



HAL
open science

Developpement Durable et réseau IoT : l'équation est possible, Exemples de projets

Fabienne Nouvel, Stéphane Meric, R. Agarini, T. Bunouf, Q. Guellaen, G. Le, M. Meilhat, Y. Noeyri, M. Chevé, O. Le Bihan, et al.

► **To cite this version:**

Fabienne Nouvel, Stéphane Meric, R. Agarini, T. Bunouf, Q. Guellaen, et al.. Developpement Durable et réseau IoT : l'équation est possible, Exemples de projets. Colloque sur les Objets et systèmes Connectés 2022, Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar, May 2022, Dakar, Sénégal. <hal-04397527>

HAL Id: hal-04397527

<https://hal.science/hal-04397527v1>

Submitted on 16 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Développement Durable et réseau IoT : l'équation est possible, Exemples de projets

F. Nouvel*, S. Méric*, R. Agarini**, T. Bunouf**, Q. Guellaen**, G. Le Bouhart**, M. Meilhat**, Y. NOEY-RI**, M. Chevé[#], O. Le Bihan[#], K. Le Méhauté[#], S. Leray[#]

* IETR UMR 6164 CNRS, Campus de Beaulieu, Rennes, France

** INSA Rennes, Campus de Beaulieu, Rennes, France

[#] AIR BREIZH, 3 rue du Bosphore, Tour Alma – 8e étage, 35200 RENNES

RESUME : Cet article décrit la réalisation de deux projets étudiants INSA Rennes, le projet Air'O et le projet capteur CO₂, destinés au suivi de la pollution de l'air en collaboration avec l'association Air Breizh et le COPIL Développement durable de l'INSA de RENNES.

Le premier projet a été initié en 2019-2020, en 2e année ingénieur (niveau M1) au sein du département « électronique et télécommunications » de l'INSA de Rennes. Il s'est prolongé en 2021. Le but du projet est de proposer une mesure de la qualité de l'air par l'intermédiaire de capteurs embarqués sur des vélos. Une transmission de la position du capteur ainsi que la mesure de pollution en temps réel via le réseau LoRaWAN (Long Range Wide-area Network) permet de localiser les niveaux de pollution tout au long du parcours du vélo. Ce suivi de la qualité de l'air s'effectue par la récupération des données (pollution, position) sur un serveur dédié. Une application spécifique est développée afin de situer géographiquement les niveaux de pollution enregistrés. La réalisation d'un prototype est présentée ainsi que la transmission des informations. Des premiers résultats indiquent la pertinence du concept développé. Le deuxième projet développé en 2021 vise à réaliser un capteur de particules et de CO₂ communicant pour les salles d'enseignements et de réunion, suite à la crise sanitaire COVID. Ce projet s'inscrit dans la démarche de développement durable à l'INSA de Rennes. Il s'agit de proposer un système facile à réaliser et peu coûteux, qui peut être installé dans les salles de cours et amphis. L'objectif est également de pouvoir suivre l'évolution des relevés sur une période, afin de pouvoir agir sur la fréquentation des salles. Un prototype est là aussi présenté.

Mots clés : objet connecté, Smartgrid, protocole LoRaWAN. Prototypage embarqué.

1 INTRODUCTION

La pollution de l'air correspond à la présence de particules chimiques et considérées comme toxiques pour tous les secteurs de la planète. Ce problème en passe de devenir un des problèmes majeurs de santé publique car considérée comme la troisième cause de mortalité en France [1]. En France, la surveillance de la qualité de l'air est organisée par les AASQA (Associations Agréées de surveillance de la Qualité de l'Air)[2] dont les actions sont coordonnées par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air [3]. Elles ont pour mission de mesurer, prévoir et communiquer sur la qualité de l'air du territoire. Les principaux polluants à surveiller sont le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), les particules fines (PM₁₀, PM_{2.5}) et l'ozone (O₃). La concentration de ces polluants est mesurée en µg/m³. Les données récoltées en continu par les AASQA permettent de calculer des moyennes annuelles, journalières ou horaires. Ces valeurs calculées permettent d'établir un indice de la qualité de l'air de la zone de mesure.

L'article décrit le développement d'une solution basée sur des capteurs de mesures de pollution de l'air et embarqués sur des vélos. Le vélo est un moyen de déplacement propre, qui s'est intensifié, tant en zone urbaine que rurale. A Rennes, une augmentation de 25% de cyclists est constaté, avec un nombre de vélos

de l'ordre 4000 cycles/jour, avec des pics de plus de 9000 cycles/jour. Dans un premier projet Air'O, nous présentons le contexte de l'application et la collaboration avec Air Breizh. Le deuxième projet est ensuite abordé, toujours associé avec la même technologie de transmission. Puis, nous décrivons les dispositifs permettant la mesure de la pollution ainsi que la transmission de cette mesure associée à la localisation. La troisième partie aborde la technologie LoRaWAN adoptée pour la transmission des données. Une quatrième partie traite des outils utilisés pour l'interface homme-machine (IHM) pour interpréter les résultats. Pour terminer, nous abordons les conclusions et travaux futurs envisagés pour ce projet.

2 CONTEXTE DU PROJET AIR'O

2.1 Mesures de la qualité de l'air et déplacements

Le projet Air'O est basé sur le constat d'une augmentation croissante de la pollution de l'air et d'une réelle demande de la mesure de cette pollution. Sur la région Bretagne, l'association Air Breizh est chargée de la qualité de l'air en Bretagne. Les quatre missions de Air Breizh sont les suivantes : 1. Mesurer une dizaine de polluants différents, 2. Informer, grâce aux indices de la qualité de l'air, 3. Etudier, grâce à différents équipements et méthodes d'analyse et 4. Sensibiliser via leur site web, des formations ou encore des publica-

tions. Sur le site d’Airbreizh, il est possible de visualiser la qualité de l’air sur différentes localisations en Bretagne, par l’intermédiaire d’un indice de pollution appelé indice ATMO [5].

Afin de bien identifier les attentes du projet Air’O, un état de l’art des différentes solutions est effectué et 3 types de mesures de la pollution atmosphérique sont identifiées :

- Stations agréées de mesure de la qualité de l’air (stations gérées par les AASQA) : stations précises et surveillant simultanément un grand nombre de polluants. Toutefois, elles présentent plusieurs inconvénients : coût de 10 k€ peu de stations déployées dans la région rennaise (8) et peu ou pas mobile.
- Microcapteurs : développement de stations personnelles de mesure avec des capteurs faible coût (inférieur à 500 €). L’inconvénient majeur réside dans l’incapacité de synthétiser des informations de mesure de pollutions. Il faut aussi indiquer une moins bonne précision que les stations fixes.
- Initiatives citoyennes : à partir des microcapteurs décrits, de nombreuses solutions sont développées pour pallier au manque de mesures dans certains quartiers des agglomérations par exemple. L’inconvénient de ces solutions est le peu de mobilité apportée par leur développement.

Pour le projet Air’O, nous avons développé un concept de surveillance de l’air à partir de capteurs embarqués sur des vélos. L’usage du vélo permet de se déplacer facilement, et obtenir une cartographie des trajets et des niveaux de pollution sur ceux-ci. La mesure est transmise en temps réel par l’intermédiaire du réseau LoRaWAN[4]. Le principe est décrit sur la figure 1.



fig 1 : Principe du projet AIR’O

2.2 Prototypage du Système

Les capteurs de pollution sont fixés sur le vélo. Ces capteurs (fig1, 1) communiquent les mesures, via le réseau LoRaWAN (fig1, 2), au serveur LoRaWAN dédié (fig 1, 3). Celles-ci sont synchronisées avec la position des capteurs et les données de la qualité de l’air sont affichées sur une application utilisateur (fig1, 4). Une description plus détaillée d’un capteur AIR’O est donnée sur la figure 2

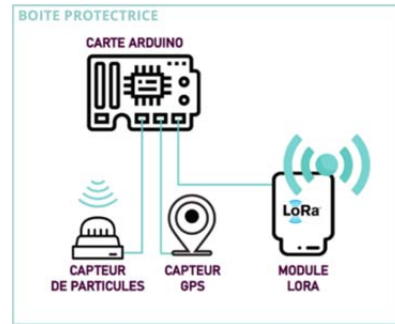


fig 2 : Carte Prototype AIR’O

3 CONTEXTE DU PROJET CAPTEUR CO2

3.1 Qualité de l’air et Développement Durable

La Mission Développement Durable de l’INSA a pour objectif d’encourager des programmes de recherche interdisciplinaires et mettre en place des thèmes transversaux, de réduire l’empreinte carbone de l’INSA Rennes et décliner ces principes dans le cursus de formation. Par ailleurs, la loi du 12 juillet 2010 portant l’engagement national pour l’environnement a posé l’obligation de surveiller périodiquement la qualité de l’air intérieur dans certains établissements recevant du public. Un premier audit a été réalisé par les assistants de prévention de l’INSA et a permis d’identifier les salles où un risque est présent pour les étudiants comme pour les enseignants, la concentration devant rester < 900 ppm. A partir de ce constat, un prototype de capteur de CO2 communicant est proposé. Le capteur retenu est de type NDIR (non dispersive Infra), pour son efficacité, sa robustesse et la possibilité de calibrage [5]. La figure 3 illustre le composant. Il sera raccordé à une carte Arduino, communicant avec un shield LoRaWAN. Il existe sur le marché plusieurs types de capteurs CO2, mais avec des coûts non négligeables et ils ne sont pas nécessairement connectés (information locale, affichage lumineux).



fig 3 : Capteur SCD30 , calibrable

4 TECHNOLOGIE LORAWAN ET IDENTIFICATION DES NOEUDS

Pour les deux projets, la technologie LoRaWAN[4] est utilisée pour transmettre les données des capteurs, en outdoor ou indoor. LoRaWAN est un protocole de communication longue distance (jusqu’à 15 km) et basse consommation (en moyenne 40 mA pour une transmission sur 15Km). Ce choix est impor-

tant pour les mobiles pouvant se déplacer sur un large périmètre. D'autres choix comme la technologie WIFI sont possibles mais cette technologie a une portée plus faible, de plus celle-ci consomme en moyenne 140mA pour une transmission sur 100m. La technologie Lo-RaWAN transmet des données avec des faibles débits (maximum 50kbits/s), débit tout à fait adapté aux deux projets.

Pour accéder au réseau, le nœud capteur doit s'authentifier, soit en OTAA (Over the Air), soit en ABP (Activation par Personnalisation). La méthode OTAA a été retenue car elle est plus sécurisée. Une procédure de connexion est établie à la mise sous tension, permettant alors au nœud capteur d'obtenir les clés de chiffrement réseau et application. Celles-ci changent à chaque nouvelle demande de connexion. Chaque nœud dispose alors des paramètres suivant:

- AppEUI : C'est l'identifiant unique d'application à laquelle le nœud transmet les informations.
- DevEUI : c'est l'identifiant unique (64 bits) du nœud. Ce paramètre n'est théoriquement pas modifiable.
- AppKey : Il s'agit de la clef secrète partagée entre le nœud et le réseau/serveur d'application, utilisée pour dériver les clés de session.
- d'un couple de clés AppSKey et NwkSKey, obtenues après la procédure de connexion, permettant de crypter les données.
- d'un DevADDR, identifiant logique (32 bits) fourni par le réseau.

Les clés AppSKey et NwkSKey sont renouvelées à chaque nouvelle connexion.

5 DESCRIPTION PROJET AIR'O

Dans cette section, nous décrivons les différentes parties du système embarqué.

5.1 Capteurs

Le système de mesure comprend 2 capteurs : un capteur de pollution un capteur GPS. Le capteur de pollution est le capteur SDS011[6] mesurant le taux de particules fines dans l'air. Ces particules proviennent de différentes sources (fumées mais aussi pollen et poussières). Leur concentration est calculée selon 2 tailles distinctes (2,5 μm et 10 μm). Un ventilateur permet de faire circuler l'air (et donc les particules) dans un système de mesure et le taux est mesuré par un laser. Le module GPS Grove, très répandu dans les projets de localisation, permet la récupération de la position géographique, l'altitude ou encore la vitesse de l'objet connecté. Ces deux capteurs sont connectés au microcontrôleur de la carte LoPy4/Pycom. L'intérêt de ce composant LoPy4 est de disposer de plusieurs bibliothèques en micro-python, facilitant le développement. De plus, il dispose de plusieurs interfaces radio (BLE, Wifi, SigFox) qui pourraient être utilisées dans d'autres contextes. La figure 4 illustre les différents éléments du dispositif.



fig 4 : Capteur SCD30 , GPS Grove, Carte Lopy4

5.2 Module de communication

La technologie LoRa correspond à la modulation radio (modulation Chirp Spread Spectrum), LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) désigne le protocole de communication de niveau 2. Cette technologie est adaptée aux applications qui requièrent une autonomie importante. En Europe, l'interface radio LoRa utilise la bande de fréquence autour de 868~MHz, avec un encombrement spectral du signal modulé de 125~kHz ou de 250~kHz. Le débit de transmission retenu de l'ordre de 1kbits/s, suffisant pour les données transmises. Ce débit est fonction du facteur d'étalement SF et du gain de codage [4]. Le module radio est directement implanté sur le module Lopy4, Le nœud embarqué envoie des données à la gateway LoRa qui assure alors l'interface avec le coeur de réseau, elle est connectée à Internet (filaire ou sans fil) et envoie ces données sur le serveur LoRaWAN. Les données du nœud sont ensuite récupérées sur le serveur applicatif. L'authentification du device est effectuée en mode OTAA permettant de récupérer les clés de chiffrement pour la protection des données et assurer l'authentification (clés NwkSKey et AppSKey).

Le réseau LoRaWAN de Wi6Labs est utilisé dans le projet, avec une gateway Multi-Tech. En phase de mesures et de transmission, le module complet consomme de l'ordre de 110 mA, la partie LoRa consommant moins de 40 mA.

La chaîne de communication peut être représentée selon la figure 5.

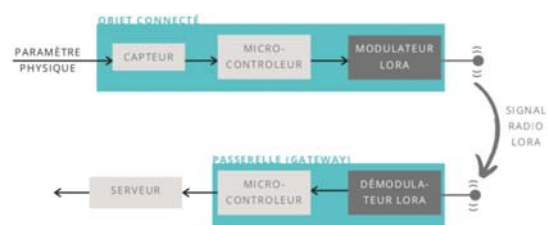


fig 5 : Principe & chaîne de communication

5.3 Format des messages et IHM

Un cycle de mesures est initialisé à la mise sous tension de l'objet connecté : mesures de la pollution et de la position, émission de ces données vers la passerelle la plus proche et transmission vers le serveur de données via le serveur de réseaux. La technologie LoRaWAN étant par définition bas débit et message court, les données à transmettre dans une trame sont réduites à une chaîne de caractère traduite en hexadécimal.

Aucun protocole de niveau 4, tel que MQTT/TCP ou COAP/UDP n'a été utilisé par soucis de simplicité. L'exemple ci-dessous résume l'organisation des données inscrites dans la trame :

```
$AIRO,6.9,8.7,[49, 33.3739, 'N'],[1, 50.8075, 'W'],(10, 5, 29.0)
```

avec :

- « \$AIRO » permet la synchronisation trame,
- « 6.9,8.7 » représente respectivement les taux mesurés de particules PM2.5 et PM10,
 - « [49, 33.3739, 'N'],[1, 50.8075, 'W'] » indiquent respectivement les positions du vélo en latitude et en longitude (degrés, minutes décimales),
 - « (10, 5, 29.0) » indique l'heure (heure, minute, seconde).

Le cycle de mesure et d'envoi doit respecter le duty cycle de LoRaWAN. Il doit également permettre une autonomie suffisante. Aucun envoi n'est effectué si le vélo est stationné. A terme, un système de recharge via électrique ou via la dynamo du vélo est envisagée.

5.4 Résultats - IHM

L'objectif de l'IHM est de pouvoir donner en temps réel aux utilisateurs les niveaux de pollution sur les trajets du vélo, en zone urbaine principalement. Dans cet article, nous décrivons uniquement les mesures de pollution en regard de la vérité terrain (situation au moment de la mesure). La figure 6 illustre le résultat de mesures de pollution en fonction de la position du capteur. Les index oranges correspondent à des mesures effectuées dans une maison et indiquent un taux de particules compris entre 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les index rouges (taux de particules entre 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondent au passage d'une voiture pendant le trajet. Enfin, les index verts sont mesurés dans un chemin piétonnier et d'accès interdit aux voitures. Le taux de particules fines est alors faible (entre 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces premières mesures montrent la pertinence de notre système au regard des conditions de mesures et valident le principe de fonctionnement ainsi que la chaîne globale de traitement.

Des mesures de consommation ont été effectuées mais principalement en statique (vélo arrêté). Il conviendrait d'étudier plus en détail les scénarios possibles d'envoi des messages pour permettre à la fois

une faible consommation et des mesures représentatives des parcours.

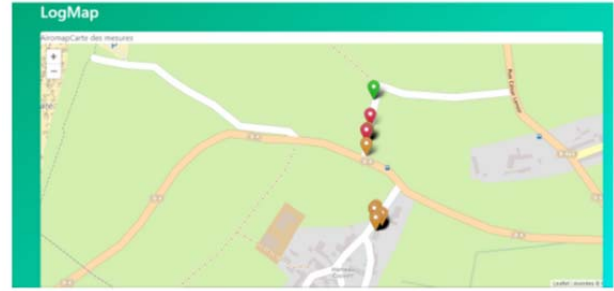


fig 6 : Illustration de l'IHM. : Données de pollution localisées

6 DESCRIPTION PROJET CO2

Le projet CO2 est lui aussi basé sur des capteurs de CO2 et la technologie de transmission LoRaWAN. Le prototype est illustré sur la figure 7. Basé sur l'utilisation d'un microcontrôleur Arduino, plusieurs optimisations restent possibles, notamment la miniaturisation, la gestion de l'énergie, l'étude du positionnement des capteurs dans les pièces, les scénarios de transmission tenant compte de l'heure et des jours de la semaine.

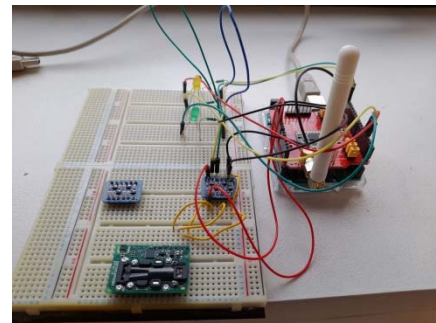


fig 7 : Capteur CO2 – connecté

Le réseau de Wi6Labs a été utilisé avec une gateway MultiTech. Des tests ont été effectués également avec les gateway Dragino LG01-P[7], connectée au serveur et la plateforme TTN. Cependant, les Dragino LG01-P ne disposent que d'un seul canal pour les liens radios. Cela peut constituer un inconvénient pour un nombre élevé de capteurs. Leur portée est également plus réduite.

Un projet similaire a été développé à PolyTech Angers [8]. Les capteurs communiquent également leurs données mais en Wifi (http). Un capteur SCD30 est piloté via un microcontrôleur ESP32. La solution LoRaWAN dans notre cas permet de limiter la consommation, d'autant que les données échangées sont de 10 à 15 octets maximum. Le projet CO2 de l'INSA se poursuit actuellement, en visant l'optimisation énergétique et la miniaturisation. Ce projet est assez proche du projet Air'O dans l'usage des capteurs et de technologie de transmission. Cela permet aussi de montrer la

capacité de couverture du LoRa, que ce soit en indoor ou outdoor, pouvant aller jusqu'à 20 kms [9]. Cette technologie est aussi particulièrement intéressante car le réseau peut être déployé librement, sans nécessiter une licence ou un accès opérateur, tel que le Nb-IoT.

7 CONCLUSION

Le système Air'O est autonome et est destiné à être embarqué sur un vélo. Les mesures de pollution étant associées à des mesures de position (GPS), le projet Air'O permet donc d'avoir une cartographie en temps réel des taux de particules fines le long d'un trajet de cycles. Cette cartographie temps-réel est rendue possible par la transmission quasi-instantanée des mesures à un serveur de données via une liaison LoRa. Deux axes sont privilégiés pour la suite de ce projet. Le premier concerne l'interface qui pourrait apporter beaucoup plus de fonctionnalités (par exemple le calcul d'itinéraires permettant d'éviter la pollution mesurée en temps réel). Le second axe porte sur le système lui-même à savoir l'optimisation de la consommation. Entre autre, l'optimisation des trames doit être abordée pour être capable d'émettre plus régulièrement des informations de mesure, et prévoir des messages de types COAP ou MQTT, protocoles très répandus dans l'IoT. Ce projet a retenu l'attention de Rennes Métropole.

Le projet CO2 a montré la faisabilité du système. Plusieurs optimisations sont proposées, toujours basées sur l'utilisation de la technologie LoRa.

Bibliographie

- [1] RISQUES – prévention des risques majeurs : site gouvernemental traitant de la pollution de l'air. Website : <https://www.gouvernement.fr/risques/pollution-de-l-air>.
- [2] ATMO – France : fédération des associations de surveillance de la qualité de l'air. Website : <https://atmo-france.org/missions-et-gouvernance-des-aasqa/>
- [3] LCSQA : laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air. Website: <https://www.lcsqa.org/fr>
- [4] LoRaWAN protocol & specification, https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/, (2022)
- [5] <https://docs.rs-online.com/522c/0900766b816c9dc7.pdf> (2022)
- [6] Notice d'utilisation SDS011 : www.gotronic.fr/pj2-35853-1843.pdf, 2021-2022
- [7] <https://www.dragino.com/products/products-list.html>, 2021-2022
- [8] Projet capteur CO2 Angers, <https://projetco2.fr/> (2020-2022)
- [9] <https://eco-sensors.ch/program/quelle-est-la-portee-de-lorawan/>