

kit de mesure du CO₂ pour salle de classe

montage à base d'ESP8266, conçu par
l'Université des Sciences Appliquées d'Aix-la-Chapelle

Thomas Dey, Ingo Elsen, Alexander Fer-
rein, Tobias Frauenrath, Michael Reke
et Stefan Schiffer (Université des Sciences
Appliquées d'Aix-la-Chapelle, Allemagne)

De nombreux enfants ne peuvent pas être vaccinés, ils seront donc le prochain groupe le plus vulnérable de la pandémie. Par conséquent, une ventilation régulière des salles de classe est cruciale, et la concentration de CO₂ est un bon indicateur pour cela. Les enseignants de l'Université des Sciences Appliquées d'Aix-la-Chapelle, ville d'accueil d'Elektor, ont donc lancé un projet de compteur de CO₂. Les étudiants peuvent construire l'appareil avec des modules électroniques prêts à l'emploi.



Figure 1. Dispositif final avec feu tricolore et écran dans un boîtier en carton.

L'Agence fédérale allemande pour l'environnement (BMU) indique sur son site web qu'une ventilation régulière permet de réduire l'exposition aux aérosols [1]. En outre, il est également recommandé d'utiliser un indicateur de CO₂ à feux tricolores pour avertir lorsque l'air d'une pièce est « épuisé » et qu'une ventilation est conseillée. C'est pourquoi de nombreuses écoles sont en train d'acheter des appareils de mesure. Mais le problème est que de nombreux appareils du commerce ne sont plus disponibles ou ne le seront que plus tard en raison de l'augmentation de la demande. Dans les communautés de makers sur l'internet, des instructions de fabrication circulent et montrent comment réaliser un feu tricolore pour CO₂ avec des composants électroniques disponibles sur le marché.

Indépendamment de cela, un groupe de projet de l'Université des Sciences Appliquées d'Aix-la-Chapelle s'est formé pour développer un tel kit. Dans ce cadre, différents capteurs dans différentes catégories de prix ont été étudiés et évalués.

Grâce à ces résultats, une équipe de recherche du département de génie électrique et de technologie de l'information a mis au point un appareil de mesure du CO₂ de grande qualité, peu coûteux et recourant à du matériel en stock [2]. Cet appareil de mesure est destiné à être utilisé dans les salles de classe, mais il convient bien sûr aussi à d'autres locaux fermés. Le compteur de CO₂ se présente sous la forme d'un kit de construction pratique. Un tutoriel en ligne fournit les instructions pour les enseignants, afin que l'appareil de mesure

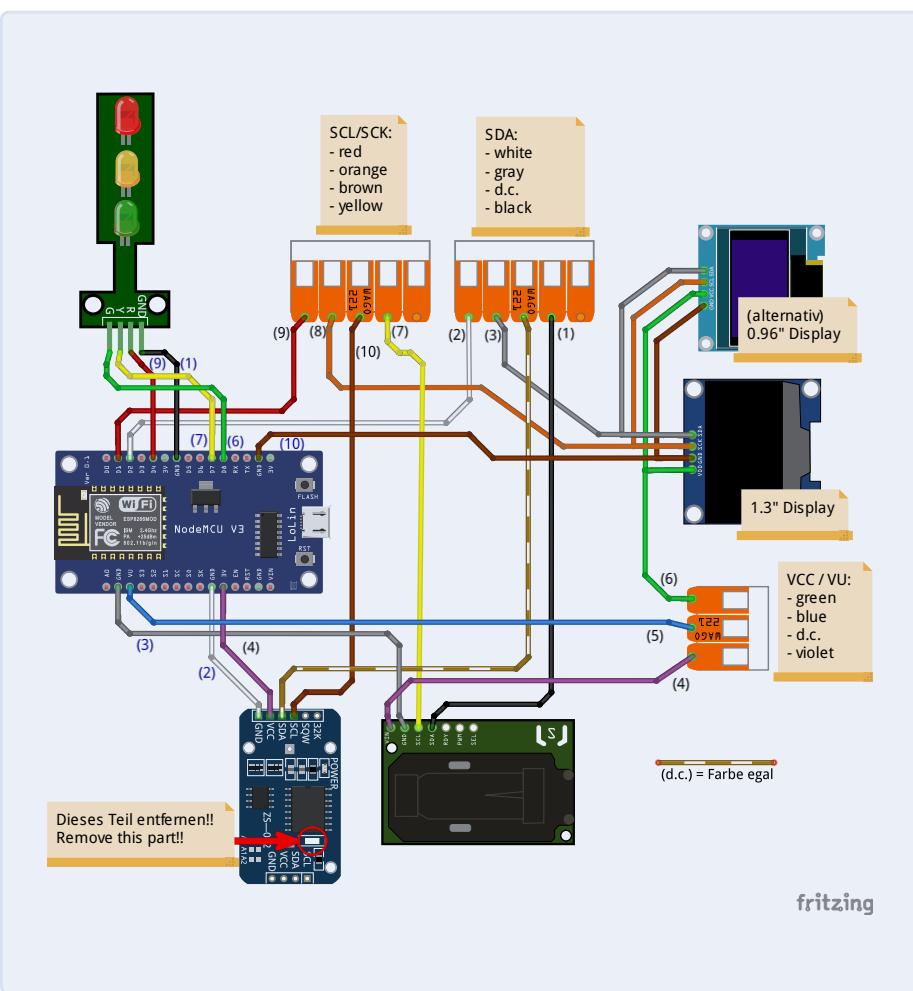


Figure 2. Schéma Fritzing des modules, avec l'ESP8266 comme cerveau du projet.

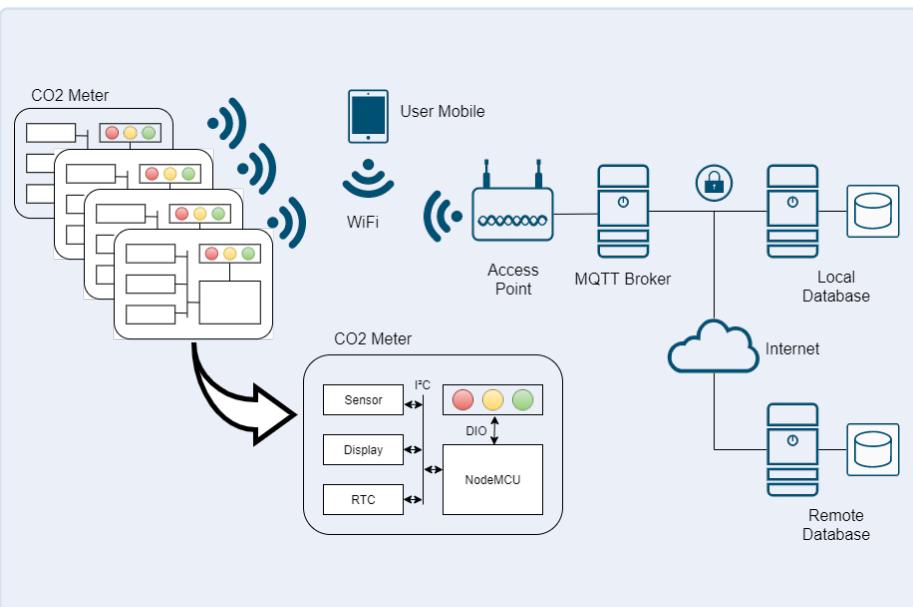


Figure 3. Nos compteurs de CO₂ peuvent envoyer leurs données au réseau via le protocole MQTT [8].

puisse être assemblé et abordé avec les élèves. Le tout est mis à la disposition des écoles au prix coûtant d'environ 65 €.

Le projet est développé et supervisé dans le nouveau « Makerspace » du département d'ingénierie électrique et de technologie de l'information [3]. Cet espace est destiné à permettre aux scientifiques et aux étudiants de mettre en œuvre leurs propres idées. On y trouve des postes de travail, du matériel et des appareils comme une imprimante 3D.

Le kit

Les principaux composants du kit de mesure du CO₂ sont les suivants :

- Capteur de CO₂ Sensirion SCD30
- Carte à microcontrôleur NodeMCU ESP8266-12F
- Écran OLED de 3,3 cm, 128×64 pixels avec contrôleur SH1106
- Module de feu tricolore à LED
- Horloge en temps réel DS3231

Le kit contient également des borniers Wago et des fils de liaison, ainsi qu'une alimentation murale USB et un câble micro-USB. On peut réaliser un boîtier simple avec du carton pré découpé également fourni dans le kit.

La **figure 1** montre le dispositif assemblé avec le feu tricolore à LED. Nous avons décidé de proposer un kit qui ne nécessite aucune soudure afin de maintenir le niveau requis aussi bas que possible. Ainsi, aucun outil autre, à part un cutter, n'est nécessaire pour monter le kit. Les instructions sont disponibles sur [2] et [4].

Le cerveau du projet

La **figure 2** montre le câblage des modules mentionnés. Le populaire ESP8266 est le cerveau du projet ; ses capacités Wi-Fi ont été évoquées à plusieurs reprises dans les précédents numéros d'*Elektor*. L'interface sans fil peut être utilisée pour envoyer les données de concentration de CO₂ à des plateformes ouvertes du nuage sur l'internet via le protocole MQTT, ce qui les rend accessibles dans le monde entier. Cela permet également de gérer un groupe de capteurs de CO₂, par exemple dans des écoles (**fig. 3**).

Par ailleurs, le microcontrôleur ESP8266 exécute un serveur web et propose des pages

Figure 4. Une des pages web de configuration. Les utilisateurs peuvent saisir les seuils pour le feu tricolore. Une version anglaise des pages web est prévue.

web à afficher dans le navigateur de son choix. L'utilisateur peut configurer l'appareil grâce à ces pages web. De nombreux lecteurs d'Elektor savent que l'ESP8266 peut établir son propre réseau Wi-Fi ou se connecter à des réseaux existants. Ce dispositif peut fonctionner dans les deux modes, à configurer par l'utilisateur via un navigateur web. En outre, les valeurs de seuil de CO₂ pour les trois LED du feu tricolore peuvent être configurées, en plus de nombreux autres paramètres (fig. 4).

Pour que la conception reste modulaire et simple, nous utilisons une carte NodeMCU comme carte d'extension pour le contrôleur ESP8266. Son connecteur USB facilite la (re) programmation. La carte NodeMCU peut être alimentée par USB, elle fournit les 3,3 V pour l'ESP8266. Les tensions de 5 V et 3,3 V sont également accessibles sur les connecteurs latéraux de la carte pour alimenter les autres modules.

Modules périphériques

L'ESP8266 communique par I2C avec le capteur de CO₂ (plus de détails sur le capteur dans le paragraphe suivant). Sur le même bus I2C, nous avons également connecté une horloge en temps réel, alimentée par une pile bouton CR2032, pour horodater les données de notre capteur. De plus, pour simplifier le

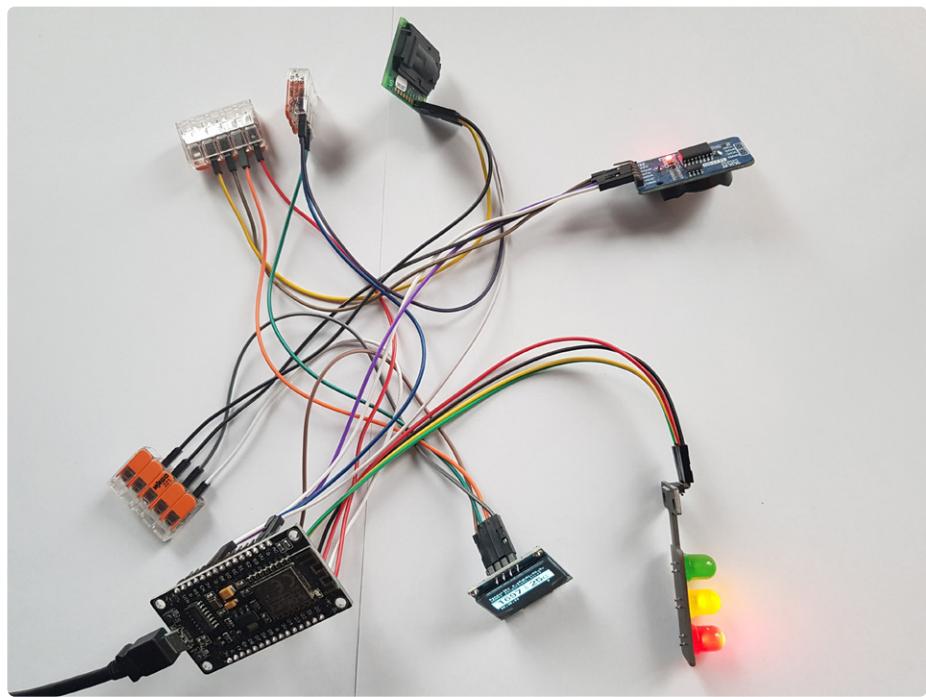


Figure 5. On utilise des borniers pour distribuer les signaux SDA et SCL de l'I2C et l'alimentation en 5 V des modules.

câblage, nous avons décidé d'utiliser un écran avec une interface I2C. Comme le montre le schéma Fritzing du circuit sur la figure 2, nous utilisons des borniers pour distribuer les signaux SDA et SCL du bus I2C ainsi que la tension 5 V qui alimente les modules depuis la carte NodeMCU (voir fig. 5). Une exception pour la RTC qui doit être alimentée en 3,3 V. Les modules RTC que nous avons choisis sont livrés avec des batteries non rechargeables. Une simple diode 1N4148 en série avec 200 Ω fournit un courant de charge continu (et nécessite 3,3 V), ce qui ne vaut que pour les batteries rechargeables. Les batteries non rechargeables peuvent exploser ! Comme la durée de vie de la batterie dépasse la durée de vie prévue des capteurs, nous avons décidé de supprimer la diode sur la RTC pour désactiver le dangereux circuit de charge.

Comme nous l'avons dit, on utilise trois LED en forme de feu tricolore pour obtenir une indication rapide sur le niveau de CO₂. Ces LED sont connectées à trois broches GPIO de l'ESP8266 configurées en sortie. Nous avons choisi un module de feu tricolore intégrant les résistances nécessaires aux LED.

Capteur de CO₂

Le composant le plus important est le capteur lui-même : pour mesurer la qualité de l'air, de nombreux capteurs sont disponibles sur

le marché. Les capteurs disponibles suivent tous un des deux principes de mesure : (a) les COV et (b) l'IRND.

Les COV (Composés Organiques Volatiles) indiquent la qualité de l'air, car des gaz tels que le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone ou le benzène modifient la conductivité du capteur. L'autre principe est celui de l'infrarouge non dispersif (IRND). En gros, la concentration de dioxyde de carbone dans un tube de mesure est estimée par la quantité de lumière infrarouge qui est réfléchie par le mélange de gaz dans le tube.

Nous avons testé plusieurs capteurs des deux classes, en remplissant une boîte en plastique avec une quantité prédéfinie de CO₂ (voir fig. 6). Dès le début de nos expériences, il est devenu évident que les capteurs de COV ne sont pas bien adaptés à un déploiement dans une salle de classe. Ils donnent une indication approximative de la qualité de l'air, mais nous voulons obtenir des concentrations aussi exactes que possible pour préconiser la ventilation d'une salle de classe. De plus, nous voulons comparer les résultats de différents locaux afin de tirer des conclusions.

Notre appareil de mesure du CO₂ utilise donc un capteur infrarouge non dispersif (IRND). Nous avons aussi comparé de nombreux capteurs IRND différents disponibles sur le marché. En particulier, nous avons fait

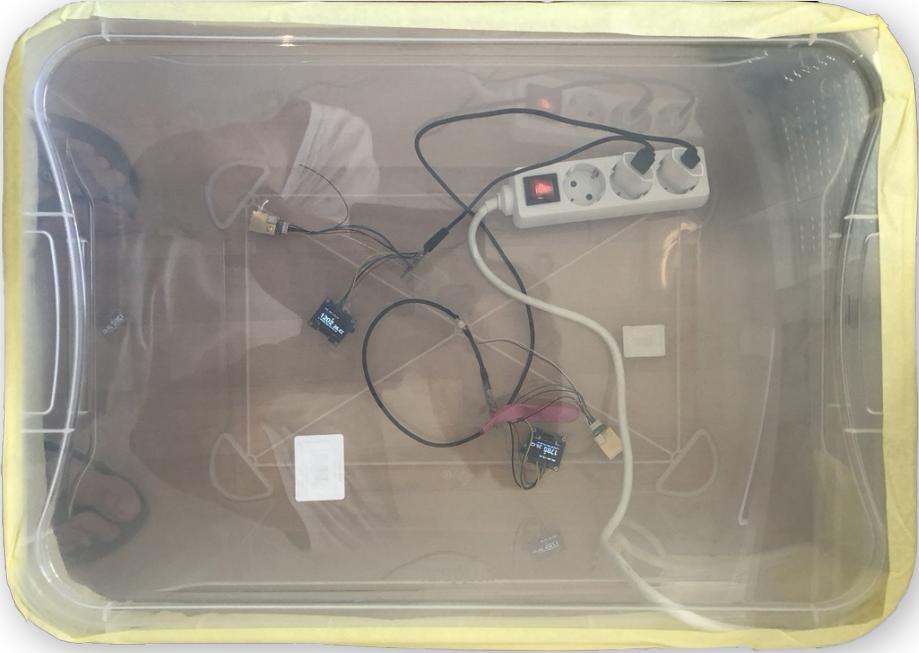


Figure 6. Test de différents capteurs avec des concentrations de CO₂ prédéfinies.

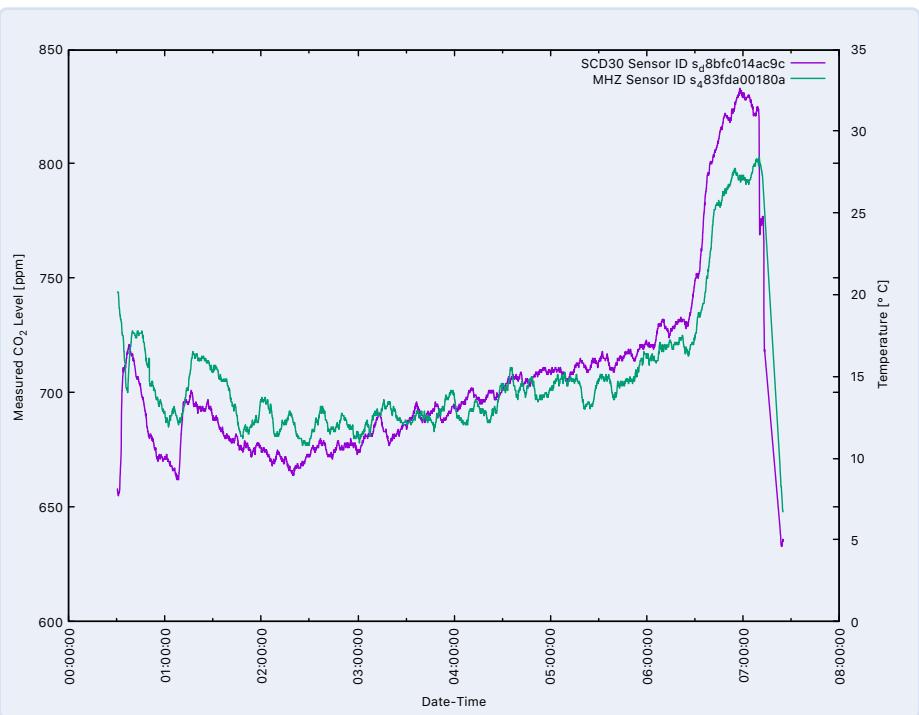


Figure 7. Comparaison entre un capteur de CO₂ MH-Z19 et un SCD-30 [8].

des expériences avec le Winsen MH-Z19B, le Sensair S8 et le Sensirion SCD-30. Nous voulions nous faire une idée de la précision et de la stabilité des mesures des différents capteurs IRND et de l'importance des écarts entre les différents lots d'un même capteur. La **figure 7** montre une comparaison entre un MH-Z19 et un SCD-30 dans un scénario du monde réel. Elle montre que, qualitativement, les deux capteurs mesurent la même concentration de CO₂ dans ce scénario.

De même, les écarts entre les capteurs de ce type se situent dans une fourchette acceptable. Cela dit, nous n'avons pris que des échantillons et nous sommes loin d'apporter des démonstrations issues de tests systématiques et à plus grande échelle. Finalement, en tenant compte de la durée de vie du capteur, nous avons décidé de déployer le Sensirion SCD-30 dans nos appareils. Une fiche technique est disponible sur le site web de Sensirion [5].

Partenariat avec Elektor

Bien que le projet soit déjà terminé et bien fonctionnel, des choses pourraient être encore améliorées. Un étudiant de l'Université des Sciences Appliquées d'Aix-la-Chapelle et Mathias Claussen du laboratoire Elektor travaillent actuellement sur le logiciel, afin de le rendre encore plus modulaire et portable. Cela facilitera le changement des composants du projet – par exemple, le remplacement de l'ESP8266 par l'ESP32, plus puissant. Nous pourrions aussi utiliser différents modèles de capteur de CO₂.

En ce qui concerne la pandémie, ce n'est certainement pas une coïncidence si le laboratoire d'Elektor travaille également sur une autre plateforme de compteur de CO₂, basée dans ce cas sur un ESP32, et avec des circuits imprimés pour câbler les composants. Lorsque le logiciel sera entièrement portable, on pourra l'utiliser pour des projets de compteurs de CO₂, mais aussi pour d'autres projets avec des capteurs environnementaux, qui ont toujours des exigences et des fonctions très similaires à couvrir. Surveillez les articles dans les prochaines éditions de ce magazine !

Logiciel

Le cycle de vie du logiciel de l'appareil prévoit une phase de démarrage, où l'utilisateur peut configurer l'appareil, le démarrage du réseau, où les paramètres du réseau sont appliqués si nécessaire, et une phase de mesure, où les concentrations de CO₂ sont captées et affichées. (Voir le diagramme d'état de la **figure 8**).

Dans la phase de démarrage, après initialisation de l'appareil, celui-ci ouvre un point d'accès qui permet aux utilisateurs de se connecter à l'appareil et de le configurer. L'utilisateur peut alors accéder à l'appareil via un navigateur web et modifier différents paramètres de configuration, tels que le mode de l'appareil, les paramètres Wi-Fi et MQTT, régler l'horloge interne ou lancer l'étalement du capteur. Les paramètres sont stockés de manière persistante sur le disque flash de l'appareil.

Si aucun utilisateur ne se connecte au dispositif dans cette phase, après un délai d'environ 30 s, le dispositif passe à la phase de mesure. En fonction du mode de l'appareil, celui-ci se connecte à un point d'accès Wi-Fi externe ou au serveur MQTT spécifié. L'intervalle de mesure de l'appareil est de 5 s : chaque nouveau point de données

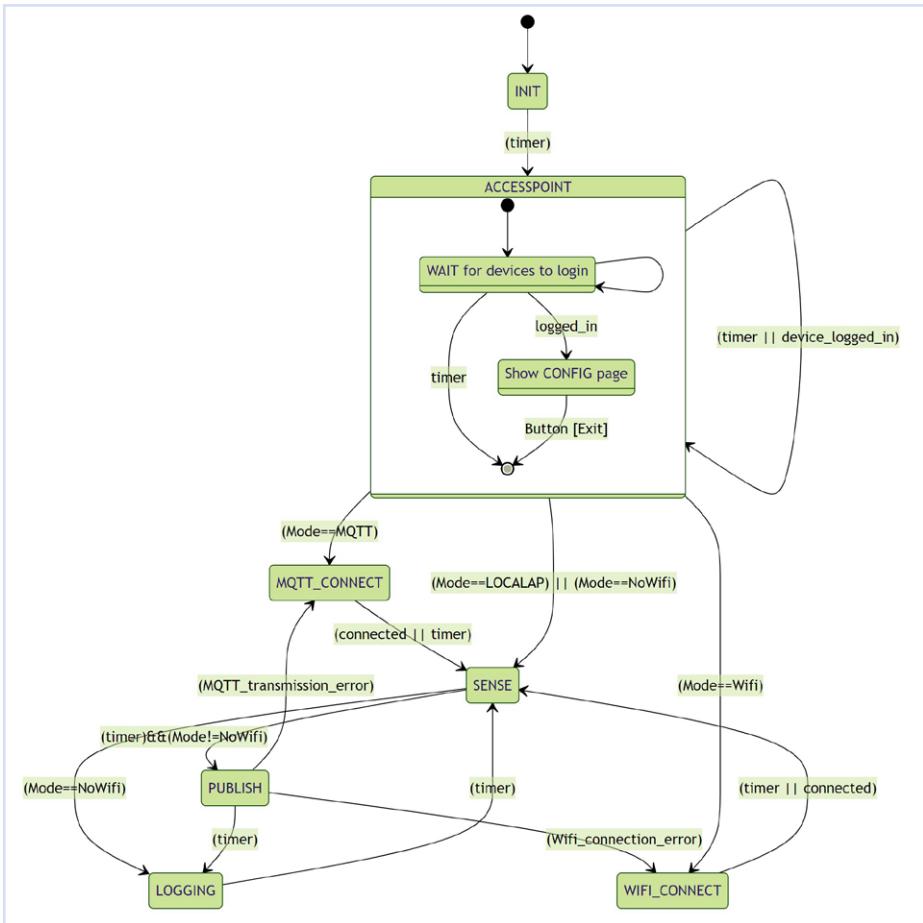


Figure 8. Automate fini implémenté dans le logiciel.

s'affiche sur l'écran OLED de l'appareil, le voyant correspondant du feu tricolore est allumé et la page web des données de l'appareil est mise à jour. Grâce à l'interface MQTT, il est particulièrement facile de traiter ultérieurement les données, par exemple en les stockant dans une base de données, en les affichant avec des outils tels que Node-RED, ou même en utilisant pour cela des services du nuage comme Grafana. Le logiciel est disponible sous forme de fichier brut à l'adresse [4]. Les derniers fichiers sources seront disponibles sur GitHub [6].

Situation actuelle et perspectives

Les écoles, mais aussi les particuliers qui souhaitent obtenir un kit, peuvent prendre contact à l'adresse [7]. Plusieurs centaines de compteurs de CO₂ sont déjà en service dans des écoles et des jardins d'enfants allemands. Certains de ces compteurs participent à une étude de mesure de la qualité de l'air. Nous souhaitons y enregistrer et évaluer scientifiquement différents scénarios d'enseignement particulièrement problématiques en termes de qualité de l'air.

Concentration de CO₂

La concentration naturelle de CO₂ dans l'atmosphère est d'environ 400 ppm. Lorsque les gens expirent, ils émettent environ 4 % de dioxyde de carbone (environ 40000 ppm) qui se dispersent dans l'air de la pièce. Lorsque des personnes sont réunies dans une pièce sans ventilation, cela augmente inévitablement la concentration de dioxyde de carbone dans la pièce. Selon l'agence fédérale allemande pour l'environnement, des niveaux de CO₂ allant jusqu'à 1000 ppm sont encore estimés comme bons, tandis que des niveaux supérieurs à 2000 ppm sont considérés comme mauvais.

En outre, les auteurs et les autres membres de l'équipe travaillent actuellement sur une version du matériel alimentée par batterie. Celle-ci sera construite sur un petit circuit imprimé. L'objectif est d'intégrer ensuite la technologie des capteurs dans une infrastructure de bâtiment intelligent. ↗

210388-04

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel aux auteurs (co2metergbr@gmail.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Texte et illustrations : Thomas Dey, Ingo Elsen, Alexander Ferrein, Tobias Frauenrath, Michael Reke et Stefan Schiffer.

Rédaction : Jens Nickel
Mise en page : Harmen Heida
Traduction : Denis Lafourcade

LIENS

- [1] « Information About Aerosoles in Rooms » : <https://bit.ly/2W1KFFX>
- [2] Plus d'informations sur le projet : <https://maskor.fh-aachen.de/activities/CO2Meter/>
- [3] Makerspace du département de génie électrique et de technologie de l'information de l'Université des Sciences Appliquées d'Aix-la-Chapelle : <http://makerspace.fh-aachen.de/>
- [4] Fichiers à code source ouvert du logiciel et du matériel du projet : <https://makerspace-ac.de/seite/>
- [5] Sensirion, fiche technique du module capteur SCD30 Ver1, 05/2020 : <https://bit.ly/3eXJa1V>
- [6] Dernière version du logiciel sur GitHub : <https://github.com/co2mtr/co2meter.git>
- [7] Contact pour obtenir un kit : <https://makerspace-ac.de/#contact-section>
- [8] T. Dey, I. Elsen, A. Ferrein, T. Frauenrath, M. Reke and S. Schiffer, « CO2 Meter: A do-it-yourself carbon dioxide measuring device for the classroom », PETRA 2021