

Systeme de surveillance de la qualite de l'air base sur des capteurs embarques sur velo : projet AIR'O X AIR BREIZH

S. Méric^a, F. Nouvel^a, R. Agarini^b, T. Bunouf^b, Q. Guellaen^b, G. Le Bouhart^b,
M. Meilhat^b, M. Chevé^c, O. Le Bihan^c, K. Le Méhauté^c, S. Leray^c

^a IETR UMR 6164 CNRS, Campus de Beaulieu, Rennes, France

^b INSA Rennes, Campus de Beaulieu, Rennes, France

^c AIR BREIZH, 3 rue du Bosphore, Tour Alma – 8^{ème} étage, 35200 Rennes
Pôle CNFM de Rennes CCMO, France

Contact email : fabienne.nouvel@insa-rennes.fr ; stephane.meric@insa-rennes.fr

Cette communication décrit la réalisation d'un projet étudiant (projet Air'o) destiné au suivi de la pollution de l'air en collaboration avec l'association Air Breizh. Ce projet a été initié pendant l'année universitaire 2019-2020 lors de la 2^{ème} année ingénieur (niveau M1) au sein du département « électronique et télécommunications » de l'INSA de Rennes. 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.

I. Introduction

La pollution de l'air correspond à la présence de particules chimiques et considérées comme toxiques pour tous les secteurs de la planète (faune, flore, villes, population humaine). 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 à l'échelle régionale par les AASQA (Associations Agréées de surveillance de la Qualité de l'Air) (2) dont les actions sont coordonnées par le LCSQA (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.

Cette communication décrit le développement d'une solution basée sur des capteurs de mesures de pollution de l'air et embarqués sur des vélos. Dans une première partie, nous présentons le contexte de l'application et la collaboration avec Air Breizh. Ensuite, nous décrivons le dispositif embarqué sur le vélo permettant la mesure de la pollution ainsi que

la transmission de cette mesure associée à la localisation. La troisième partie aborde la technologie adoptée pour la transmission des données. Une quatrième partie traite des outils utilisés pour l'interface homme-machine (IHM) pour interpréter les résultats obtenus lors d'expérimentations qui sont décrites dans une cinquième partie. Pour terminer, nous abordons les conclusions et travaux futurs envisagés pour ce projet.

II. Contexte du projet Air'o

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 (4) est chargée de la qualité de l'air en Bretagne et est Ambassad'air, référence nationale d'initiative citoyenne pour la qualité de l'air. Air Breizh est une des 19 associations de surveillance de la qualité de l'air en France, agréées par le Ministère de l'Environnement. Elles constituent le dispositif national appelé ATMO, qui est la fédération des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA 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. étudier, grâce à différents équipements et méthodes d'analyse et 4. Sensibiliser via leur site web, des formations ou encore des publications. Sur le site d'Airbreizh (4), 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 micro-capteurs 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. La mesure est transmise en temps réel par l'intermédiaire du réseau LORA. Le principe est décrit sur la figure 1.



Fig.1. Schéma global de fonctionnement du dispositif.

Un ensemble de capteurs de pollution est fixé sur des vélos de particuliers (ou sur une flotte de vélos en libre-service). Ces capteurs (1) communiquent, via le réseau LoRaWAN (2), des données de mesure à un serveur dédié (3). Ces données de mesures sont synchronisées avec la position des capteurs et les données de la qualité de l'air sont affichées sur une carte géographique (4). Ainsi, une description plus détaillée d'un capteur AIR'O est décrit sur la figure 2.

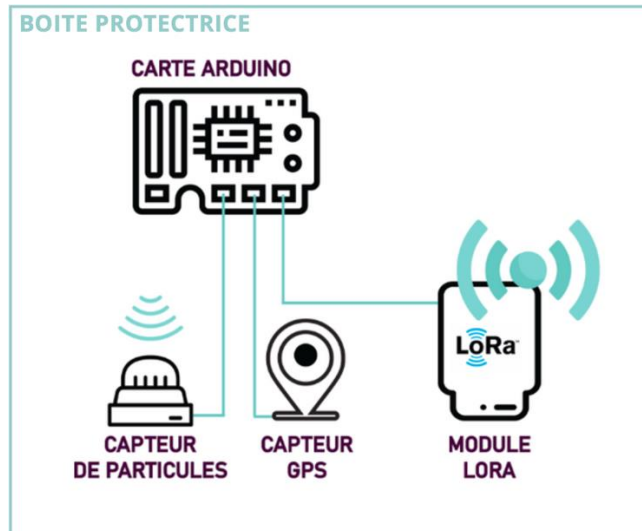


Fig.2. Description modulaire d'un capteur AIR'O.

Le capteur est constitué d'une carte ARDUINO qui est reliée à un capteur de particules mesurant le taux de particules dans l'air et à un capteur GPS qui permet de reporter la position du capteur à chaque prise d'échantillons dans l'air. Le module LORA est utilisé ensuite pour transmettre les informations de taux de particules et de position du capteur AIR'O vers le serveur d'application pour enregistrement des informations.

III. Système de mesure et de transmission

Le système de mesure est constitué d'un capteur de pollution et d'un capteur GPS, d'un module de communication LoRaWAN, d'un micro-contrôleur et d'une alimentation. Cet ensemble est intégré dans un boîtier pour être ensuite embarqué sur un vélo.

Capteur de pollution

Le choix s'est porté sur le capteur SDS011 (5) -disponible avec Air Breizh- mesurant le taux de particules fines dans l'air (figure 3).



Fig.3. Description du capteur de particules SDS011.

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.

Concernant l'utilisation de ce capteur de particules, la bibliothèque « sds011.py » est disponible et fonctionne avec une interface de communication de type UART et sous une tension de 5 volts.

Module GPS

Le module GPS Grove (6) permet la récupération d'informations sur la position géographique, l'altitude ou encore la vitesse de l'objet connecté (voir figure 4).



Fig.4. Description du module GPS Grove.

Son utilisation est simplifiée par la bibliothèque MicropyGPS et l'interface de communication est aussi de type UART.

Module de communication LoRaWAN

La carte choisie est une carte LoPy4 avec une expansion 2.0 (Pycom) et est décrite sur la figure 5 : carte de développement miniature dédiée aux objets connectés et basée sur le langage Python 3.



Fig.5. Description de la carte LoPy4 et de son extension 2.0.

Cette carte est très simple d'utilisation et la documentation associée est suffisamment fournie pour une prise en main rapide des accès et des commandes vers d'autres éléments.

Alimentation

L'alimentation des composants constituant le capteur est un point essentiel pour viser l'autonomie du système pendant les expérimentations. Une première étude sur la consommation des composants est résumée dans le tableau I :

TABLEAU I. Analyse des consommations des éléments du capteur.

Composants	Tension d'alimentation	Consommation
PYCOM LOPY 4	3,3 V ou 3,5-5,5 V	28 mA (en transmission LoRa)
Capteur SDS011	5 V	70 mA \pm 10 mA (en mesure) < 4 mA (au repos)
GPS neo 6M	3,3 V	35 mA (en mesure)

Dans la situation de consommation maximale (mesure capteur, transmission LoRa), il est nécessaire de fournir 5V avec une capacité de 10 000 mAh. Une première solution est basée sur l'association parallèle de 4 accus R6 de 2 600 mAh chacun. L'autonomie mesurée est de 9 heures pour une mesure et une liaison continues sans mise en veille. Dans les travaux à venir, une amélioration significative de cette autonomie est attendue lors de l'étape d'optimisation du code de transfert des données LoRa (taux de répétition de 1%).

Une réalisation de notre prototype utilisé dans le cadre de nos expérimentations est présentée sur la figure 6.



Fig.6. Modélisation 3D du prototype développé (à gauche) et réalisation avec antenne (à droite).

L'ensemble des éléments du prototype (capteur, module GPS) sont pilotés avec des bibliothèques utilisables dans un environnement python. Il convient maintenant de décrire la structure qui permet la transmission des données vers une application de gestion de ces données.

IV. Technologie LoRa et protocole LoRaWAN

La technologie LoRa désigne l'interface radio du réseau de communications sans fil (couche physique) alors que LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) désigne le protocole de communication qui appartient à la catégorie des LPWAN (Low Power Wide-Area Network), réseaux basse consommation d'énergie et longue portée. Ces réseaux sont adaptés aux objets connectés dont l'application requiert une autonomie importante, ce qui est notre cas pour ce projet. En Europe, l'interface radio LoRa utilise la bande de fréquence ISM autour de 868~MHz et la norme prévoit un encombrement spectral du signal modulé de 125~kHz ou de 250~kHz.

L'architecture d'un réseau LoRaWAN se décompose en 4 parties : objets connectés (*devices*), passerelle (*gateway antenne LoRaWAN*), serveur de réseau et authentification, et les serveurs d'applications (figure 7).



Fig.7. Architecture d'un réseau LoRaWAN.

Les *devices* envoient des données à l'antenne grâce à la modulation LoRa. L'antenne gateway/relais est connectée à Internet et envoie ces données sur les serveurs. Ces données peuvent ensuite être récupérées sur les serveurs et utilisées pour des applications en fin de chaîne. Une transmission utilisant la modulation LoRa se fait suivant le schéma de la figure 8.

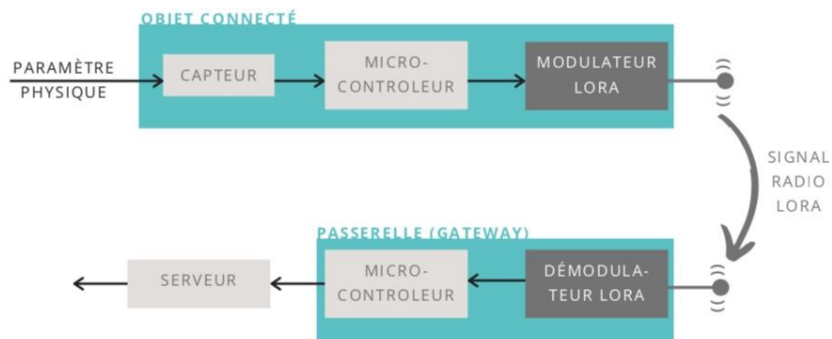


Fig.8. Chaîne de communication LoRa.

En sortie de la passerelle, il est primordial de relier nos objets connectés au serveur de réseau et de données. La solution retenue est Wi6labs (7), solution de réseau et d'infrastructure pour l'IoT du serveur réseau au *cloud* sécurisé. L'interface de Wi6labs permet entre autres :

- d'enregistrer les passerelles et les capteurs,
- de sécuriser la communication (clés de démodulation),
- de superviser les flux de données.

Le serveur Wi6labs est considéré comme le serveur de réseau pour transmettre les données de chaque capteur vers le serveur de données pour être traitées.

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 caractères traduite en hexadécimal. 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)

Où :

- « **\$AIRO** » décrit le début de la trame,
- « **6.9,8.7** » représente respectivement les taux mesurés de PM2.5 et PM10,

- « [49, 33.3739, 'N'], [1, 50.8075, 'W'] » indiquent respectivement les positions en latitude et en longitude (degrés, minutes décimales),
- « (10, 5, 29.0) » indique l'heure (heure, minute, seconde).

Cette organisation permet donc de situer la mesure des taux de particules fines dans l'espace et dans le temps.

V. Gestion des relevés

Afin de pouvoir interpréter les résultats de mesures, une application web est développée afin de pouvoir consulter les données mesurées par les capteurs embarqués, les trajets effectués ainsi qu'une cartographie des données de pollution en fonction d'une échelle de couleur. Ce développement utilise les technologies Django et VueJS :

- Django est un ensemble d'outils en python permettant un développement web haut niveau de façon simple et rapide,
- VueJS est un ensemble d'outils en java permettant de construire des interfaces pour les utilisateurs. La librairie *Vue* s'intègre facilement dans l'interface Django.

La première application est dédiée à la mise en place d'un serveur de données faisant le lien entre le serveur de réseau (configuré avec Wi6labs) et la base de données. Cette application intercepte les requêtes (arrivée de données et demande d'enregistrement) et organise les données avant traitement et création de la base de données. Cette base de données est créée avec noSQL (possibilité d'évolution des champs décrivant les données) via MongoDB.

La seconde application génère une interface pour l'utilisateur permettant ainsi une gestion et une interprétation aisées des données. La stratégie de manipulation des données s'effectue au niveau du relevé de mesures :

- affichage (onglet *dashboard*) : description du dernier relevé (date, heure, position et valeurs de mesure),
- base de données (onglet *relevés*) : affichage de tous les relevés disponibles avec enregistrement, modification, ajout ou suppression possibles de relevés,
- cartographie (onglet *LogMap*) : affichage des relevés sur une carte via OpenMap.

À partir de ces applications, nous pouvons maintenant réaliser des campagnes de mesure portant à la fois sur les performances du système d'acquisition et sur la visualisation des données de mesure de pollution.

VI. Résultats de mesures

Des mesures testant l'autonomie ainsi que la mobilité et la validité des données sont effectuées avec le module réalisé (figure 2). Dans cet article, nous décrivons uniquement les mesures de pollution en regard de la vérité terrain (situation au moment de la mesure). La figure 5 décrit le résultat de mesures de pollution en fonction de la position du capteur. Les index orange 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.

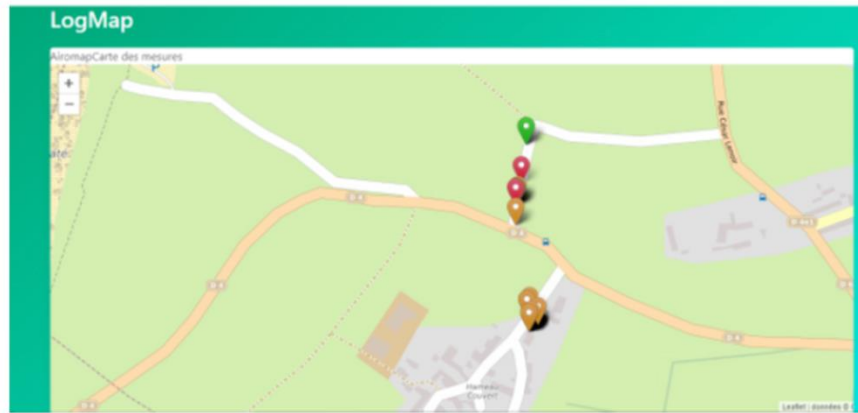


Fig.9. Affichage des données de pollution en fonction de la position du capteur (affichage obtenu via l'onglet *LogMap*).

Il faut noter quelques « trous » dans la couverture et la mesure de la pollution par manque de données GPS disponibles ou de données transmises par le réseau LoRaWAN (problème de visibilité).

VII. Conclusion

Dans cet article, nous décrivons la réalisation d'un système mobile de mesure de pollution (particules fines). Ce système 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 vélo. Cette cartographie temps-réel est rendu 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 (un objet connecté à internet via LoRa doit présenter des durées de vie de l'ordre de 10 ans). Entre autres, l'optimisation des trames doit être abordée pour être capable d'émettre plus régulièrement des informations de mesure. Enfin, le prototype de mesure est actuellement volumineux et il est donc nécessaire de passer à une étape de miniaturisation pour envisager un déploiement à grande échelle.

Références

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. Air Breizh : association de type loi 1901 pour la surveillance de la qualité de l'air en Bretagne. *Website* : <https://www.airbreizh.asso.fr/>
5. Notice d'utilisation SDS011 : www.gotronic.fr/pj2-35853-1843.pdf
6. Notice d'utilisation GPS Grove : files.seeedstudio.com/wiki/Grove-GPS/res/E-1612-UB_Datasheets_Sheet.pdf
 Wi6labs : solutions de réseau et d'infrastructure pour l'IoT. *Website* : www.wi6labs.com.