

Bilan de la phase pilote de l'Observatoire de l'environnement

0 Contexte

Le Rapport-préavis N° 2020/38 « Vers un Observatoire de l'environnement » a été rédigé en réponse notamment au postulat de M. Vincent Rossi « Monitoring environnemental de Lausanne », qui demandait d'étudier l'opportunité de recourir à un système d'essaim d'appareils de prise de mesures des conditions environnementales ayant pour but de mieux connaître notre environnement urbain et in fine d'améliorer la qualité de vie en ville. Le Rapport-préavis mentionne les quatre groupes d'actions suivants :

1. la mise en place du réseau de mesure test ;
2. les mesures d'information, de sensibilisation, de communication au sujet de la pollution de l'air ;
3. les actions communales « smog hivernal » ;
4. l'évaluation de mesures mises en place.

La proposition était de mettre en place un premier réseau test, pour mesurer certains paramètres environnementaux (air, bruit et température) et évaluer la pertinence de l'application d'actions communales. Cette première phase pilote devait servir à orienter, par la suite, la mise en place de l'Observatoire de l'environnement pour suivre l'évolution de la commune par des indicateurs objectifs et pluridisciplinaires et ainsi répondre à une demande de la population et à des objectifs politiques.

Une étude de faisabilité commandée à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en 2019 a présenté un inventaire critique des micro-capteurs peu coûteux disponibles, ce qui a orienté le développement du réseau pilote de l'Observatoire de l'environnement.

1 Réseau test de mesure des paramètres environnementaux

1.1 Capteurs

Il existe de nombreuses façons de réaliser un réseau de micro-capteurs. En s'appuyant sur la littérature disponible en 2019 et l'étude de faisabilité commandée à l'EPFL, un certain nombre de choix ont été faits au départ du projet qui ont été déterminants pour le réseau de mesure :

- capteurs fixes, i.e. montés sur des supports fixes (mats, réverbères, etc.), par opposition aux capteurs mobiles, montés sur des véhicules. Ils peuvent cependant être déplacés si nécessaire ;
- capteurs autonomes (sans alimentation extérieure) ;
- communication par réseau sans fil LoRa (protocole de communication radio) ;
- mesure des niveaux sonores, de la température et humidité de l'air, de la concentration en particules fines et des concentrations en oxydes d'azote et ozone.

Dans la mesure du possible, une préférence a été donnée aux fournisseurs locaux, notamment dans l'idée de simplifier la communication et le soutien technique. Le réseau a été mis en place par étapes. Il est finalement composé de 44 appareils :



Mesure	Paramètres mesurés	Nombre	Modèle	Fournisseur	Alimentation
Bruit	Leq [dB(A)]	15	Sampols	Orbiwise (Genève)	Piles
Température Humidité	T [°C], H rel. [%]	10	Koala	Koalasense (Fribourg)	Piles
Particules fines	PM2.5, PM10 [mg/m ³]	15	DL-PM	Decentlab (Zürich)	Solaire et batteries
Polluants gazeux	NO, NO ₂ , O ₃ [mg/m ³]	4	DL-AC-001	Decentlab (Zürich)	Piles

1.2 Mise en place du réseau

Les lieux de mesure sont d'abord choisis en fonction de la répartition ou de la densité souhaitée pour le type de capteur, mais finalement, c'est souvent l'existence et la disponibilité d'un site de pose approprié qui dicte la présence ou non d'un capteur localement. La majorité des capteurs sont posés sur des réverbères ou mâts d'éclairage, quelques-uns sur des mâts TL. En l'absence de mâts, quelques capteurs ont pu être posés sur des arbres, mais la croissance des troncs oblige à une surveillance annuelle pour adapter les brides afin de ne pas les abîmer.

Pour les capteurs de particules fines, le site doit en plus être suffisamment ensoleillé, y compris en hiver, pour permettre la recharge des batteries par le panneau solaire.

En juin 2023, un contact a été pris avec le C-FOR ! (centre de formation professionnel des SIL) afin de développer un prototype de boîtier sur mesure pour alimenter nos capteurs depuis les réverbères.

1.3 Validation des données

1.3.1 Bruit

Les résultats de la phase test pour les 15 capteurs de bruit Sampol de l'entreprise Orbiwise SA à Plan-les-Ouates (GE) ont permis de relever plusieurs constats :

- bonne précision pour la mesure des bruits du trafic routier ;
- possibilité de mesurer la baisse de bruit due au 30 km/h de nuit (voir chapitre 4) ;
- possibilité de repérer des bruits de chantiers excessifs (voir ci-après) ;
- possibilité de calculer des indicateurs de confort sonore (comme Harmonica, voir ci-après) ;
- dans la configuration actuelle, impossibilité de repérer des bruits ponctuels comme les avions ou d'identifier un seul véhicule ;
- baisse de précision lors de fortes pluies ;
- remplacement des piles tous les 10 mois.

Le Canton de Genève utilise ces capteurs et prévoit de continuer leur développement ainsi que la collaboration avec Orbiwise pour l'amélioration des outils de visualisation. La Ville de Lausanne pourra profiter de ces développements futurs.

La qualité des données est suffisante et malgré un remplacement de batteries à prévoir régulièrement, il est prévu de conserver ces appareils dans le réseau de mesure. L'analyse des données demande également un travail de traitement pour le nettoyage et la validation des mesures.

On peut encore noter que la configuration des appareils et notamment la prise effective de la mesure du bruit toutes les 15 minutes, ne permet pas de distinguer un bruit tel que le passage d'un avion.

Indice harmonica

L'utilisation d'un indice de bruit pour la publication des mesures permet de simplifier la lecture des niveaux sonores et de s'affranchir de la notion de décibel. L'indice présente les niveaux mesurés sur une échelle de 0 à 10 avec une distinction entre le bruit de fond et les événements sonores ponctuels émergents. La qualité de l'environnement sonore par rapport aux valeurs de référence est indiquée par la couleur de l'indice.

- Test de l'indice européen Harmonica pour représenter la gêne sonore

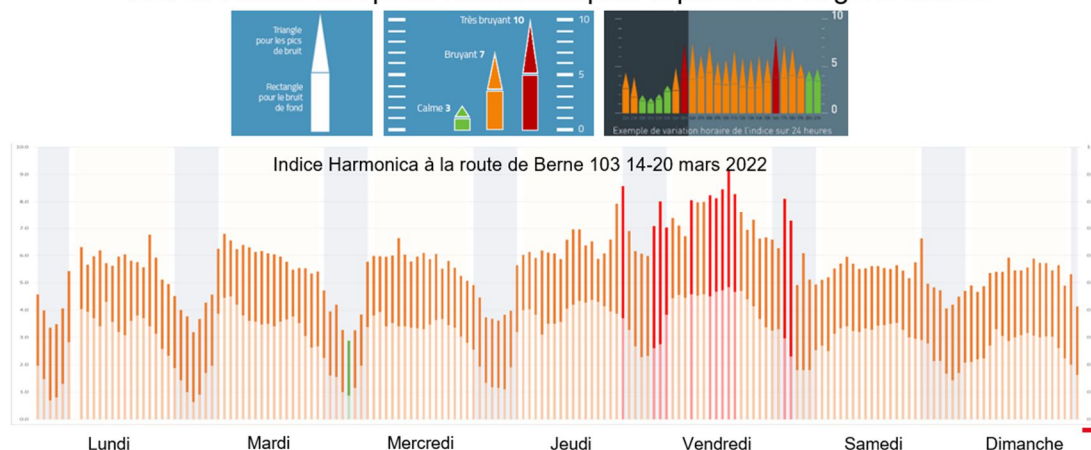


Figure 1 : Indice Harmonica calculé à la rte de Berne à partir des mesures du réseau de la Ville

Bruit de chantier

Fin janvier 2022, le capteur de bruit situé sur le pont Marc-Dufour a enregistré des niveaux sonores très importants durant la nuit (différence de 10 dB par rapport à une nuit « normale »). Ces niveaux sont directement dus aux travaux de piquetage d'une pile de pont liés au chantier de la gare de Lausanne. Cette mesure peut par exemple objectiver la gêne perçue par les voisins et les plaintes exprimées aux CFF et aux services de la Ville.

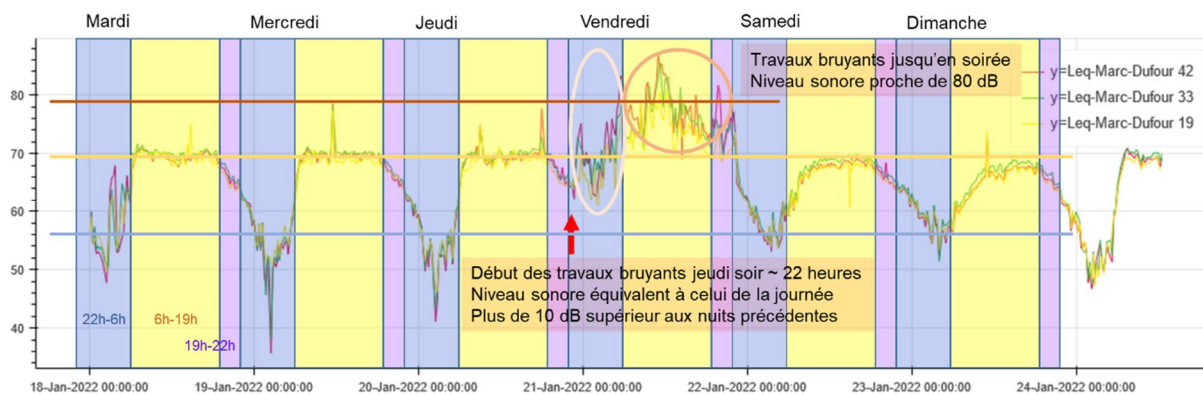


Figure 2 : graphe représentant les mesures des niveaux de bruit en décibels sur 3 points le long de l'avenue Marc-Dufour en janvier 2022

1.3.2 Température

Les 10 capteurs de température Koala de Koalasense Sàrl à La Joux (FR) ont donné des résultats fiables, la technologie de mesure de la température et de l'humidité étant très répandue. Voici les constats :

- bonne qualité des données brutes ;
- possibilité de mettre en évidence des différences selon l'environnement direct des capteurs ;
- ne permet pas à lui seul de quantifier la température ressentie ;
- bonne tenue des batteries, (jusqu'à 2 ans).

Note concernant l'évaluation de la température ressentie

La température ressentie est une notion qui dépend non seulement de la température de l'air, mais également de la vitesse du vent, de l'humidité et du rayonnement thermique. Il existe plusieurs façons de l'évaluer qui dépendent du contexte. Un indicateur de confort thermique couramment utilisé en extérieur est la température physiologique équivalente (PET). Les mesures supplémentaires nécessaires à son évaluation (température radiante et vitesse du vent) sont proposées dans le cadre de la consolidation du réseau.

Effets locaux : altitude et environnement direct

Dans le cadre du réseau test, seules les températures de l'air et de l'humidité relative ont été mesurées, dans le but d'évaluer la capacité des capteurs à fournir des données de qualité suffisante.

Les capteurs ont été répartis du bord du lac au Jorat pour évaluer dans quelle mesure les différences de température dues à l'altitude pouvaient être mesurées. Des variations moyennes de plusieurs degrés ont été mesurées entre Ouchy (375 msm) et les territoires forains (840 msm), ce qui est tout à fait en accord avec l'effet de l'altitude.

D'autre part, cinq capteurs ont été répartis dans des environnements différents aux places de la Riponne et du Tunnel, afin de tester si les capteurs pouvaient détecter des différences de température. En particulier, à la place de la Riponne, trois capteurs sont situés dans des zones minérales, semi-végétalisées ou végétalisées. Ces capteurs ont été capables de mesurer les différences de température liées à l'environnement direct. A la place du Tunnel, les mesures de température ont mis en évidence des déplacements d'air frais en provenance de la forêt de la Borde qui ont ensuite été corroborés par l'étude GeoNET mandatée par l'Unité climat.

Exemple d'indicateur : nuits tropicales

Les nuits tropicales sont définies comme les périodes nocturnes lors desquelles la température ne descend pas en dessous de 20°C. C'est un indicateur classique des effets du réchauffement et/ou de l'îlot de chaleur urbain.

Le test sur les mesures a été fait du 25 mars au 24 août 2022. Les résultats montrent que les capteurs sont capables de montrer l'effet de la végétation (Montoie) et de détecter des différences entre des environnements minéraux exposés au soleil ou ombragés (places de la Riponne et du Tunnel respectivement). Une comparaison avec les mesures à la station MétéoSuisse de Pully montre que les ordres de grandeur mesurés sont corrects.

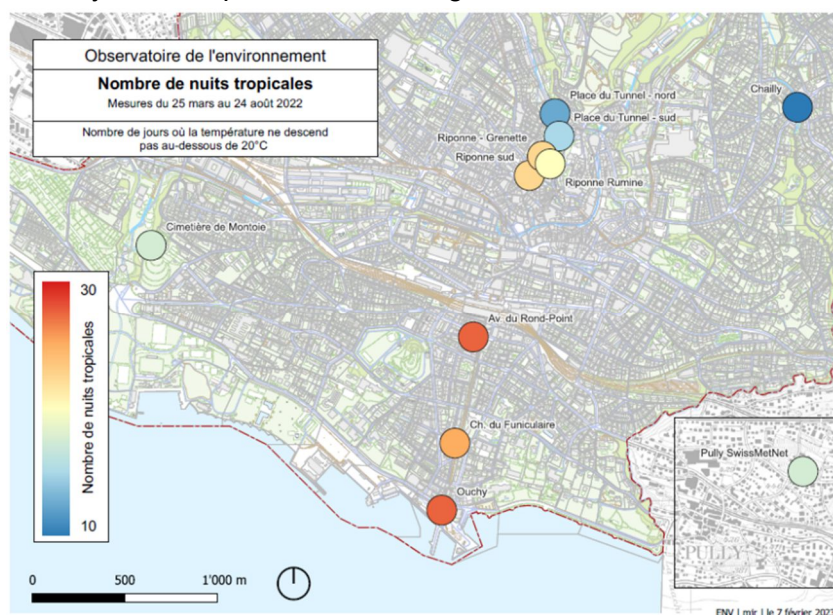


Figure 3: Carte des nuits tropicales basée sur nos données de capteurs

1.3.3 Pollution de l'air - Particules fines

Les données récoltées par les 15 capteurs de particules fines, DL-PM de Decentlab GmbH à Dübendorf (ZH), sont encourageantes :

- bonne adéquation des mesures avec celles des stations de référence (bonne représentation des tendances à la hausse ou à la baisse) ;
- meilleure correspondance en hiver lorsque les concentrations sont plus élevées ;
- influence des conditions météorologiques sur les mesures (par exemple l'humidité relative) ;
- fiabilité proche 90% si on calibre les données selon une étude de l'EPFL ;
- peu de divergence entre capteurs, ce qui montre une bonne robustesse du réseau ;
- importante contrainte due à l'alimentation solaire qui nécessite un site de mesure suffisamment ensoleillé et dont les batteries actuelles ne fonctionnent pas par grand froid.

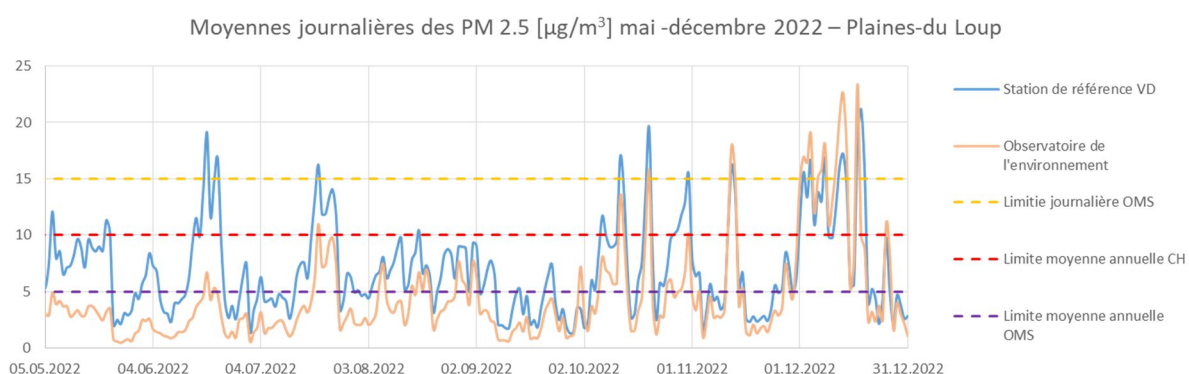


Figure 4 : graphe représentant les données mesurées par notre capteur de particule fine en comparaison avec le capteur officiel du canton

Les Cantons de Bâle et Genève, avec qui des contacts réguliers sont maintenus, reconnaissent également le potentiel de ces micro-capteurs de particules fines surtout dans le cadre d'actions de sensibilisation.

Pour pallier au problème de batterie en hiver, un prototype a été développé avec le C-FOR! qui contient un système automatique qui réchauffe la batterie lorsque la température baisse en dessous d'un seuil critique.

Sciences participatives avec la population :

Le déploiement de ce type de capteur au niveau de la population s'est réalisé et a été appuyé par la Ville de Lausanne via le projet Capt'Air (voir chapitre 2.1) qui réunit, en plus de la Ville, l'UNIL et le FabLab de Renens¹. Ce projet promeut la construction de capteurs à poser au bord de sa fenêtre afin d'impliquer la population sur la thématique de la qualité de l'air extérieur et la sensibiliser sur ses impacts sur la santé.

1.3.4 Pollution de l'air – polluants gazeux

L'analyse des données des 4 capteurs pour les polluants gazeux (NO_2 et O_3) s'est révélée difficile. La qualité de données récoltées est médiocre et donc difficile à exploiter (avec des variations de parfois 100% par rapport à la référence). Selon nos contacts avec d'autres entités utilisant des capteurs similaires (Cantons de Vaud, Bâle et Genève ou l'EMPA), les problèmes rencontrés sont récurrents. De plus, la durée de vie des piles est très limitée (4-6 mois) et les capteurs eux-mêmes seraient à renouveler chaque année entraînant des frais conséquents.

¹ <https://participer.lausanne.ch/processes/captair>

En l'état actuel, les ressources financières et humaines à engager sont disproportionnés par rapport à la qualité et l'utilité des résultats obtenus. De plus :

- le territoire communal abrite déjà 48 capteurs passifs de NO₂ appartenant au réseau cantonal, ce qui permet déjà d'évaluer sa répartition spatiale ;
- la mesure de l'ozone ne nécessite pas une grande résolution spatiale, comme polluant secondaire, ses concentrations sont beaucoup plus homogènes spatialement ;
- la mesure des particules fines montre une bonne représentativité de la pollution locale et les valeurs limites des PM10 et PM2.5 sont moins bien respectées que celles du NO₂ ;
- les émissions de NO₂ des véhicules électriques sont nulles, contrairement à leurs émissions de PM (usure des pneus et des freins).

Ainsi, il est décidé de renoncer à utiliser ce type de capteurs tant que la technologie ne permet pas d'obtenir des résultats suffisamment fiables pour un déploiement satisfaisant en ville.

2 Mesures d'information, de sensibilisation et de communication (pollution de l'air)

2.1 Projet Capt'Air (questionnaire, conférence, ateliers)

Fin 2022, l'Eprouvette (UNIL), le FabLab de Renens, Unisanté et le Bureau du climat et de la durabilité ont remporté un appel d'offre Interact pour le projet « Capt'air Lausanne », avec à la clé une enveloppe de CHF 20'000.-. Ce projet propose une démarche participative en plusieurs volets permettant à la population d'enrichir ses connaissances et d'avoir un rôle actif dans la thématique de la qualité de l'air :

- consultation de la population via un questionnaire en ligne du 15 mai au 15 juillet 2023 accompagné d'un plan de communication comprenant plusieurs newsletters, les réseaux sociaux et les pages internet et intranet de la Ville. Le questionnaire de 14 questions été rempli par 292 personnes ;
- workshop de « design thinking » sur une interface de visualisation de données de qualité de l'air avec Unisanté, le FabLab de Renens, l'UNIL, la Ville de Lausanne et la population ;
- conférence « En quête d'air pur » le 13 septembre 2023, pour découvrir les liens entre qualité de l'air et santé, avec les contributions de Mme Natacha Litzistorf, conseillère municipale, Mme Adeline Niquille, cheffe de section à la DGE, M. Jean-Jacques Sauvain, chercheur à Unisanté et Mme Séverine Trouilloud, médiatrice scientifique à l'UNIL. Une soixantaine de personnes se sont déplacées pour assister à cette conférence ;
- ateliers de construction de capteurs de particules fines dans les quartiers et à l'UNIL, avec cinq rencontres pour la mobilisation du public, cinq ateliers de construction de micro-capteurs et autant de séances de suivi pour la sensibilisation aux mesures, ainsi que la participation à la semaine thématique sur l'air au terrain d'aventure de Malley.



Une campagne de communication conjointe avec l'UNIL a également accompagné toutes les phases du projet afin d'assurer la mobilisation de la population.



2.2 Campagne de communication sur la qualité de l'air

En 2023, le Bureau du climat et de la durabilité a donné un mandat de communication dont les principaux objectifs sont de sensibiliser le grand public à la problématique de la qualité de l'air et de mettre en avant les actions entreprises par la Ville pour la préserver et l'améliorer.

Pour atteindre ces objectifs, trois fiches informatives ont été rédigées, chacune portant sur des aspects spécifiques liés à la qualité de l'air. Ces fiches, disponibles sur le site internet de la Ville², ont ensuite été déclinées pour créer des visuels pour les réseaux sociaux et les écrans dans les bus TL.

La première fiche, parue fin 2023, est axée sur la thématique générale de la qualité de l'air, en fournissant des informations essentielles sur les sources de pollution, les effets sur la santé et l'environnement, ainsi que des conseils pratiques pour agir individuellement.

La deuxième fiche, qui se concentre sur la pollution hivernale, est sortie début 2024. Elle est principalement axée sur la question des particules fines, qui sont particulièrement problématiques durant la saison froide. Les risques pour la santé sont présentés et des solutions sont proposées en réduire les impacts.

Quant à la troisième fiche, elle aborde spécifiquement la pollution estivale, en mettant l'accent sur la pollution à l'ozone ainsi que sur les mesures que la population peut prendre pour s'en protéger et minimiser leur impact environnemental. Elle est parue au printemps 2024.

En adoptant un langage clair et accessible, la stratégie de communication vise à toucher un large public, de manière à permettre à chacun de comprendre l'importance de la qualité de l'air et de son influence sur notre quotidien. Le but est notamment une prise de conscience collective et d'inspirer l'action individuelle et communautaire pour contribuer à préserver notre environnement et la santé de notre population. Cette initiative démontre l'engagement actif de la Ville dans la lutte contre la pollution de l'air et le rôle essentiel que chaque individu peut jouer.

3 Les actions communales « smog hivernal »

La problématique de l'impact sur la santé de la qualité de l'air n'est plus à démontrer. Il s'agit également d'une préoccupation soulevée dans le Rapport-préavis N° 2020/38 « Vers un Observatoire de l'environnement » – pour contribuer à promouvoir la santé de la population et à lutter contre les changements climatiques qui propose un plan d'actions communales en cas de pics de pollution.

Entré en vigueur fin 2023, le plan d'action communal en cas de pics de pollution hivernale défini par la Municipalité s'ajoute aux actions cantonales. Selon le degré de dépassement des deux seuils de concentration de poussières fines définis par l'arrêté cantonal ACEP du 20 décembre 2017³, la Ville entreprend les actions suivantes :

- encouragement au télétravail et limitation de l'utilisation des véhicules à moteur thermique pour le personnel communal ;
- nettoyage intensifié des routes et limitation des travaux émetteurs de poussières sur les chantiers communaux.

4 Evaluation des mesures mises en place

Le réseau de mesures montre un bon potentiel pour évaluer les effets d'actions communales sur la température ou le bruit. L'exemple ci-dessous montre le détail du calcul pour la diminution des nuisances sonores due à la limitation à 30 km/h de nuit.

² <https://www.lausanne.ch/portrait/carte-identite/environnement/qualite-de-l-air.html>

³ [Arrêté 800.01.6 relatif au plan d'action cantonal en cas de concentrations excessives de poussières fines \(PM-10\)](#)

Evaluation de l'effet du 30 km/h de nuit sur le bruit du trafic routier

L'avenue du Léman est limitée à 30 km/h de nuit sur presque toute sa longueur, mais la limitation prend fin avant la limite communale de Pully. Entre l'avenue de Rumine et Pully se trouvent donc deux secteurs de gabarit et conditions de trafic homogènes où seule la vitesse de nuit est différente. En mesurant les niveaux sonores simultanément sur les deux secteurs, il est possible d'estimer le gain apporté par le passage de 50 à 30 km/h de nuit.

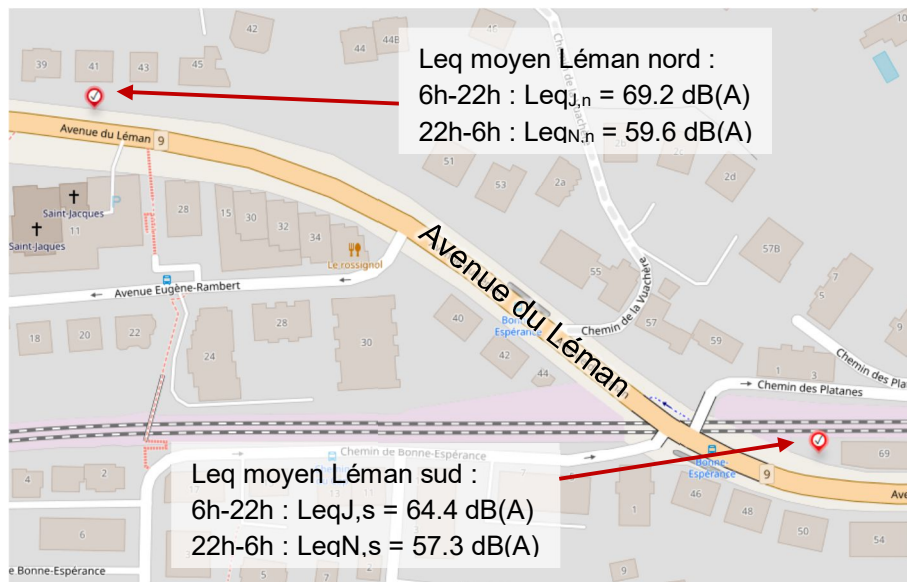


Figure 7 : plan de situation des deux points de mesures des niveaux sonores le long de l'avenue du Léman

Les conditions de mesure étant différentes pour les deux microphones (distance à l'axe de la route, hauteur, réflexions), un calcul est nécessaire pour s'affranchir de cette différence de positionnement.

Pour que l'effet du 30 km/h de nuit puisse être estimé, les conditions de circulation (sauf la vitesse de nuit) sont considérées comme constantes sur tout le tronçon étudié.

Le capteur nord est plus proche de l'axe de la route et la présence d'un important mur de soutènement provoque des réflexions qui augmentent le niveau sonore mesuré. Cet effet du positionnement est identique le jour et la nuit.

De jour, les conditions de circulation étant identiques sur tout le tronçon, on peut estimer l'effet du positionnement des capteurs (E_p) en calculant la différence entre les niveaux sonores mesurés (Leq) :

$$E_p = Leq_{J,n} - Leq_{J,s}$$

De nuit, l'effet de la diminution de vitesse à 30 km/h (E_{30}) s'ajoute à celui du positionnement des capteurs. La différence de niveau sonore est donc :

$$Diff_{Nuit} = Leq_{N,n} - Leq_{N,s} = E_p + E_{30}$$

L'effet de la diminution de la vitesse de 50 à 30 km/h de nuit peut donc être estimé avec :

$$E_{30} = Diff_{Nuit} - E_p = Leq_{N,n} - Leq_{N,s} - (Leq_{J,n} - Leq_{J,s})$$

Avec les niveaux mesurés, l'effet du 30 km/h de nuit à l'avenue du Léman est donc estimé à :

Selon les mesures de l'observatoire à l'avenue du Léman, le gain obtenu grâce à la limitation à 30 km/h de nuit est donc de 2.5 dB. Cette valeur correspond à l'ordre de grandeur mesuré lors du test du 30 km/h de nuit sur les avenues Vinet et Beaulieu en 2017.

Cet exemple démontre que ces capteurs permettent de mesurer l'impact sur le bruit des actions entreprises par la Ville sur le terrain.



5 Perspectives

Les conclusions de la phase pilote de la mise en place d'un Observatoire de l'environnement sont encourageantes et valident la volonté d'établir cet outil. Les prochaines étapes essentielles concernent la visualisation et l'analyse des données récoltées. En effet, actuellement, les données sont réparties chez leurs fournisseurs respectifs, ce qui complique leur analyse et allonge le temps nécessaire à leur traitement. Pour résoudre ce problème, la création d'une base de données agile centralisée avec le soutien d'experts internes et externes est nécessaire. Ce projet est en cours en avec le Service d'organisation et d'informatique (SOI).

Le traitement des données, permettra également d'assurer la qualité des données avant de les mettre à disposition des services et/ou de la population. En parallèle, de nouveaux indicateurs environnementaux devront être créés sur la base des données de l'observatoire et des données existantes. Pour mener à bien ces projets, les partenariats internes et externes doivent être consolidés notamment à travers le groupe de travail interservices.