

Mesure des environnements sonores : évaluation d'une méthode alternative de calibration des applications sonométriques pour smartphones

Auteurs : Classe de 1^{ère} STL 2018/2019 du lycée Alcide d'Orbigny à Bouaye (par ordre alphabétique) :

AUBERT Yoann ; BEILLEVAIRE Andy ; BETARD Juliette ; BLIN Romane ; BOUTON Thomas ; CHEILLAN Julie ; COURBE Gaétan ; GERON Nicolas ; GILBERT Tifène ; HUMBERT Jeanne ; HUGO Malo ; JARRIER Fanny ; LE LOUET Eluan ; LE PEN Jérémy ; LORET Pierre ; PADIOU Théo ; PICHON Lucas ; PIPAUD Evans ; REDOIS Mattéo ; ROGER Anna ; RONDEAU Cloé ; ROUGEGREZ Elise ; SALLE Typhenn ; SIKA Jeanne ; SOCQUET Yann ; TREPOS Hugo ; TRIBALLIER Enzo.

Mots clés : environnement sonore, sonomètre, smartphone, son de référence, calibration, mesure, modèle, protocole

1. Introduction et problématique

Des milliers de sons nous entourent au quotidien, des insectes aux moyens de transports sans oublier les activités humaines. Ils ont des impacts sur la santé, sur l'ambiance d'un endroit et sur la manière de l'aménager. A niveau trop élevé, l'accumulation de ces sons peut altérer nos oreilles et les détruire peu à peu. En effet, lorsque l'on écoute à haut volume pendant une longue durée (en particulier des sons à hautes fréquences), les ondes sonores endommagent certaines cellules ciliées. Ces cellules sont des petits cils, situés dans l'oreille, qui permettent de transformer le son en un message nerveux qui est transféré au cerveau. Pouvoir mesurer cet environnement sonore peut donc s'avérer utile, dans un but à la fois de sensibilisation et de prévention.

Pour mesurer le plus précisément possible des niveaux sonores, différentes catégories de sonomètres peuvent être utilisées :

- les sonomètres professionnels : ils sont très prisés par les chercheurs pour leurs excellentes qualités et leurs petits taux d'erreurs. Le frein à leur développement est leur prix, de plusieurs milliers d'euros ;
- les capteurs « bas coût » (une centaine d'euros): ils sont très biens pour effectuer des mesures sur des grands espaces comme des quartiers ou des villes (certaines villes partout dans le monde s'équipent ainsi actuellement de grands réseaux acoustiques, comme pour la pollution de l'air) mais, malheureusement, ils sont moins précis.

Afin de pouvoir caractériser notre environnement sonore sans avoir recours à ces capteurs professionnels (ou même « bas coût »), les chercheurs de l'IFSTTAR en collaboration avec le CNRS ont créé une application pour Smartphone (« *NoiseCapture*¹ ») permettant à chacun de se tenir informé de l'environnement sonore qu'il l'entoure. La Figure 1 ci-dessous en présente 4 copies d'écran.

¹ <http://noise-planet.org/noisecapture.html>

² <https://www.youtube.com/watch?v=YjbGWkoqllQ>

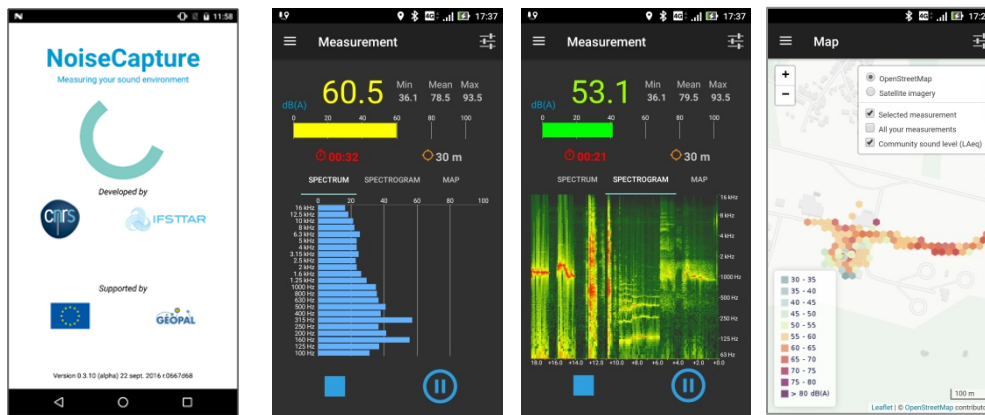


Figure 1 : exemples de copie d'écran depuis l'application NoiseCapture (source : <http://noise-planet.org/noisecapture.html>)

Toutefois, les mesures effectuées en extérieur avec cette application peuvent s'avérer très différentes suivant les conditions de mesure et selon le téléphone utilisé, par exemple. Le facteur le plus important est le fait que le smartphone ait été *calibré* ou non. En effet, comme tout instrument de mesure (thermomètre, anémomètre, etc.), quelques tests préalables sont nécessaires (idéalement réalisés en laboratoire, au Laboratoire National de métrologie et d'Essais – LNE – par exemple) afin de corriger le *biais* (c'est-à-dire la moyenne des écarts) par rapport à une mesure de *référence*, réalisée (souvent plusieurs fois) avec un appareil de référence ou en présence d'une « source étalon ».

Trouver une méthode simple et opérationnelle de *calibration* est donc d'un grand intérêt et constitue encore à ce jour un réel verrou scientifique. L'application *NoiseCapture* propose déjà une solution simplifiée de calibration à l'aide d'une technologie de communication par signal audio. Un smartphone déjà calibré et qui comporte un microphone externe envoie un signal audio à tous les smartphones non calibrés que l'on aura placé préalablement à proximité. Il leur indique le niveau sonore mesuré durant quelques secondes. Ainsi, chacun des téléphones peut corriger le biais sur les prochaines mesures.

Lorsqu'un instrument de référence n'est pas disponible, d'autres méthodes doivent être envisagées. Par exemple, des étudiants suisses se sont prêtés au jeu en cherchant un bruit de référence accessible à chacun. Ils ont alors choisi une boîte métallique fermée contenant des pièces métalliques à secouer sur un rythme précis (120 bpm) pour étalonner leur téléphone en tant que sonomètre². Cependant, cette méthode pose quelques questions sur la mise en place et la répétabilité de la procédure.

Nous avons fait plusieurs propositions de protocoles. Par exemple, l'utilisation d'un diapason comme son de référence, mais il est difficile de s'assurer précisément de la répétabilité en fonction de la force de frappe. Nous avons aussi pensé au clic d'un stylo 4 couleurs, assez répétable, mais c'est un bruit de type « impulsion » difficile à mesurer. Nous avons finalement choisi le son du passage de voitures comme son de référence car cette source sonore est accessible à tout le monde et perdure. En plus, grâce aux connaissances acquises par l'IFSTTAR sur cette thématique, des modèles assez

² <https://www.youtube.com/watch?v=YjbGWkoqllQ>

simples existent et peuvent alors être utilisés pour comparer les niveaux de pression sonore mesurés avec des mesures du bruit routier sur le terrain.

De nombreuses recherches ont été menées à l'UMRAE ces dernières années, notamment sur les caractéristiques du bruit routier. Ces caractéristiques permettent ainsi d'obtenir un son de référence, en se basant sur le niveau sonore modélisé produit par les voitures en fonction du nombre de passages, de la vitesse moyenne, du type de revêtement de la route (bitume, ciment, etc.), de son état (route sèche, par exemple), de son âge, de son inclinaison (montée/descente), etc. Le principe consiste alors à considérer le niveau sonore calculé comme source de référence, puis de le comparer aux mesures réalisées sur le terrain à l'aide de nos smartphones, la différence constituant alors le biais lié à la calibration nécessaire de chacun des smartphones.

Dans le cadre du passeport recherche, nous, élèves de la classe de première STL (Sciences et Technologies de Laboratoire) du lycée Alcide D'orbigny (Bouaye, 44) avons cherché à valider cette méthode de calibrage en effectuant des mesures liées à l'acoustique environnementale. La rencontre avec les chercheurs de l'IFSTTAR (Benoit GAUVREAU et Pierre AUMOND) a permis l'accès à différentes informations, sous forme de cours et d'ateliers (Figure 2).



Figure 2 : illustrations de nos ateliers de travail en « acoustique environnementale »

Lors de ces ateliers, une expérience préalable à l'aide de l'application *NoiseCapture* a été effectuée et a permis de montrer que les valeurs des niveaux sonores étaient très variables selon les téléphones. Nous avons d'abord enregistré un son de référence (émis par une enceinte mobile en connexion Bluetooth en classe, voir photos sur la Figure 2) avec nos téléphones et avec un sonomètre (référence) et nous avons pu observer avec les 13 téléphones utilisés une erreur systématique de $\sim 10 \text{ dB(A)}$ et une dispersion de 5.1 dB(A) ! Ainsi, nous en sommes venus à nous demander : "Comment calibrer nos téléphones pour obtenir des valeurs de niveaux sonores fiables et identiques quel que soit le Smartphone utilisé ?"

2. Alors, comment faire ?

Les caractéristiques du bruit routier étant bien connues de l'UMRAE à l'IFSTTAR, celles-ci ont été utilisées comme « son théorique » de référence pour calibrer nos smartphones équipés de l'application *NoiseCapture*. Ainsi, les différents facteurs pouvant influencer les résultats lors de mesures en bord de route ont été répertoriés :

- Catégorie de véhicule et leur nombre ;
- Vitesse des véhicules (estimée et limitation) ;
- Le nombre de voies, la pente de la route ainsi que son état ;

- La météo ;
- La distance à la route ;
- Les autres sources sonores en présence (parasites) pendant la campagne de mesures.

On a ensuite utilisé le modèle de bruit de trafic routier standard que l'on appelle Cnossos-EU pour calculer le niveau sonore théorique. Ce modèle fait l'hypothèse (vérifiée/validée sur la base de précédentes campagnes de mesures) que le bruit routier est principalement dû au bruit de contact pneu-chaussée (on parle de « bruit de roulement ») dès que la vitesse est supérieure à 40 km/h environ, et principalement dû au bruit du moteur en-dessous de cette vitesse.

Pour obtenir le niveau sonore théorique, on a utilisé les paramètres par défaut de ce modèle, sauf pour les données auxquelles nous avons accès sur le terrain, estimées/relevées en parallèle des mesures acoustiques, à savoir :

- les valeurs de comptage du nombre (et du type) de véhicules pendant la durée de la mesure acoustique ;
- la hauteur de mesure (environ 1.2m) et la distance à la route (environ 1m dans notre cas) ;
- la vitesse (moyenne) des véhicules, estimée et comparée à celle réglementaire (limitation) ;
- le type de revêtement.

3. Proposition collective d'un protocole expérimental

Suite à des discussions entre chercheurs, élèves et professeurs pour obtenir des résultats exploitables dans le temps imparti, un protocole expérimental rassemblant les différents paramètres a été mis au point afin d'obtenir des mesures et des relevés les plus précis possibles : 6 groupes ont été constitués pour les mesures, dans le but d'avoir un nombre important de résultats sur 5 points de mesures différents (Figure 3). Ces points de mesure ont été choisis à distance de ralentisseurs de façon à mesurer du bruit de roulement le plus fluide possible (vitesse stabilisée, sans accélération ou décélération importantes) et de façon à respecter les règles de sécurité. Nous avons aussi pris en compte les différents aléas (travaux, météo).

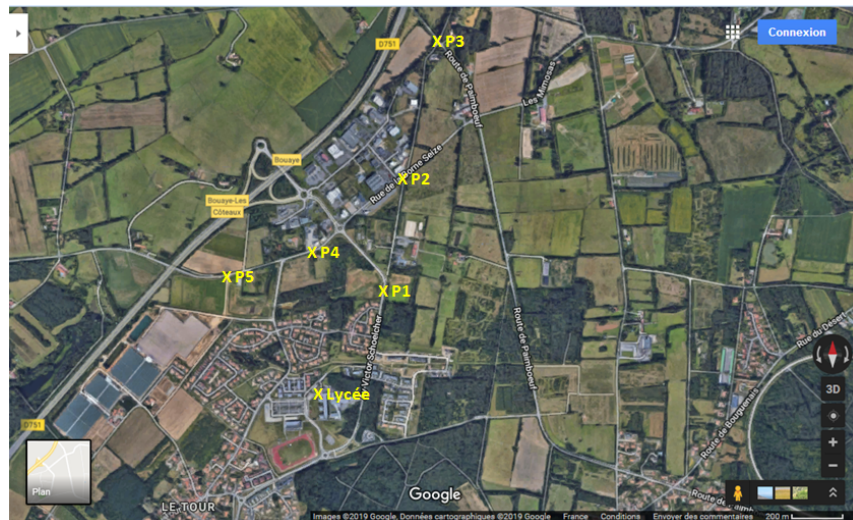


Figure 3 : illustrations des mesures de niveaux sonores sur le terrain, en 5 points autour du lycée Alcide d'Orbigny à Bouaye, 44

Sur chacun des points, les opérateurs se sont placés à une distance d'environ 1m par rapport à la route. Par groupe, un seul téléphone était équipé d'un micro externe préalablement calibré avec une source étalon, les autres téléphones n'étant pas calibrés. Ainsi, les résultats des mesures peuvent être comparés entre les téléphones de référence calibrés et les téléphones non calibrés (ainsi que, pour un seul groupe, avec le sonomètre professionnel de référence).

Sur chaque point de mesure, les niveaux sonores d'au minimum quinze passages de voitures en un temps donné de dix minutes ont été ainsi évalués *via* l'application *NoiseCapture*. Les différentes acquisitions effectuées sur le terrain ont été transmises *via* l'application *NoiseCapture* afin que les résultats puissent être sauvegardés puis ensuite analysés.

Quelques exemples de résultats de niveaux sonores mesurés sur le terrain pendant la campagne expérimentale sont donnés sur la Figure 4 et sont consultables sur www.noise-planet.org.



Figure 4 : exemples de niveaux sonores mesurés sur le terrain pendant la campagne expérimentale
(source : www.noise-planet.org)

4. Discussion et analyse des résultats

Dans un premier temps, dans le groupe avec un sonomètre professionnel, nous avons vérifié que la mesure par le microphone externe était très proche de la mesure par sonomètre : moins de 1.5 dB(A) de différence. Nos microphones externes pourront donc bien servir de valeur de référence.

Puis, la différence entre les téléphones équipés d'un microphone externe et les téléphones non calibrés a pu être déterminée : une erreur systématique de $6,3 \text{ dB(A)}$ et une dispersion de $7,7 \text{ dB(A)}$ qui montre la grande variabilité entre les téléphones et l'erreur importante qui peut être faite sans calibration, comme ce que l'on avait observé lors de l'atelier de mesures réalisé en salle de classe (cf Figure 2).

Ensuite, pour chacun des points de mesures, une valeur de niveau sonore est obtenue à l'aide de la méthode de calcul CNOSSOS-EU. Une différence entre le relevé de chacune des mesures non-calibrés et le modèle théorique peut donc être relevé. Pour chacun des téléphones, la différence moyenne sur l'ensemble des 5 points de mesures est appliquée comme valeur de calibration.

Enfin, on compare de nouveau les mesures réalisées sur le terrain entre les téléphones avec microphone externe et les autres téléphones une fois calibrés à l'aide de la méthode proposée. L'erreur systématique est maintenant de $-2,3 \text{ dB(A)}$ avec une dispersion de $3,4 \text{ dB(A)}$.

Ces résultats ont donc permis d'estimer l'erreur systématique maximale (biais) que l'on peut attendre des mesures réalisées sur le terrain à l'aide d'un smartphone équipé de l'application *NoiseCapture*, avant ET après leur calibration par une méthode de calcul. Au vu de ces premiers résultats, le protocole expérimental ainsi que la procédure de calibration de l'ensemble

[smartphone+application] semble prometteuse ; de prochaines campagnes expérimentales devront être menées afin de confirmer ces tendances, selon un protocole expérimental qui reste ouvert et perfectible.

5. Conclusion

Cette méthode nous a permis d'obtenir des mesures – à l'aide d'un smartphone – plus proches des résultats de référence issus d'un sonomètre professionnel, en utilisant une méthode de calibration qui peut être appliquée par tous, sans besoin de matériel spécifique et partout sur la planète en se positionnant au bord de la route pendant 15 min en 5 différent points, compter les véhicules et estimer leurs vitesses.

Le 21 mai 2019, nous avons participé à la journée de restitution du passeport recherche qui se déroulait à la faculté des sciences d'Angers. Ainsi, afin de partager nos travaux de recherche, nous avons tenu un stand autour d'activités ludiques : quizz sur l'acoustique, frise avec des niveaux de pression sonore, posters et diaporama. Une partie de la classe a présenté notre projet sur le thème de l'acoustique environnementale en amphithéâtre devant des lycéens, leurs enseignants et quelques chercheurs. A la fin de cette présentation, nous avons répondu à des questions telles que : « Que vous a apporté ce projet ? ». Ce à quoi nous avons répondu que cette expérience positive nous a permis d'entrer dans le monde de la recherche de façon ludique et pédagogique ainsi que de découvrir le métier de chercheur.