l'est, mais mon cerveau passe dans un mode différent lorsque je travaille avec des images, et j'ai tendance à couper des fils que je ne devrais pas. Quoi qu'il en soit, en croisant les doigts pour que mon circuit fonctionne toujours (si tant est qu'il ait jamais fonctionné, lol), j'exporte mes couches graphiques sous forme de fichiers bitmap et je les convertis au format Gerber pour la production. J'ai presque toujours besoin d'un deuxième ou d'un troisième passage pour que mes cartes soient correctes car les erreurs peuvent être électroniques ou visuelles ou (souvent) les deux. Par exemple, j'ai involontairement supprimé la majeure partie du plan de masse de ma première carte *Tree of Life* et j'ai dû le reconstruire minutieusement à la main. J'ai inversé ma couche de masque de soudure plus d'une fois, et les fabricants de cartes retirent généralement toute sérigraphie imprimée sur du métal nu, sauf si vous leur dites clairement de ne pas le faire. Il y a de nombreux pièges à éviter. J'aimerais qu'il

existe un excellent outil pour circuits imprimés et un pipeline de fabrication pour les artistes, ou au moins un moyen de vérifier mes réseaux électriques après les avoir modifiés dans un autre programme. J'aimerais également disposer de plug-ins pour la modification algorithmique de mes réseaux, comme les courbes de remplissage de l'espace et autres transformations topologiques telles que l'optimisation du cuivre. Enfin, j'aimerais rencontrer certains des techniciens d'usine qui fabriquent mes cartes car, surtout pour quelqu'un qui fait sa propre sérigraphie, je suis étonné par leur niveau de savoir-faire. La plupart des gens considèrent les circuits imprimés comme allant de soi, mais moi, j'y vois un art hautement qualifié avec un potentiel d'expression bien plus grand. L'impression sur circuit imprimé reste très expérimentale en tant que forme d'art, mais elle est destinée à devenir beaucoup plus connue. Pour l'instant, c'est vraiment super d'électrifier mon tableau artistique et de participer à l'invention de ce nouveau genre.

**Cuartielles : Une question clé que j'aime soulever lorsque je discute avec des artistes travaillant avec des technologies à code source ouvert concerne la possibilité de reproduire leur travail, étant donné que tous les éléments sont disponibles. Que pensez-vous de cette question ? Avez-vous réfléchi à la manière d'accorder une licence à vos œuvres ?**

**Heaton :** Je fais de l'art par curiosité, par passion et par désir de partager avec les autres. Je publie un grand nombre de mes schémas dans le domaine public car je suis redevable à tous ceux qui ont mis leurs connaissances à ma disposition gratuitement, et mes schémas révèlent la magie et le mystère dont je veux parler. Je suis honorée lorsque des personnes construisent mes circuits et se les approprient. Je ne veux pas que l'argent ou la propriété intellectuelle soit un obstacle à l'expression artistique de quiconque. Cela dit, nous devons tous gagner notre vie. Les œuvres d'art que je fabrique personnellement à la main et que je signe sont des objets uniques et rares et leur prix est fixé en conséquence. Je suis actuellement en train de concevoir des éditions de mes œuvres qui peuvent être fabriquées en plus grandes quantités (pas par moi) et vendues à un prix plus accessible. Je suis tout à fait ouverte aux partenariats et aux modèles de licence, à condition qu'ils soient en accord avec mon éthique et ma vision artistique.

**Cuartielles : Enfin, pouvez-vous nous dire où les gens peuvent vous joindre ? Avez-vous un site web ou des comptes de réseaux sociaux où l'on peut en savoir plus sur vos projets ?**

**Heaton :** Vous pouvez me suivre sur Instagram ou Twitter @kelly\_heaton. Vous pouvez aussi m'envoyer un courrier électronique via mon site web [www.kellyheatonstudio.com/contact](http://www.kellyheatonstudio.com/contact). ◀

Jacob Remin.  
(Photo : Lotte Løvholm)



### L'artiste-ingénieur : Jacob Remin

La technologie ne se résume pas à des bits et à des atomes. Les emplois technologiques actuels exigent d'avoir le sens du collectif, d'être prêt à collaborer avec de nombreuses personnes différentes et d'avoir l'esprit ouvert aux nouvelles idées les plus originales. Aucune carrière ne se ressemble, mais il ne fait aucun doute que certaines sont plus complexes que d'autres. Pour vous donner un exemple de carrière technologique cohérente mais passionnante, j'ai contacté Jacob Remin, un artiste et ingénieur danois.

J'ai rencontré Jacob pour la première fois à Istanbul en 2002, alors qu'un groupe d'artistes et de concepteurs scandinaves, dont je faisais partie, a atterri dans la ville pour une série d'échanges culturels avec des galeries d'art et des universités. À l'époque, Jacob était l'ami d'un ami qui, au fil des ans, allait devenir un étudiant, un galeriste, un organisateur, mais avant tout, un artiste et un expert de la technologie créatif et respecté. Dans cette interview, nous discuterons de projets, de créativité numérique et même de vidéos musicales... Tout cela étant adossé à des cartes Arduino.

**David Cuartielles : Lorsque vous êtes arrivé à l'école des arts et de la communication de l'université de Malmö (où j'enseigne) à la fin des années 2000, vous avez réalisé un projet très drôle qui tentait de nous faire réfléchir à notre relation avec la télévision. Pouvez-vous nous en dire plus à ce sujet ?**

**Jacob Remin :** Le projet s'appelait *Workout TV*, et je l'ai développé avec Martin Aggerbeck. Nous étions étudiants en ingénierie de conception à l'Université technique du Danemark, mais nous avons décidé de suivre ce cours à l'Université de Malmö parce que notre école n'avait pas de cursus sur Arduino. Le cours exigeait la création d'un concept de design critique, quelque chose qui vous fasse réfléchir sur votre propre existence. Nous avons décidé d'adopter un point de vue humoristique sur le concept des « téléphages » et de la culture télévisuelle. Pour cela, nous avons piraté la télécommande d'une télévision afin qu'elle change automatiquement de chaîne si elle détecte que vous n'avez pas fait d'exercice pendant un certain temps. La télécommande était équipée d'un Arduino et d'un capteur de mouvement, et si vous ne bougiez pas devant la télévision, elle changeait de chaîne de manière aléatoire. Pour expliquer ce qui se passait, nous avons fait une satire d'une publicité pour un magasin de télévision expliquant le concept. Le

projet a ensuite été exposé au festival Half Machine de Copenhague.

**Cuartielles : L'Université technique du Danemark, la DTU, n'était pas la dernière école de conception que vous avez fréquentée ?**

**Remin :** Tout d'abord, je dois préciser que je n'étais pas à la DTU parce que je voulais apprendre à devenir un ingénieur au sens traditionnel du terme. Je m'intéressais aux possibilités qu'offrait la technologie pour la production artistique. J'avais déjà travaillé en tant qu'artiste auparavant, en réalisant des installations vidéo, des films, de la musique, des performances en direct, etc. Les professeurs de la DTU ont eu la gentillesse de soutenir mes intérêts et m'ont permis de suivre des cours dans d'autres institutions pour renforcer notre éducation.

**Cuartielles : Vous avez ensuite rejoint l'Institut de design d'interaction de Copenhague, le CIID, pour suivre un cours de maîtrise d'un an sur les technologies appliquées au monde du design. Pouvez-vous nous dire comment cela s'est passé là-bas ?**

**Remin :** Le CIID est à l'opposé de l'ingénierie : tout va vite, vous devez laisser libre cours à vos idées et suivre un processus d'essais et d'erreurs. Vous allez casser des choses et les reconstruire à travers des cycles d'itération rapides. Je me sers beaucoup de ces enseignements dans ma propre pratique aujourd'hui. Là-bas, j'ai eu la chance de me plonger complètement dans l'électronique et j'ai commencé à fabriquer mes propres circuits. Vous m'avez présenté Eagle (le logiciel de CAO pour circuits imprimés), et j'ai fabriqué mes premiers circuits imprimés. J'ai été impressionné par la rapidité avec laquelle on pouvait s'approcher de « vrais produits » en associant des conceptions de circuits imprimés personnalisées à des boîtiers découpés au laser, et je me suis vraiment plongé dans l'exploration de ces supports.

**Cuartielles : Parlons un peu de cela. Au CIID, pour votre projet de fin d'études, vous avez conçu un petit synthé utilisant l'ATmega328. Qu'est-ce qui vous a amené à faire cela ?**

**Remin :** J'ai toujours fait de la musique. À l'époque, j'étais fortement influencé par la musique 8 bits et les plateformes musicales portables existantes. J'aimais l'esthétique sonore de la scène, la portabilité et les contraintes créatives de la technologie. Les microcontrôleurs se prêtaient parfaitement à la réalisation d'une plateforme sonore de type *chiptune*. Je voulais construire un instrument de musique qui puisse être utilisé en direct par des musiciens dans une situation de jam typique. Je l'ai appelé CFO (Cheap, Fat, and Open), et c'était une sorte de boîte à groove en 8 bits. J'étais (et je suis toujours !) inspiré par le travail de

Critter & Guitari, et ils ont été très gentils de m'envoyer le code source d'un de leurs instruments pour que je puisse étudier comment il était fabriqué et créer le mien.

**Cuartielles :** Ce projet de thèse a-t-il eu une suite ? Vous êtes-vous lancé dans la fabrication de petits synthétiseurs ? Il existe un marché pour ces petits instruments de musique de caractère, ultra-portables.

**Remin :** Lorsque j'ai terminé ma thèse, je ne souhaitais pas me lancer dans la fabrication et la vente d'instruments de musique. J'étais bien plus intéressé par la création artistique. Cependant, le CFO revenait sans cesse. D'une certaine manière, le projet refusait de s'éteindre. Lorsque j'ai été invité, au cours de ma carrière artistique, à exposer dans certains endroits, il est devenu courant que j'organise également des ateliers où les participants assemblent leur propre synthétiseur. À un moment donné, mon ami Jacob Bak a repris le projet et lui a donné une seconde vie en mettant à jour le moteur de synthétiseur pour le faire fonctionner sur Teensy. Plus tard, David Gauthier s'est joint au projet et nous avons tous uni nos forces sous le nom de Vsionhairies. Plus récemment, et grâce à la collaboration de Dennis P Paul, professeur à l'Académie des Arts de Brême, nous avons porté le synthétiseur pour le faire fonctionner sur notre propre architecture ARM. Nous organisons des cours sur la musique générative (ou algorithmique) à l'aide du code, ce qui suscite à nouveau l'intérêt pour la fabrication de nouveaux matériels.

**Cuartielles :** Si j'ai bien compris, vous avez rencontré les trois au CIID, non ?

**Remin :** C'est vrai pour Dennis et David, mais j'avais déjà rencontré Jacob pendant mon séjour à la DTU. Nous avons étudié au même endroit pendant des années, mais nous ne nous sommes jamais rencontrés sur le campus ; la première fois que nous nous sommes parlé, c'était dans un bus pour un festival techno en Suède. Jacob est ensuite devenu stagiaire dans mon entreprise pour en apprendre davantage sur la synthèse sonore et la conception de circuits imprimés en retravaillant le CFO depuis le début.

**Cuartielles :** Pouvez-vous nous en dire plus à ce propos ? Comment cela fonctionne-t-il pour un artiste dans votre discipline ? Comment gagnez-vous votre vie ?

**Remin :** Je dirige une entreprise unipersonnelle ; c'est très courant ici au Danemark. Je suis le PDG de ma propre entreprise depuis des années [rires]. Cela me permet de travailler en indépendant tout en gardant une structure légère. En tant qu'entreprise, je ne suis pas intéressé par la croissance. Dans le monde de

l'art, l'argent va et vient de manière irrégulière, et être responsable de la paie d'autres personnes de mois en mois serait très stressant pour moi.

**Cuartielles :** Cela signifie que vous devez avoir un flux constant de projets. Tout ce que vous faites est-il lié à l'électronique et à la musique ?

**Remin :** Oui et non. Je fais aussi un peu d'ingénierie sociale. Par exemple, j'ai eu la possibilité d'ouvrir un espace artistique sous mon appartement à Nørrebro, à Copenhague. Nous l'avons appelé Mikrogalleriet, parce qu'il était minuscule. Entre autres choses, nous l'avons utilisé pour construire une communauté de créateurs de musique 8 bits : 8bit klubben. Nous avons également organisé de grandes expositions d'art. Tristan Perich y a produit sa première édition de « Interval Studies ». J'ai participé à la formation d'autres groupes comme Science Friction, Click Festival, KKT et le Centre for Cyber Wellness. Beaucoup de bonnes choses sont arrivées en faisant partie de ces espaces, mais travailler en groupe signifie presque toujours réduire ma production personnelle. Dernièrement, j'ai réorienté mes efforts vers la production d'œuvres d'art.

**Cuartielles :** Avez-vous complètement abandonné l'organisation pour vous concentrer sur les activités pratiques ?

**Remin :** Presque. Mais plutôt que de séparer les deux, j'essaie de les intégrer dans ma pratique artistique. J'estime qu'il est utile d'aider les autres et de faire du travail communautaire, où je peux faire profiter les autres de certains privilèges. Faire entrer d'autres personnes sur la scène sera bénéfique pour le monde dans un sens plus large. Il y a suffisamment d'hommes blancs qui font des synthés et de l'art électronique ; j'essaie donc d'équilibrer cela par des collaborations. C'est très présent dans mon travail, et j'y réfléchis

Figure 6 . Circuits imprimés sans limites.  
(Source : J. Remin,  
Photo : Jonas Normann)







▲  
Figure 7. L'installation Skyen. (Source : Jonas Norman)

beaucoup. La question de savoir comment être un artiste porté par une carrière artistique tout en soutenant la communauté.

**Cuartielles :** Ensuite, je suppose qu'une partie de votre travail existe aussi grâce à ces expériences que vous mentionnez et qui vous permettent de collaborer et de co-crée des choses. Votre dernière installation de grande taille, appelée Skyen, me semble être le résultat d'un dialogue ouvert avec différentes personnes (figure 7). Elle se compose de plus de 300 cartes compatibles avec Arduino, suspendues au plafond devant un fab lab au Danemark. Comment en êtes-vous arrivé à produire cette installation ?

**Remin :** Tout à fait ! Skyen est une commande permanente pour le centre culturel Spinderihallerne à Vejle, au Danemark. Et en tant que telle, elle a traversé une longue période de développement et de financement avant sa réalisation en avril 2022. Ce processus n'a pas été facile, mais l'une des raisons de sa réussite est précisément que j'ai développé une très bonne relation

à la fois avec l'équipe centrale du fab lab et avec Eva Sommer Hansen du Spinderihallerne.

**Cuartielles :** Pouvez-vous m'en dire un peu plus à ce sujet ?

**Remin :** Ces dernières années, j'ai exploré les centres de données et les infrastructures informatiques mondiales, ce que nous appelons souvent « le nuage ». Ma suggestion pour le Spinderihallerne était de construire un centre de données abstrait, constitué de circuits imprimés modulaires reliés par des câbles réseau standard. J'imaginais un énorme ordinateur suspendu dans les airs et traitant des données. Chacun des modules est essentiellement une carte compatible Arduino avec 14 LED et des ports réseau permettant l'alimentation et la transmission en série via un câble Ethernet standard. Certains modules font fonctionner un ventilateur au moyen d'un MOSFET. En plus de cela, il y a un circuit d'alimentation pour injecter 12 V tous les 15 modules, afin qu'il n'y ait pas trop de chute de tension dans tout ce câble.

Les 300 modules exécutent tous exactement le même code, le cerveau de l'installation est un Arduino Mega, qui agit comme une sorte de conducteur servant à changer les programmes, les intensités et les rythmes généraux. L'Arduino Mega est connecté à un Raspberry Pi, qui agit comme un hotspot wifi donnant accès à une sélection de textes et de médias. Le hotspot permet également aux utilisateurs d'accéder à un terminal offrant un contrôle total sur l'installation, mais seulement si vous êtes prêt à vous engager avec une interface de ligne de commande. J'ai insisté sur l'interaction avec la ligne de commande, car il s'agit d'un point important concernant la question de savoir qui détient le pouvoir réel sur les centres de données et la différence entre les administrateurs et les utilisateurs quotidiens.

Le centre culturel Spinderihallerne est une grande maison avec un fab lab, un musée, des studios d'artistes, une zone de startups et d'autres services communautaires. L'association souhaitait une manifestation artistique qui mette en valeur ce qu'elle fait dans cette maison qui, en fin de compte, vise davantage à connecter la communauté et à activer les citoyens qu'à mettre en œuvre des technologies spécifiques. Dans un geste délibéré, les utilisateurs locaux de la maison de la culture ont été invités à participer à l'assemblage de l'œuvre. Et maintenant qu'elle est terminée, ce n'est pas une sculpture passive, c'est une pièce à explorer. Jusqu'à présent, nous avons organisé des conférences, des concerts, des hackathons et même des matinées de yoga sous Skyen.

**Cuartielles :** Skyen est un logiciel open source, non ?


**Remin :** Mon électronique et mon code le sont toujours. Je pense que c'est formidable que mon travail puisse continuer à vivre sous différentes formes. À un moment donné, j'ai rencontré des hackers en Chine qui avaient fabriqué une version de mon synthétiseur. J'étais tellement heureux de voir ça, c'était incroyable ! Pour l'installation, j'ai tout codé, conçu les cartes, construit l'installation et l'ai mise en libre accès. Je ne m'attends pas à ce que quelqu'un construise à nouveau cette installation, mais je pourrais imaginer que des gens construisent des choses par-dessus. Lorsque vous partagez votre travail, votre univers de conception transcende l'objet. Beaucoup d'artistes et d'artisans sont amenés à collaborer et à échanger des objets avec d'autres. Mon travail repose en grande partie sur celui des autres, les outils, les bibliothèques, les matériaux. Offrir mon code et mes circuits est le moins que je puisse faire.

**Cuartielles :** Mais qu'en est-il de l'identité ? Pensez-vous que le public serait capable de distinguer votre travail de celui des autres ? Si vous le partagez, certains finiront-ils par se faire passer pour vous ? (C'est une question délicate que j'aborde toujours lorsque je discute avec des personnes du monde de l'art)

**Remin :** Je ne m'inquiète pas tellement de voir les gens séparer mon travail de celui des autres. L'art est une question de contexte. L'art peut être constitué d'objets trouvés et de médias échantillonnés. L'art peut être très personnel. Je pense que l'image de l'artiste génial et solitaire est une idée d'hier, je préfère de loin être généreux et m'engager avec le monde.

**Cuartielles :** Et à quoi êtes-vous occupé en ce moment ? En quoi consiste votre dernier travail ?

**J'ai entendu dire que vous utilisiez également un Arduino, même si ce n'est qu'au niveau de la production.**

**Remin :** Je travaille sur une pièce vidéo pour une exposition intitulée *Caring Futures*, qui sera présentée à la Galleri Sølvsbjerget de Stavanger, en Norvège. Le thème principal est la façon dont les soins de santé sont liés à la technologie et à l'internet et comment l'agenda capitaliste de ces technologies met en péril l'avenir des soins de santé. Je souhaitais vraiment produire une œuvre porteuse d'une vision positive de l'avenir, mais j'ai trouvé cela très difficile compte tenu de l'évolution des choses au cours des 40 dernières années, ou presque. J'ai décidé que je devais revenir aux racines de la cybernétique, à cette positivité inhérente à la fin des années 60, et j'ai donc pris comme point de départ le poème de Richard Brautigan de 1967, *All Watched over by Machines of Loving Grace*, qui donne également son nom à la pièce. En juin, nous avons organisé un atelier avec 10 professionnels de la santé à Stavanger, au cours duquel nous avons produit les premières paroles d'une chanson dont j'ai ensuite écrit la musique. Je l'ai apportée à Simon Littauer, un producteur de musique ici au Danemark, et nous en avons fait une super chanson pop. J'ai décidé d'aller plus loin et de produire un clip vidéo avec un crapaud géant à base de silicone qui contient un Arduino pour contrôler sa lumière interne et d'autres effets. Le crapaud techno tient dans ma main tandis que je me promène dans une forêt en chantant cette chanson d'harmonie cybernétique. Ensemble, nous devenons en partie humains, en partie animaux, en partie réseaux. Arduino m'a permis de construire plusieurs accessoires technologiques pour la vidéo : le crapaud, mes lunettes à LED. Ces accessoires ne sont ni parfaits ni durables, mais ils définissent complètement le projet. En effet, je porte ces lunettes pendant toute la durée de la vidéo. Je n'aurais pas été capable de faire cela autrement. 

(220425-04) — VF : Pascal Godart

### Des questions, des commentaires ?

Avez-vous des questions ou des commentaires relatifs à cet article ? N'hésitez pas à contacter Elektor à l'adresse [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr).



### À propos de l'auteur

David Cuartielles est co-fondateur d'Arduino. Titulaire d'un doctorat en design d'interaction et d'un master en génie des télécommunications, il enseigne à l'université de Malmö.



### Produits

- > **Arduino Mega 2560 R3**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-2560](http://www.elektormagazine.fr/arduino-2560)
- > **Arduino UNO**  
[www.elektormagazine.fr/arduino-uno](http://www.elektormagazine.fr/arduino-uno)

### LIENS

- [1] P. Antonelli, « Welcoming New Humble Masterpieces into MoMA's Collection », *INSIDE/OUT*, MoMA, 5 novembre 2014 : <https://mo.ma/3SoiY2c>
- [2] C. Abate, « Making Art with Electricity: A Q&A With Kelly Heaton », *ElektorMagazine.com*, août 2022 : [www.elektormagazine.com/q&a-heaton](http://www.elektormagazine.com/q&a-heaton)

# Mettez la main sur le nouveau matériel Arduino



Il n'y a rien qui nous passionne plus que de mettre la main sur du nouveau matériel, et cette collaboration avec Arduino a été un vrai plaisir ! Voulez-vous faire l'expérience de la bonne affaire vous-même ? Elektor a approvisionné ses stocks pour héberger tous les produits présentés dans cette édition !



## Bras robotique Arduino Braccio ++ commandé par RP2040

La prochaine évolution du robot Tinkerkit Braccio est appelé Arduino Braccio ++ , un tout nouveau bras robotique conçu pour les utilisateurs avancés. Arduino Braccio ++ peut être assemblé de différentes manières pour des tâches multiples, telles que déplacer des objets, monter une caméra et suivre vos mouvements, ou fixer un panneau solaire et suivre le mouvement du soleil. Arduino Braccio ++ offre une multitude de possibilités évolutives dès le départ, notamment un nouveau support Braccio avec écran LCD, de nouveaux servomoteurs RS-485 et une expérience totalement améliorée.

[www.elektor.fr/20174](http://www.elektor.fr/20174)



## Arduino Pro Portenta H7



Portenta H7 vous permet de construire votre prochain projet intelligent. N'avez-vous jamais rêvé d'une maison automatisée ? Ou d'un jardin intelligent ? Eh bien maintenant, c'est facile avec les cartes compatibles avec la plateforme Arduino IoT Cloud. En clair, vous pouvez connecter des équipements, visualiser des données, contrôler et partager vos projets de n'importe où dans le monde.

[www.elektor.fr/19351](http://www.elektor.fr/19351)



Livre en anglais « PID-based  
Practical Digital Control with  
Raspberry Pi and Arduino Uno »

[www.elektor.fr/20274](http://www.elektor.fr/20274)

## Arduino Pro Nicla Vision

Nicla Vision combine un puissant micro-processeur STM32H747AI16 Dual ARM Cortex-M7/-M4 IC avec une caméra couleur de 2 MP qui prend en charge TinyML, ainsi qu'un capteur de mouvement intelligent à 6 axes, un microphone intégré et un capteur de distance.

[www.elektor.fr/20152](http://www.elektor.fr/20152)





## Arduino Pro Portenta X8



Portenta X8 est un puissant système embarqué (SoM) de niveau industriel avec système d'exploitation Linux préchargé, capable d'exécuter des logiciels indépendants du dispositif grâce à son architecture modulaire par conteneurs. Il s'agit essentiellement de deux produits industriels en un combinant la disponibilité des bibliothèques et des compétences d'Arduino avec une distribution Linux basée sur des conteneurs.

[www.elektor.fr/20270](http://www.elektor.fr/20270)



## Arduino Pro Nicla Sense ME

Une nouvelle norme pour les solutions de détection intelligentes.

[www.elektor.fr/20327](http://www.elektor.fr/20327)

## Portenta Vision Shield (Ethernet)

Portenta Vision Shield apporte des fonctionnalités de niveau industriel à votre Portenta. Vision par ordinateur professionnelle, détection audio directionnelle, Ethernet et JTAG pour Arduino Portenta.

[www.elektor.fr/19511](http://www.elektor.fr/19511)

## Portenta Vision Shield (LoRa®)

Cette extension matérielle de Portenta vous permettra d'exécuter des applications embarquées de visions par ordinateur et de vous connecter sans fil via LoRa® au cloud Arduino ou à votre propre infrastructure.

[www.elektor.fr/20332](http://www.elektor.fr/20332)

## Portenta Breakout

La carte Portenta Breakout est conçue pour aider les ingénieurs et les maker à créer des prototypes et à tester les connexions et les possibilités au sein des cartes de la famille Portenta.

[www.elektor.fr/20341](http://www.elektor.fr/20341)



## Arduino Pro Portenta Max Carrier

Prototypez facilement vos applications Portenta. Développez-les en un temps record. Max Carrier transforme les modules Portenta en ordinateurs monocartes ou en circuits de référence qui permettent l'IA de pointe pour des applications industrielles, d'automatisation des bâtiments et de robotique de hautes performances.

[www.elektor.fr/20271](http://www.elektor.fr/20271)

## Arduino Uno Rev3

Le microcontrôleur AVR classique, performant et à faible consommation. L'Uno est la meilleure carte pour s'initier à l'électronique et au codage. L'Uno est tout simplement la carte la plus robuste pour vous permettre de commencer à bricoler avec la plateforme Arduino.

[www.elektor.fr/15877](http://www.elektor.fr/15877)



## Kit Arduino Make-Your-Uno

Un nouveau kit incluant une carte UNO à composants traversants à souder soi-même, avec tous les composants pour construire votre UNO, et construire votre propre synthé commandé par la carte UNO !

[www.elektor.fr/20330](http://www.elektor.fr/20330)



## Arduino Ethernet Shield 2

[www.elektor.fr/19941](http://www.elektor.fr/19941)



## Arduino Sensor Kit Base

[www.elektor.fr/19944](http://www.elektor.fr/19944)

## Arduino Nano

Arduino Nano est une petite carte complète et facile à utiliser sur une platine d'essai, basée sur l'ATmega328 et encapsulé dans le plus petit format disponible de 18x45 mm !

[www.elektor.fr/17002](http://www.elektor.fr/17002)

## Arduino Nano RP2040 Connect

Arduino Nano RP2040 Connect est une carte Arduino basée sur RP2040 équipée de wifi, Bluetooth, un microphone et un capteur de mouvement intelligents à six axes avec des capacités d'IA.

[www.elektor.fr/19754](http://www.elektor.fr/19754)

## Arduino Nano 33 BLE Sense

Mettez la puissance de l'IA dans votre poche grâce au processeur nRF52840 plus puissant, à une série de capteurs intégrés et à la possibilité d'exécuter des applications d'Edge Computing (IA).

[www.elektor.fr/19936](http://www.elektor.fr/19936)

David Cuartielles (cofondateur, Arduino)  
et Fabio Violante (PDG, Arduino)

# L'AVENIR de l'ARDUINO

Au fur et à mesure que nous avançons dans la troisième décennie du 21<sup>ème</sup> siècle, de plus en plus de paradigmes originaux de l'informatique ubiquitaire deviennent une réalité. L'IdO sous toutes ses formes (à domicile ou au travail) devient une réalité grâce aux contributions des technologies émergentes telles que le tinyML, les systèmes radio longue distance et à faible puissance et les microcontrôleurs à très faible puissance. La question qui se pose n'est plus de savoir si l'IA fera partie de nos vies, mais plutôt à quel point nous laisserons ces types de technologies prendre en charge des tâches que nous effectuons aujourd'hui autrement. Il est clairement avantageux de disposer de machines toujours actives et toujours connectées, mais nous devons veiller à ce que leur fabrication soit socialement responsable et écologiquement durable.

C'est pourquoi nous donnons de l'importance à la création de technologies transparentes. Les dispositifs, l'infrastructure logicielle et les services doivent être attentifs aux besoins des utilisateurs finaux, tels que la connectivité ou la puissance de traitement, tout en offrant des consignes claires sur la manière dont on doit traiter les aspects sensibles comme la confidentialité, les micro-transactions ou la sécurité des mises à jour over-the-air. Au cours des dernières années, nous avons effectué un pas vers l'accroissement des capacités techniques des cartes Arduino en créant une toute nouvelle famille de cartes qui constituent notre gamme professionnelle. Elles représentent la façon avec laquelle nous interprétons l'avenir des cartes à microcontrôleur, où les systèmes deviendront plus complexes et intégreront par défaut davantage de composants, tels que des caméras, des microphones numériques ou des capteurs environnementaux. Sur le plan logiciel, les ordinateurs industriels Arduino peuvent déjà être mis à jour par voie aérienne à l'aide de chargeurs de démarrage sécurisés. Ce qu'on peut attendre de l'avenir, c'est de voir ces dispositifs s'exécuter dans vos propres clouds privés, d'exploiter vos machines de fabrication additive sous la forme d'API entiè-

rement reprogrammables, d'exécuter des opérations ROS complexes dans les robots de votre usine ou de faire fonctionner un ordinateur industriel robuste basé sur Linux pour surveiller votre atelier.

Sur le plan éducatif, une forte demande est sollicitée de la part des familles, des gouvernements et des districts scolaires pour des technologies plus performantes. Des termes tels que Python et l'IA sont devenus incontournables dans la plupart des programmes d'enseignement des pays où Arduino est présent. Nous ne pouvons que nous attendre à voir comment des processeurs utilisés jusqu'à présent pour des applications industrielles finiront par faire partie d'outils éducatifs plus puissants et plus améliorés par l'IA. L'informatique de périphérie (*Edge Computing*) et la formation sur appareil sont des moyens sûrs d'introduire les dernières technologies dans les classes. En même temps, on observera comment de nouveaux flux de travail permettront l'émergence d'une approche de l'IA sans codage et feront de la technologie numérique un matériau de construction malléable pour de nouveaux artefacts quotidiens. Les enseignants pourront se concentrer de plus en plus sur les applications, car les nouveaux environnements de développement simplifieront l'apprentissage de la technologie numérique pour les élèves. Les outils modulaires Arduino, connectés aux téléphones, aux tables et aux ordinateurs portables, deviendront le laboratoire mobile du futur. Les élèves effectueront des travaux sur le terrain à l'aide de leurs laboratoires portables construits par eux-mêmes et stockeront les données sur leurs appareils mobiles pour les analyser ultérieurement. Dans l'enseignement supérieur et la recherche institutionnelle, Arduino continuera à jouer un rôle important en proposant des cartes fiables et peu coûteuses avec des API simples. Cela permettra aux chercheurs de construire leurs propres outils et machines expérimentales pour une fraction du prix d'une machine commerciale.

La culture *Maker* continuera à être la principale source d'inspiration d'Arduino. Nous verrons de nouvelles cartes équipées de processeurs plus récents et avec des performances comparables à celles de l'industrie. L'IDE Arduino 2.0 recevra d'abord des contributions sous la forme de traductions, pour passer lentement à la production de nouveaux plugins et améliorer ses fonctionnalités. Ce n'est qu'une question de temps avant que les gens ne commencent à créer leurs propres tableaux de bord pour représenter les informations des cartes et les lancer à partir de l'IDE, à automatiser la programmation de flottes complètes de dispositifs en un seul clic de souris, ou à surveiller le bus d'une machine complexe comportant des dizaines de capteurs et d'actionneurs suspendus.

Le fonctionnement connecté des appareils Arduino sera géré par l'Arduino Cloud. Des opérations telles que les mises à jour logicielles *over-the-air*, les tableaux de bord par glisser-déposer qui contrôlent les dispositifs, ou les templates qui font fonctionner des machines standard, fonctionnent déjà via des serveurs Arduino. On peut imaginer que l'avenir apportera des moyens de canaliser les flux d'informations vers des IA basées sur le cloud pour détecter des modèles et établir des modes de fonctionnement. Ce n'est qu'une question de temps avant que l'ensemble de l'intelligence périphérique de leurs appareils ne soit téléchargée sur le profil d'un utilisateur pour être ensuite téléchargée sur une réplique de ces appareils quelque part ailleurs. Cela permettra de remplacer à chaud les appareils d'une flotte sans interrompre leur fonctionnement.

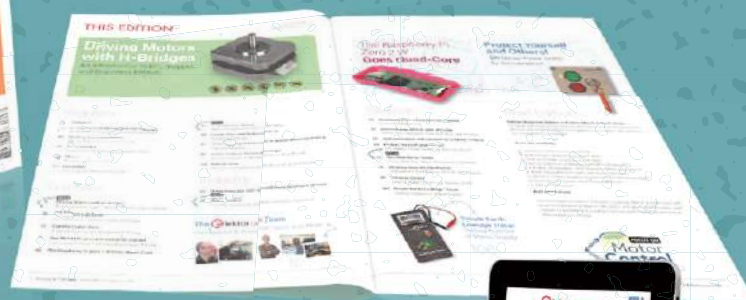
Arduino est né pour aider une communauté – celle des artistes et des designers – à accéder à la technologie embarquée. Au fil du temps, la plateforme Arduino a touché d'autres communautés de pratique. Ingénieurs, chercheurs, enseignants et fabricants – qui font tous partie de la famille Arduino – sont appelés à façonner l'avenir de la plateforme avec nous. Rejoignez nos référentiels ouverts et faisons bouger les choses! ▶

220541-04 — VF : Asma Adhimi

**20%**  
de réduction  
sur la première année de  
votre abonnement

# 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
- ✓ Livraison gratuite en France



[www.elektormagazine.fr/gold-member](http://www.elektormagazine.fr/gold-member)

Utilisez le code promo :

**ARDUINO20**



# La lettre d'information d'Elektor Recevez votre dose d'électronique



**Abonnez-vous** dès aujourd'hui  
et recevez l'édition **bonus**  
d'Arduino **gratuitement.**



Chaque semaine que vous passez sans vous abonner à  
l'e-zine d'Elektor est une semaine où vous manquez de  
grands articles et projets liés à l'électronique !

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