



**HAL**  
open science

## **CFA2022/462 Plateforme Expérimentale de Mesure Acoustique en temps réel**

Sébastien Carra, Sébastien Guillot, Valentin Le Bescond, Patricio Munoz,  
Matthieu Quenez, Bruno Vincent

► **To cite this version:**

Sébastien Carra, Sébastien Guillot, Valentin Le Bescond, Patricio Munoz, Matthieu Quenez, et al..  
CFA2022/462 Plateforme Expérimentale de Mesure Acoustique en temps réel. 16ème Congrès Français  
d'Acoustique, CFA2022, Société Française d'Acoustique; Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique,  
Apr 2022, Marseille, France. hal-03848433

**HAL Id: hal-03848433**

**<https://hal.science/hal-03848433>**

Submitted on 10 Nov 2022

**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.



16<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique  
11-15 Avril 2022, Marseille

## CFA2022/462 Plateforme Expérimentale de Mesure Acoustique en Temps Réel

S. Carra<sup>a</sup>, S. Guillot<sup>a</sup>, V. Le Bescond<sup>b</sup>, P. Munoz<sup>a</sup>, M. Quenez<sup>a</sup>, and B. Vincent<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Acoucity, 24 rue Saint Michel, 69007 Lyon, France, France

<sup>b</sup>UMRAE, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR, CEREMA, Allée des Ponts et Chaussées, 44340 Bouguenais, France



Dans un contexte de forte croissance de l'internet des objets (Internet Of Things - IoT), le marché des industriels de l'acoustique propose une variété toujours plus grande de sonomètres connectés. Ces appareils reposent sur des concepts IoT très divers que ce soit au niveau des protocoles de communication ou des interfaces de programmation. A ce panel, se rajoute également les prototypes de capteurs "open source" inspirés par des projets de recherche publique ou de développeurs indépendants, qui ne présentent pas encore la robustesse de sonomètres industriels mais ayant plusieurs avantages d'un point de vue sociétal, de par leur prix modéré, leur rôle pédagogique, ou d'un point de vue de recherche et expérimentation pour explorer de nouveaux protocoles de communication. Acoucité est l'observatoire de l'environnement sonore de la Métropole de Lyon et accompagne ses collectivités territoriales partenaires dans la gestion de leur observatoire. L'association récupère la donnée des différents sonomètres pour le calcul d'indicateurs et la rédaction de rapports d'analyse hebdomadaires, mensuels ou annuels. La plateforme expérimentale de mesure est un projet interne qui a pour but d'élargir les cas d'utilisation en proposant une interface à un utilisateur averti lui donnant accès aux indicateurs acoustiques en temps réel avec une durée d'intégration faible permettant l'analyse visuelle de la dynamique du bruit. Cette infrastructure fournit un ensemble d'outils permettant la communication avec les API propriétaires de plusieurs constructeurs, le stockage fédéré dans une base de données, et le calcul automatisé des indicateurs lancé depuis le navigateur. De plus des prototypes expérimentaux ont été conçus à partir de l'algorithme proposé par le groupement du projet CENSE et connecté à cette plateforme. Une comparaison avec du matériel de référence de classe 1 a été réalisée.

## 1 Introduction

Dans le cadre de ses activités d'innovation et de développement, Acoucité a entrepris un projet interne afin de s'approprier de nouvelles techniques liées à l'émergence des objets connectés (*IoT*) et de créer une plateforme qui permet le support de sonomètres commerciaux *IoT* et de *prototypes* de capteurs sonores "bas coût" développés à fin d'expérimentation.

La Plateforme Expérimentale de Mesure en Temps Réel (*PLEMATR*) fédèrent un ensemble de savoir et de matériels différents sur un même espace pour donner aux utilisateurs un accès proche du temps réel aux indicateurs acoustiques  $LA_{eq,t}$ , avec une durée d'intégration  $t$  variant de la seconde à la minute. Le stockage mutualisé dans une base de données et l'application web permettent également le calcul d'indicateurs journaliers et l'édition de graphiques.

Les développements s'inspirent du projet H2020 Monica [1], et sa plateforme multi-capteurs pour des grands événements culturels et musicaux, ainsi que du projet CENSE [3] financé par l'ANR.

Un côté expérimental a été conservé tout au long du projet pour adapter au fur et à mesure les spécifications au besoin et ne pas limiter le nombre de modèles de sonomètres ou protocoles à prendre en main. Les échanges avec les collectivités territoriales partenaires d'Acoucité a permis de récupérer des retours constructifs et l'évolution positive *PLEMATR*.

Une partie importante de l'article sera consacrée au développement des prototypes et à leur connexion à *PLEMATR*.

La dernière section présentera le résultat d'une comparaison faite sur deux emplacements de mesure où des prototypes et des sonomètres de classe 1 ont été déployés simultanément.

## 2 Architecture

L'architecture est construite autour d'une base de données PostgreSQL avec laquelle va communiquer par requêtes SQL les objets connectés et l'application WEB servant les différents utilisateurs. L'application est construite en *fullstack* grâce à un framework Python appelé Dash-Plotly gérant la conversion des objets dans les trois langages WEB : HTML, CSS, Javascript pour le *frontend*. La partie *backend* permet d'assurer l'interactivité avec le calcul des indicateurs par des bibliothèques utilisées en data science telles que Numpy ou Pandas. La base PostGres et l'application sont hébergées en France par Scalingo, ce qui permet de respecter un principe de souveraineté des données. La solution commerciale en PAAS (plateform as a service) permet un déploiement et des mises à jour rapide. Le site est accessible à l'URL suivante : [plateforme.acoucite.org](http://plateforme.acoucite.org)

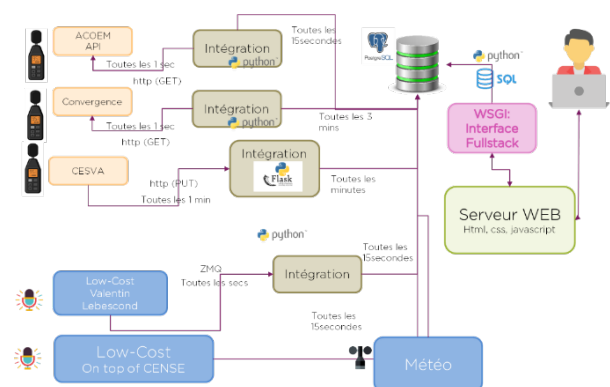


FIGURE 1 – Architecture de la plateforme

### 3 Sonomètres IoT

Trois sonomètres commerciaux connectés et leurs interfaces de programmation (API) respectives ont été testés. Dans les trois cas, une couche d'intégration était nécessaire pour formater les données avant envoi dans la base PostGres. Toutes ces opérations ont été faites en Python avec des bibliothèques telles que Requests, Flask ou Psycopg2.

Le constructeur ACOEM propose sur ses modèles CUBE et DUO des commandes intégratrices HTTP. Cette option permet, entre autre, d'obtenir le niveau de pression acoustique équivalent  $Leq,t$  à la seconde ( $t=1s$ ) en interrogeant le serveur dans la balise sur ce même intervalle. L'envoi à la base se fait toutes les 15 secondes.

Le modèle TA120 de Cesva est connecté à leur Cloud NoisePlatform. Une option de transfert vers un autre serveur est possible à l'intérieur de leur plateforme selon des protocoles reposant sur de l'HTTP (protocole Sentilo). Une API REST a été développée sur le serveur de destination en utilisant la bibliothèque Flask. Des outils tels que Ngrok permettent le développement de l'outil en local avant le déploiement chez l'hébergeur. La durée d'intégration est d'une minute ( $t=1min$ )

Le sonomètre de Convergence-Instruments NSRTW\_mk3 est relié en Wifi à un ordinateur avec un programme propriétaire inscrivant les indicateurs dans un fichier csv. Un script python repère les changements dans les fichiers csv (comma separated values) toutes les 5 minutes et les remonte à la plateforme. La durée d'intégration est d'une seconde ( $t=1s$ )

### 4 Visualisation

Le site internet, affiche pour chaque balise ou prototype une page qui se divise en 4 onglets (figure 2) :

- "La dernière heure" qui présente de façon glissante les indicateurs, un graphe type "camembert" de répartition par classe et une évolution temporelle ;
- "Les données en différé" qui permet de retrouver les indicateurs et le graphe temporel pour une journée précise ;
- "Indice Harmonica" qui affiche pour une journée choisie l'indice Harmonica [4] [5], indice sur une échelle de 0 à 10 résultant du projet européen du même nom ;
- "Les indicateurs européens" qui présente les indicateurs Lden, Ld, Le, Ln pour une journée.

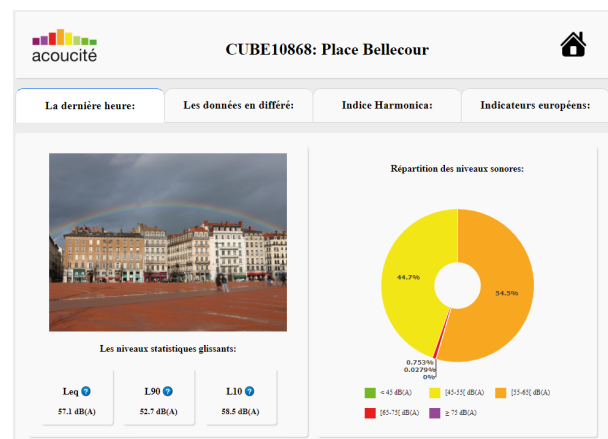


FIGURE 2 – Frontend

### 5 Les capteurs bas coût

Le Raspberry Pi est un micro-ordinateur de la taille d'une carte de crédit qui représente un véritable succès commercial depuis sa sortie en 2012 avec des millions d'exemplaire vendu. Entretenu par la Fondation Raspberry, il a pour but de promouvoir la programmation et la digitalisation pour tous en proposant des solutions complètes, économique et libre. La majorité des produits Raspberry sont constitués d'un processeur ARM comme cœur de calcul, de mémoire vive SDRAM, d'une carte MicroSD pour le stockage, d'une alimentation via USB (5V), de ports USB, Ethernet et d'un support GPIO 40pins (General Purpose Input/Output) ainsi que de connexion WIFI et Bluetooth. Le dimensionnement des composants dépend du modèle choisi.

TABLEAU 1 – Les différents modèles.

Modèle	Processeur	Mémoire	Ports USB	Wi fi	RJ 45	Bluetooth
Pi4 B	Cortex-A72 4Core 64bits 1.5GHz	4 Go	2 USB3, 2 USB2	x	x	x
Pi Zero W	1 Core CPU 1GHz	512 Mo	Micro USB	x		x
Pi Zero W2	Cortex-A53 4Core 64bits 1GHz	512 Mo	Micro USB	x		x
Pi 3 B	4Core 64bit CPU 1.2GHz	512 Mo	4 USB 2.0	x	x	x

Les différents modèles de Raspberry ne possèdent cependant pas d'entrée audio analogique ni de carte son intégrée pour brancher un microphone. Les solutions disponibles restantes sont l'utilisation de l'USB ou du GPIO pour l'acquisition d'un signal numérique PCM. Certains microphones USB intègrent la conversion analogique numérique alors que les modèles Jack (TRS ou TRRS) nécessite une interface supplémentaire. Une attention particulière a été portée sur la taille de la capsule pour faciliter le calibrage (1/4 de pouce ou 1/2 pouce). La mesure du noise floor (bruit de fond à la chaîne de mesure) varie

entre 32 et 38 dB(A) selon le microphone et la carte son.

TABLEAU 2 – Les différents microphones.

Microphone	Ø	Directivité	Connectivité	Carte Son, DAC	Quantification	Echantillonnage
micW i436	1/4 pouce	Omni	Jack TRRS	UGREEN Carte Son USB Externe Stéréo	S16_LE, S24_3LE	44100, 48000, 192000
Mini DSP UMIK-1	1/2 pouce	Omni	USB	-	S24_3LE	48000

### 5.1 Les différentes versions

La balise « version classique » est construite uniquement sur un Raspberry Pi 4B et une chaîne microphonique (carte son Ugreen et microphone i436). Une connexion supplémentaire au réseau 4G peut être créée en utilisant un Dongle Huawei E3372. Le GPIO peut également être utilisé pour connecter de l'instrumentation météorologique bas coût tel un anémomètre ou une girouette.

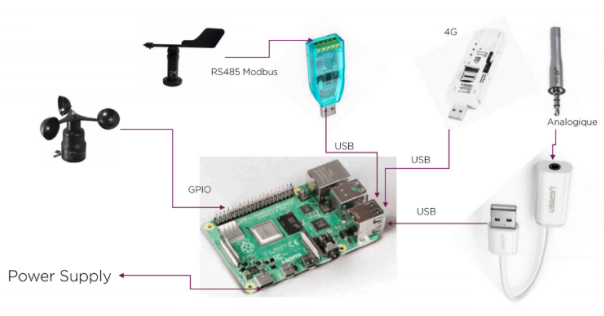


FIGURE 3 – Hardware

La balise « version non-interruptible » utilise un gestionnaire de charge Pijuice Hat et une batterie 1820mAh pour palier à des interruptions de courant électrique et éviter un redémarrage du micro-ordinateur. La balise « version solaire » utilise le même composant relié à une batterie 12 000 mAh et un panneau solaire BigBlue 21W. Le principal objectif est de se passer du réseau électrique pour l'alimentation de la balise. Le Raspberry Zero est beaucoup moins énergivore que son grand frère le Raspberry Pi. En utilisant le système d'exploitation (OS) en ligne de commande, on arrive à une consommation de autour de 150 mA auquel s'ajoute celle du microphone USB de 100mA, ce qui permet d'atteindre une autonomie théorique de 30h (Efficacité théorique de 75%)[2]

### 5.2 Logiciels et services

Le Raspberry Pi nécessite un système d'exploitation pour fonctionner. Raspberry Pi OS 32 bits est l'OS officiel de la fondation. Il est dérivé de Debian (GNU-Linux) et peut être choisi dans une version avec interface graphique ou dans une

version en ligne de commande. Dans le monde Linux, chaque programme s'exécute sous la forme d'un processus, aussi appelé service, initialisable dès le démarrage de la machine. L'ensemble des processus disponible permet d'enrichir les fonctionnalités du prototype et de développer des nouveaux cas d'utilisation :

- SSH (Secure shell), permet de lancer des commandes à distance via un protocole sécurisé ;
- VNC (Virtual Network Computing), permet de prendre contrôle de l'OS graphique à distance ;
- VPN (Virtual PrivateNetwork), permet de rattacher la balise a un réseau privé et de chiffrer le transfert des données ;
- SFTP (File Transfert Protocol via SSH), permet de transférer des fichiers, dont le résultat des mesures.

### 5.3 Noisesensor, Projet Cense

L'algorithme Noisesensor (licence BSD 3) fournit par l'Université Gustave Eiffel dans le cadre du projet ANR Cense [3] constitue le cœur de calcul des prototypes. Le noyau écrit en langage C avec une API haut niveau en Python permet de conjuguer rapidité de calcul et facilité de réutilisation. Le programme permet de calculer les indicateurs acoustiques à partir d'un flux audio PCM. Le niveau de pression sonore équivalent et le spectre par tiers de bande d'octave peuvent être calculé aussi bien en Slow (*Leq, 1s*) ou en Fast (*Leq, 125ms*) avec ou sans la pondération physiologique A.

Acoucité a développé en Python au-dessus de Noisesensor pour inclure différentes fonctionnalités comme le stockage des données en csv, la communication en temps réel (pas de 15s) en HTTP vers une base PostGreSQL, le streaming audio et d'autres fonctionnalités en intelligence artificielle non détaillé dans cet article. Le processus est géré comme un service sous Linux par Systemd pour être lancé au démarrage comme tâche de fond. Le tableau 3 présente le temps de calcul pour chaque type de Raspberry.

TABLEAU 3 – Temps de traitement d'un *Leq, 125ms*.

Modèle	Temps moyen de Calcul
PI4B	2.42 ms
Pi Zero W 2	6.34 ms
Pi Zero W	27.25 ms

## 5.4 Le Projet SonoMKR

Le projet SonoMKR est une initiative menée par des acousticiens indépendants dont l'objectif est de créer un sonomètre bas coût dont la précision serait comparable aux sonomètres de classe 1. Le cœur du projet consiste en un programme de calcul de spectre de 1/3 d'octaves. Le filtrage est effectué avec des filtres numériques passe-bandes à réponse impulsionnelle infinie. Le filtrage est en base 10 et les filtres respectent la classe 0, la plus stricte, de l'IEC 61260-1.

Une fois calculées, les données en 1/3 d'octaves sont mises à disposition du système en temps réel via le logiciel ZeroMQ en suivant une logique Publish-Subscribe. N'importe quel autre logiciel peut ainsi venir s'abonner au flux des spectre 1/3 d'octaves et en disposer librement, même à distance via Internet. Un script python est ainsi fourni pour s'abonner au flux et créer les fichiers de mesures. On peut également noter parmi les autres fonctionnalités du projet :

- L'acquisition et le traitement en parallèles des deux voies de l'audio en stéréo
- La possibilité de configurer totalement les valeurs des filtres
- La possibilité de s'abonner au flux audio au même titre que le flux tiers d'octave.
- la possibilité d'ajuster la valeur de calibration via ZeroMQ également.

## 6 Expérimentation terrain

Lors des expérimentations terrain, pour chacun des deux sites, un capteur bas coût est installé parallèlement à un sonomètre de classe 1. Les deux capteurs sont reliés à la plateforme PLEMATR mais ont également un système de stockage interne dans un format propriétaire ou dans un format texte de type csv. Il existe deux méthodes parallèles d'obtenir la donnée pour le prototype avant traitement :

- la "méthode csv" consiste à enregistrer les Leq,t dans un fichier csv directement dans la carte SD de l'appareil et de la transférer par FTP,
- la "méthode sql" consiste à récupérer par requête SQL les données dans la base PostGRES de la plateforme PLEMATR. Cette méthode va dépendre de la connexion réseau ou internet. Selon ce protocole, un paquet non réceptionné est un paquet perdu.

Dans cet article est présenté le "taux de fonctionnement" ou "pourcentage de données acquises" que l'on définit comme le pourcentage de données récupéré sur le pourcentage de données possiblement récupérable. Un ratio de 90% sur une journée avec une durée d'intégration  $t=1s$  signifie que l'on a 77760 Leq,t sur 86 400 possibles.

Le "Delta  $\Delta$ " est la différence entre l'indicateur obtenu à partir du prototype et celui obtenu par le sonomètre de classe 1. On définit la "dérive relative" comme l'évolution du Delta

sur une année glissante.

### 6.1 Site Lyon 7, rue Saint Michel



FIGURE 4 – Rue Saint Michel

Dans une voie urbaine de type U, une balise ACOEM avait été installée en façade en 2013 sur les locaux de l'association. En partenariat avec le projet SonoMKR, un prototype a été installé en janvier 2020 sur la même perche pour étudier la résistance dans le temps et pouvoir comparer les résultats avec du matériel industriel de classe 1. La connexion est faite par Ethernet en passant par le réseau local avant ouverture sur le web. Un serveur intermédiaire permet de lire le flux de donnée en utilisant le protocole ZMQ. Bien qu'à la même hauteur, la capsule du prototype est dirigée vers la route et celle de la balise industrielle vers le ciel. Le prototype a été calibré lors de son installation et la dérive a été suivie depuis sa date d'installation. Le sonomètre a été calibré le 27 février 2020 et le 09 juin 2021 avec un écart de 0.41 et 0.46 dBA.

La période d'étude est de février 2020 à novembre 2021. Dans les premiers mois de l'expérimentation, le script était dans une phase de progression et le taux de perte lors du transfert vers la base de données a fortement diminué. De plus, une mauvaise manipulation a abouti sur une perte de fichiers csv entre mars et septembre 2021. Sur la période d'étude, on a sept mois avec un taux de fonctionnement supérieur à 80 % permettant la comparaison entre le Lden mensuel calculé par le prototype et celui calculé par le sonomètre connecté pour les deux méthodes.

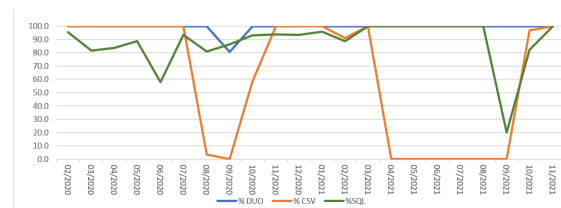


FIGURE 5 – Pourcentage de données acquises

	04-2020	05-2020	07-2020	11-2020	12-2020	01-2021	11-2021
$\Delta L_{den}$ CSV	0.6	0.6	0.4	1.7	1.7	1.8	2.7
$\Delta L_{den}$ SQL	0.3	0.5	0.9	1.7	1.6	1.7	2.7

TABLEAU 4 – Delta Lden en dBA

Sur ces mois complets, on observe une différence de l'ordre de 0.6dBA début 2020, 1.7dBA pour la fin d'année 2020 et 2.7dBA sur la fin d'année 2021. Pour mieux étudier la dérive relative, on se focalise sur la "méthode sql" qui a plus de données collectées.

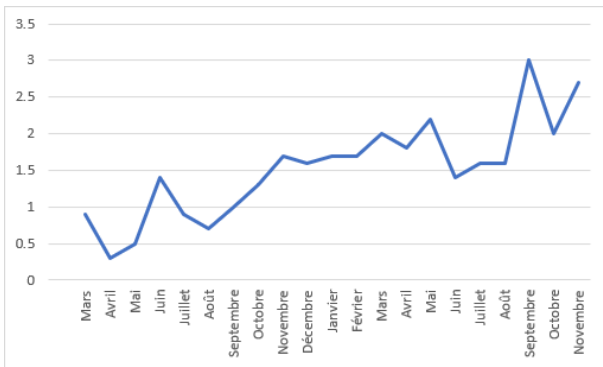


FIGURE 6 – Étude de la dérive relative en dBA

Pour les mois de mars à novembre 2021, on peut faire la différence avec l'année 2020 ce qui correspond à la dérive relative. La dérive moyenne relative annuelle est de 1dBA pour ce montage. Ces résultats confortent l'intérêt d'une calibration annuelle.

Les indicateurs L90 et L10 donnent respectivement des informations sur le bruit de fond et les événements les plus bruyants. Sur ce montage, le *noise floor* ne perturbe pas la mesure car il n'y a pas de différence significative entre  $\Delta L_{90}$  et  $\Delta L_{10}$ .

	04-2020	05-2020	07-2020	11-2020	12-2020	01-2021	11-2021
$\Delta L_{90}$ CSV	1.3	1.6	1.4	1.7	1.7	1.9	1.9
$\Delta L_{90}$ SQL	1.3	1.3	1.4	1.7	1.7	1.9	1.9
$\Delta L_{10}$ CSV	1	1	1.2	0.9	1.8	1.9	1.9
$\Delta L_{10}$ SQL	1.2	0.9	1.2	1.8	1.7	1.9	2

TABLEAU 5 – Delta L90 et L10 en dBA

La comparaison a été étendue sur des intervalles plus courts pour les deux protocoles sur l'ensemble de la période. Si le delta est de 1.3 dBA pour un intervalle de 1 mois ou 1 semaine, il augmente à 1.5dBA pour une heure et 1.7dBA pour une minute.

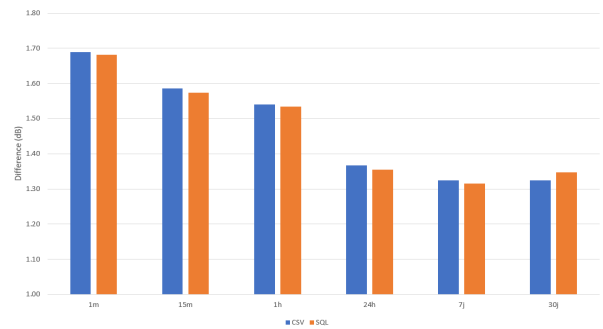


FIGURE 7 – Variation de l'intervalle

## 6.2 Site Bron, Avenue Rousset

Dans le cadre des expérimentations de capteurs des émissions sonores des véhicules préconisées par la loi des d'orientation des mobilités, un sonomètre de classe 1 a été placé sur l'avenue Rousset de la commune de Bron pour caractériser l'environnement sonore avant le déploiement des radars acoustiques. Sur le même point de mesure, a été placé un prototype de capteurs sonores dans le but de comparaison et d'évaluation de l'algorithme. Le prototype est dans sa version classique, alimenté par le secteur et relié à internet via un dongle 4G. Le microphone est à 4m au-dessus du sol. La durée d'intégration est d'une seconde.



FIGURE 8 – Point de mesure

La période d'étude est de juillet à septembre 2021. Les taux de fonctionnement sont à 100% en juillet et août.

La comparaison des Lden est faite mensuellement. Sur une expérimentation moyen terme d'un peu moins de trois mois, on observe des écarts inférieurs à 0.5 dBA pour le Lden peu importe le protocole utilisé.

La comparaison a été également faite pour les indicateurs statistiques L90 et L10. Pour le L90, les écarts absolus sont plus élevés et ceci s'explique par le *noise floor* du prototype plus élevé que le sonomètre. Le prototype a plus de mal à mesurer les niveaux sonores faibles entre 30 et 38 dBA.

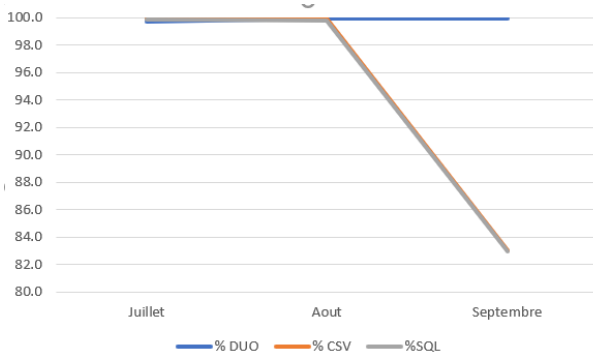


FIGURE 9 – Pourcentage de données acquises

	07-2021	08-2021	09-2021
$\Delta L_{den} CSV$	0.1	-0.2	0
$\Delta L_{den} SQL$	-0.2	-0.5	-0.3

TABLEAU 6 – Delta Lden en dBA

	07-2021	08-2021	09-2021
$\Delta L_{90} CSV$	-1.1	-2.2	-3.6
$\Delta L_{90} SQL$	-1.5	-2.5	-3.7
$\Delta L_{10} CSV$	0.2	-0.6	0.1
$\Delta L_{10} SQL$	-0.3	-0.6	-0.3

TABLEAU 7 – Delta entre Lden

La comparaison a été étendue sur des intervalles plus courts pour les deux protocoles sur l'ensemble de la période. On peut voir des résultats assez différents entre les deux méthodes. Le fait de perdre des paquets ajoute une défférence de l'ordre de 0.4 dBA. Plus la plage est courte et plus le delta est important : 0.35dBA pour la minute contre 0.1dBA pour la semaine.

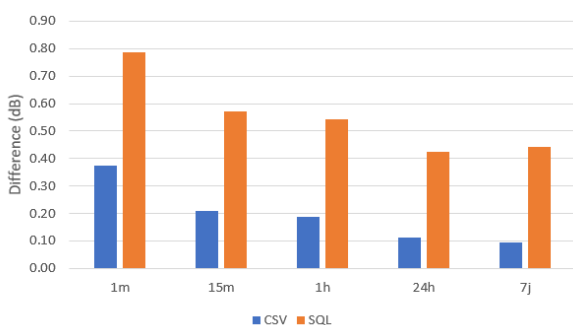


FIGURE 10 – Variation de l'intervalle

## 7 Conclusion

La plateforme PLEMATR est le fruit d'un travail de développement qui permet de répondre à de nouveaux cas d'utilisation de l'observatoire en fédérant un ensemble

de sonomètres IoT et des prototypes bas coût sur un même espace numérique composé d'une base de données PostgreSQL, d'une appli web, d'un ensemble de scripts d'intégration et d'API. Bien que toujours en version expérimentale, l'ensemble est à ce jour stable, personnalisable, évolutif et les protocoles de communications sont maîtrisés. Une amélioration possible est la gestion des paquets de données perdus qui sont à ce jour abandonnées en cas de problème de connexion. Le prototypage de capteurs bas coût à but pédagogique et d'expérimentation a été une expérience très positive et a permis l'acquisition de savoir sur les micro-ordinateurs, les algorithmes de calcul de niveaux de pression acoustique et des protocoles de communication. L'expérimentation terrain a permis de montrer les points positifs et négatifs de ces capteurs. Pour le calcul des Lden annuel, les écarts sont de l'ordre de 0.5dBA après la calibration. Cependant le déploiement long terme a fait apparaitre une dérive annuelle, relative à un étalon de classe 1, de 1 dBA. La calibration annuelle est donc une nécessité. Pour certains montages, le noisefloor lié à la chaine de mesure est nettement plus élevé que celui des sonomètres industriels et des écarts sur le L90 peuvent atteindre 3.7dBA.

## Remerciements

Acoucité remercie les acteurs du projet CENSE pour le partage des connaissances acquises durant leur projet qui a permis ces expérimentations. Merci également à Valentin Le Bescond pour avoir choisi Acoucité pour le test de son prototype du projet SonoMKR.

## Références

- [1] MONICA, a European project focused on the Internet of Things for the acoustic quality and safety of outdoor large scale events for Internoise 2018, 26-29 August 2018.
- [2] <https://learn.pi-supply.com/battery-levels/>
- [3] J. Picaut, A. Can, N. Fortin, J. Ardouin, M. Lagrange, Low-Cost Sensors for Urban Noise Monitoring Networks, *A Literature Review. Sensors* 2020, 20(8), 2256.
- [4] Carlos Ribeiro, Céline Anselme, Fanny Mietlicki, Bruno Vincent, Raphaël DaSilvaand Piotr Gaudibert, At the heart of Harmonica project : the Common Noise Index (CNI), *Internoise 2013, Innsbruck Austria*.
- [5] Bruno Vincent, Vincent Gissinger, Julie Vallet, Fanny Mietlicky, Patricia Champelovier, Sébastien Carra, How to characterize environmental noise closer to people's expectations, *Internoise 2013, Innsbruck Austria*.