



**HAL**  
open science

## NoiseCapture : une démarche Open Science pour la production collaborative de cartes de bruit à l'aide de smartphones

Judicaël Picaut, Nicolas Fortin, Pierre Aumond, Erwan Bocher, Gwendall Petit, Gwenaël Guillaume

### ► To cite this version:

Judicaël Picaut, Nicolas Fortin, Pierre Aumond, Erwan Bocher, Gwendall Petit, et al.. NoiseCapture : une démarche Open Science pour la production collaborative de cartes de bruit à l'aide de smartphones. *Acoustique et Techniques*: trimestriel d'information des professionnels de l'acoustique, 2017, 86-87, pp.37-46. hal-01713254

**HAL Id: hal-01713254**

**<https://hal.science/hal-01713254v1>**

Submitted on 20 Feb 2018

**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.

# NoiseCapture : une démarche Open Science pour la production collaborative de cartes de bruit à l'aide de smartphones

**Judicaël Picaut, Nicolas Fortin, Pierre Aumond**

Ifsttar, AME, LAE, Route de Bouaye, CS4, 44341 Bouguenais

**Erwan Bocher, Gwendall Petit**

Lab-STICC CNRS UMR 6285, Université de Bretagne Sud, IUT de Vannes, 8, Rue Montaigne, BP 561, 56017 Vannes Cedex

**Gwenaël Guillaume**

CEREMA, DTer Est, Groupe Acoustique, 11 rue Jean Mentelin, 67035 Strasbourg Cedex

## *Résumé*

Le projet NoiseCapture s'inscrit dans une démarche globale Open Science (appelée Noise-Planet) portée par l'Ifsttar et le CNRS, pour le développement d'outils pour l'évaluation de l'environnement sonore. Ce projet s'intéresse plus particulièrement à la mise en œuvre d'une approche collaborative pour la production de données avec des smartphones afin, à terme, de proposer une méthode alternative d'évaluation de l'environnement sonore. À cet effet, une application Android et une infrastructure de données spatiales ont été développées spécifiquement. L'ensemble permet aujourd'hui de collecter des données physiques (mesures acoustiques, positions GPS...) et perceptives (agrément de l'environnement sonore), sans limite de territoire, tout en respectant la vie privée des contributeurs. Les données collectées sont librement accessibles, notamment par la communauté scientifique qui souhaiterait développer de nouveaux outils pour l'évaluation et la représentation des environnements sonores. En particulier, l'un des enjeux sera d'extraire de ces données –d'une qualité moindre compte-tenu de l'approche mise en œuvre et des limitations métrologiques des smartphones–, des informations pertinentes pour la gestion de l'environnement sonore.

## *Mots-clés*

Cartographie sonore ; approche collaborative ; smartphone.

## **1 INTRODUCTION**

---

Le bruit constitue une nuisance environnementale, avec des effets sur la santé qui peuvent parfois être importants (Muzet et al. 2013; Fritschi et al. 2011). Plus globalement, les nuisances sonores ont un impact, non seulement sur l'homme mais également sur la plupart des espèces animales qui peuplent les territoires (Shannon et al. 2014; Newport, Shorthouse, et Manning 2014). La lutte contre le bruit constitue donc un enjeu important, largement soutenu par les réglementations nationales des pays développés. C'est par exemple le cas en Europe, où la directive Européenne 2002/49/CE impose aux agglomérations de plus de 100 000 habitants de procéder à la réalisation de cartes de bruit, d'établir des plans d'action pour en limiter l'impact, mais également de communiquer auprès des citoyens sur la qualité de leur environnement sonore.

De manière classique, les cartes de bruit sont généralement produites grâce par une modélisation basée sur des modèles de sources sonores et de propagation acoustique, comme avec la NMPB en France (Dutilleux et al. 2010). Si cette approche permet d'obtenir un aperçu de l'environnement sonore, elle reste très limitée pour plusieurs raisons : les sources sonores prises en compte sont limitées aux sources de transport ; les modèles d'émission acoustique sont très simplifiés (par exemple, le trafic routier urbain est considéré comme

constant sur un tronçon routier, sans prendre la dynamique de trafic et donc du bruit (Can et al. 2010)) ; les modèles de propagation reposent sur des approximations (par exemple, la prise en compte des effets micro-météorologiques considérés dans l'approche NMPB n'est *a priori* pas pertinente en milieu urbain (Guillaume et al. 2012)) ; l'approche étant exclusivement numérique, elle nécessite des temps de calculs importants à l'échelle d'une agglomération ; les données d'entrée des modèles sont souvent incomplètes (par exemple, la nature des sols est choisie arbitrairement, à défaut d'information)... Toutes ces limitations ont pour conséquence un manque de réalisme des cartes de bruit réglementaires. Par ailleurs, la question de l'évaluation de la perception de l'environnement sonore par les usagers reste posée puisque ces cartes de bruit ainsi modélisées n'intègrent pas cette composante.

L'autre approche autorisée par la directive Européenne repose sur la production de cartes de bruit par la mesure. Toutefois, compte tenu du nombre considérable de points de mesure qu'il aurait fallu considérer à l'échelle d'une agglomération<sup>1</sup>, cette solution a été écartée dès l'origine. Toutefois, aujourd'hui, avec le nombre très croissant d'utilisateurs de smartphones<sup>2</sup> et compte-tenu de leurs « capacités » métrologiques, il est devenu possible d'envisager la conception d'un réseau d'observation du bruit, extrêmement dense, spatialement et temporellement. Cette approche permet ainsi de produire des cartes de bruit plus réalistes, *i.e.* intégrant l'intégralité des sources sonores mises en jeu et leur dynamique temporelle, et sans autres limitations que celles liées à la métrologie et au protocole de mesure. C'est ainsi que plusieurs initiatives ont vu le jour ces 10 dernières années et ont montré la pertinence de l'approche, malgré la moindre qualité des mesures acoustiques (D'Hondt, Stevens, et Jacobs 2013; Zuo et al. 2016). Il est également important de préciser l'aspect « collaboratif » et « informatif » d'une telle approche, qui permet potentiellement aux citoyens/utilisateurs, d'une part, d'avoir un retour d'information sur leur propre environnement sonore et, d'autre part, de contribuer à une démarche citoyenne et scientifique. Pour l'instant, ces approches sont toutefois restées de l'ordre de l'expérimentation et peu ont réellement débouché sur un système opérationnel. La question de la qualification de la donnée produite est sans doute encore un frein ; il est en effet « facile » de produire de la donnée, mais il est plus difficile d'en extraire une information pertinente.

L'approche « NoiseCapture », du nom de l'application pour smartphone qui a été développée et que nous détaillons ici, s'inscrit donc dans cette démarche, avec toutefois des caractéristiques propres :

- une « critique » métrologique de la mesure acoustique avec un smartphone,
- le respect de la vie privée des contributeurs,
- la pérennité du projet,
- et, à terme, la qualification de la donnée produite.

Par ailleurs, cette approche s'inscrit dans une démarche « Open Science », ce qui se traduit par une transparence totale sur les outils développés, par le libre accès aux données produites, ainsi que par l'utilisation de standards de données « Open » (*i.e.* ouvert, libre).

Plus globalement, l'objectif du projet est de proposer une méthodologie de production de données acoustiques (*i.e.* des indicateurs acoustiques mesurés à l'aide d'un smartphone, *cf.* section 2 de cet article), une infrastructure de données spatiales permettant de manipuler et représenter les données (*cf.* section 3),

---

<sup>1</sup> Les observatoires du bruit, tels qu'ils existent aujourd'hui dans plusieurs agglomérations, ont une grande utilité du point de vue de l'évaluation de l'environnement sonore, mais ne disposent pas d'un nombre de points de mesure compatible avec la production de cartes de bruit suffisamment détaillées.

<sup>2</sup> En France, en 2015, 58% de la population est équipée d'un smartphone, dont 90% et 78% respectivement pour les 18-24 ans et 25-39 ans. Source : Baromètre du Numérique, édition 2015. [https://www.arcep.fr/uploads/tx\\_gspublication/CREDOC-Rapport-enquete-diffusion-TIC-France\\_CGE-ARCEP\\_nov2015.pdf](https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/CREDOC-Rapport-enquete-diffusion-TIC-France_CGE-ARCEP_nov2015.pdf)

et, *in fine*, des procédures de traitement et de qualification des données permettant d'obtenir des cartes de bruit pertinentes et représentatives de la qualité de l'environnement sonore urbain.

## 2 APPLICATION NOISECAPTURE

---

### 2.1 DESCRIPTIF DE L'APPLICATION

L'approche repose sur l'utilisation d'un smartphone pour réaliser une mesure acoustique synchronisée avec le déplacement d'un contributeur dans l'espace (*i.e.* une mesure géo-référencée). En pratique, le contributeur :

1. démarre une mesure sur son smartphone ;
2. se déplace le long d'un trajet libre ;
3. stoppe la mesure au bout d'un certain temps ;
4. puis complète, s'il le souhaite, la mesure par quelques informations complémentaires.

Certaines informations sont ensuite envoyées<sup>3</sup> vers un serveur externe qui se charge d'agréger l'ensemble des mesures produites par la communauté de contributeurs. De son côté, l'utilisateur peut accéder, depuis son smartphone, à des indicateurs acoustiques et à des représentations cartographiques.

L'application NoiseCapture, développée sous Android<sup>4</sup>, propose plusieurs fonctionnalités :

- La vue « Mesure » (Figure 1) prend la forme d'un affichage de type sonométrique et présente des indicateurs de niveau sonore usuels (niveaux sonores équivalents pondérés A : « fast », minimal (Min), maximal (Max), moyen (Moy)). La durée de la mesure ainsi que la précision GPS sont également précisées. Cette même vue permet aussi d'afficher le spectre sonore sur la bande de fréquence [100 Hz, 16 kHz], le spectrogramme, ainsi que le trajet parcouru sur une carte ;
- Une fois la mesure réalisée, l'utilisateur accède à une vue « Description » (Figure 2) qui lui permet d'apporter des informations complémentaires (un texte descriptif et des photographies), ainsi qu'une évaluation de sa perception de l'environnement sonore. Dans ce dernier cas, il renseigne un indicateur d'agrément de l'environnement sonore (Aumond, Can, et al. 2017; Aletta, Kang, et Axelsson 2016) et une liste de « tags » correspondant aux sources de bruit en présence et aux conditions de mesure (Aiello et al. 2016; Salamon, Jacoby, et Bello 2014). Ces informations sont optionnelles, mais pourront permettre à terme d'enrichir les cartes obtenues par la mesure acoustique ;
- La vue suivante « Résultats » (Figure 2) permet de synthétiser les indicateurs acoustiques usuels : niveaux sonores équivalents sur 1 seconde (LAeq,1s), distribution des LAeq,1s par plage de niveau sonore sur la durée de mesure, valeurs minimale et maximale des LAeq,1s, indices statistiques percentiles LA10, LA50 et LA90, et spectre sonore moyen sur la durée ;

---

<sup>3</sup> Si l'utilisateur a donné son accord dans le paramétrage de l'application, ou ponctuellement en envoyant manuellement les données qu'il accepte de partager.

<sup>4</sup> Bien que la mesure acoustique avec des appareils sous iOS soit reconnue comme étant de meilleure qualité, principalement du fait de la moindre variabilité des modèles de smartphone fonctionnant avec ce système d'exploitation, les smartphones sous Android représentent toutefois près de 82% du marché en 2016, contre un peu moins de 15% pour iOS (Source : <http://www.gartner.com/newsroom/id/3415117>). Dans le cadre du projet, pour limiter les coûts, un développement sous Android a été privilégié.

- Enfin, les trajets parcourus par l'utilisateur et les niveaux sonores associés (pour la dernière mesure ou pour l'ensemble des mesures stockées dans le smartphone, accessibles depuis une vue « Historique ») peuvent être visualisés sur une carte (Figure 2).

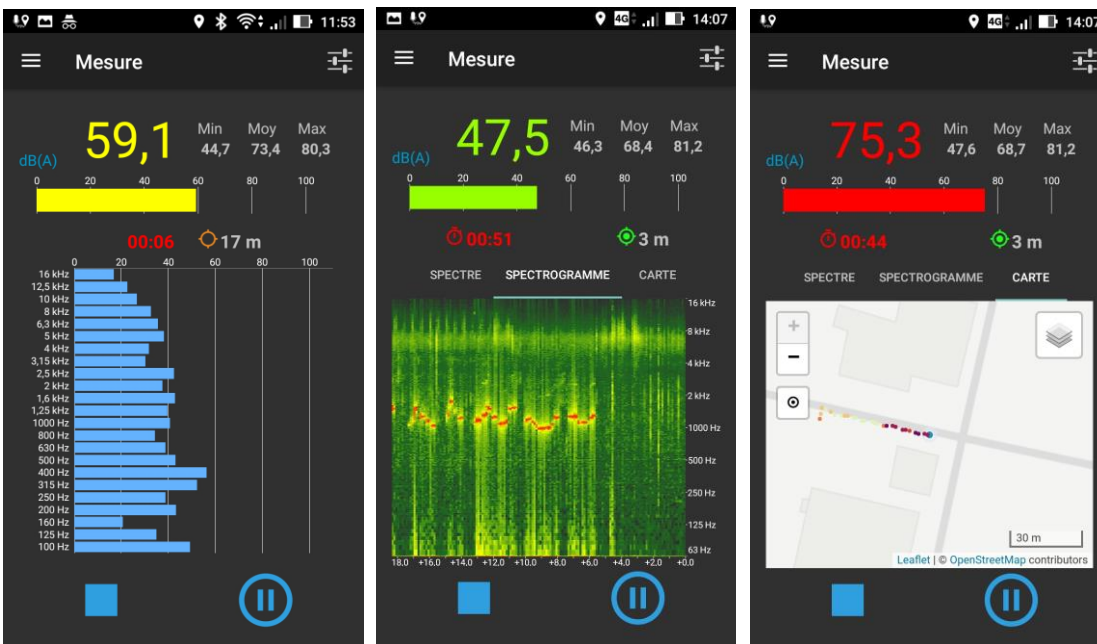


Figure 1. Copies d'écran de l'application NoiseCapture en enregistrement. Affichage en mode 'Spectre', 'Spectrogramme' et 'Carte' (suivi du trajet en cours de mesure)

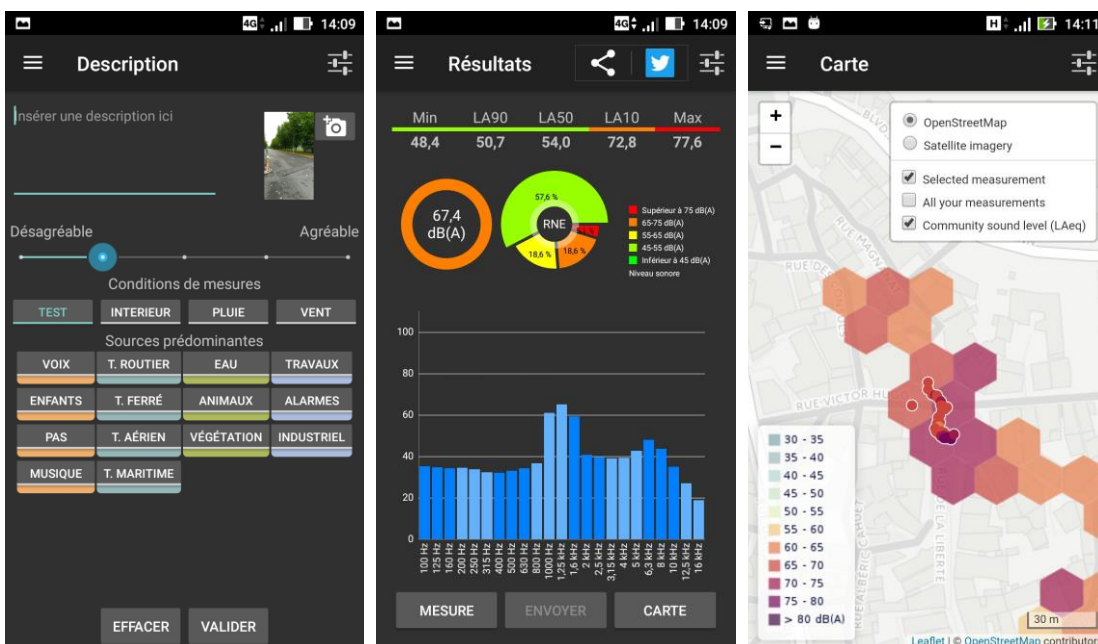


Figure 2. Copies d'écran de l'application NoiseCapture. Affichage des vues 'Description', 'Résultats' et 'Carte'.

## 2.2 ASPECTS METROLOGIQUES

Plusieurs travaux se sont intéressés à la qualité métrologique des smartphones, du point de vue de la mesure acoustique (Miller et al. 2016; Kardous et Shaw 2016, 2014). La faible qualité *a priori* de la mesure constitue en effet un frein à l'utilisation de smartphones pour l'évaluation de l'environnement sonore, auquel s'ajoute

également l'impact du protocole de mesure et de l'opérateur (cf. section 2.3). Si on peut en effet considérer qu'un smartphone est loin des caractéristiques d'un sonomètre de classe 1 (NF EN 61672-1), notamment en termes de linéarité en niveau, de bruit de fond, de directivité..., des travaux récents ont montré que les caractéristiques actuelles des smartphones, proches d'un classe 2, pouvaient être compatibles avec les exigences requises pour une évaluation de l'environnement sonore (Zamora et al. 2017; Aumond, Lavandier, et al. 2017).

Par ailleurs, il faut également tenir compte de l'amélioration continue de la qualité matérielle des smartphones (Murphy et King 2016) face à des utilisateurs de plus en plus exigeants et à des spécifications de plus en plus strictes de la part des éditeurs de système d'exploitation (*Operating System*, OS). Par exemple, concernant Android, depuis la version 4.3 de l'OS, les fabricants de smartphone doivent respecter des spécifications plus contraignantes<sup>5</sup> en matière d'enregistrement audio, de manière à assurer une compatibilité avec les futures versions de l'OS (Tableau 1). D'un point de vue matériel, il est également possible d'utiliser un microphone externe, dont les caractéristiques (réponse fréquentielle, directivité) sont souvent meilleures que le microphone interne au téléphone.

Tableau 1. Spécifications Android pour l'enregistrement audio. En complément des caractéristiques obligatoires (« MUST »), certaines spécifications sont actuellement recommandées (« SHOULD »). Les constructeurs de smartphones sont toutefois fortement invités à les respecter pour assurer une compatibilité avec les prochaines versions de l'OS Android.

Spécifications obligatoires (MUST)	Spécifications fortement recommandées (SHOULD)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Format : Linear PCM, 16-bit</li> <li>Sampling rates : 8000, 11025, 16000, 44100</li> <li>Channels : Mono</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Format : Linear PCM, 16-bit</li> <li>Sampling rates : 22050, 48000</li> <li>Channels : Stereo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>The device SHOULD exhibit approximately flat amplitude versus frequency characteristics: specifically, <math>\pm 3</math> dB, from 100 Hz to 4000 Hz.</li> <li>Audio input sensitivity SHOULD be set such that a 90 dB sound power level (SPL) source at 1000 Hz yields RMS of 2500 for 16-bit samples.</li> <li>PCM amplitude levels SHOULD linearly track input SPL changes over at least a 30 dB range from -18 dB to +12 dB re 90 dB SPL at the microphone.</li> <li>Total harmonic distortion SHOULD be less than 1% for 1 kHz at 90 dB SPL input level at the microphone</li> </ul>	

## 2.3 PROTOCOLE DE MESURE

Outre la qualité métrologique, la mise en œuvre de la mesure constitue également un élément essentiel pour la constitution d'une base de données de qualité. Il est évidemment impossible d'être « derrière » chaque contributeur pour vérifier si la mesure a été réalisée dans de bonnes conditions. *A minima*, il est possible de formuler quelques recommandations<sup>6</sup> auprès de l'utilisateur : porter le smartphone à la main (pas dans la poche), ne pas masquer le microphone, réaliser une mesure sans rajouter un bruit « artificiel », utiliser un microphone externe de meilleure qualité, ou encore calibrer son smartphone. C'est parce qu'il est malgré tout difficile de s'assurer que l'utilisateur applique ces recommandations, que notre approche cible préférentiellement des spécialistes (cf. section 3.4). Par ailleurs, le croisement de données issues des capteurs du téléphone avec celles collectées dans l'approche (« Tags » sur les conditions de mesure, profil de l'utilisateur), peut également permettre d'écarter certaines mesures *a posteriori* ou d'y associer une incertitude.

<sup>5</sup> *Android Compatibility Definition* : [https://source.android.com/compatibility/android-cdd#5\\_4\\_audio\\_recording](https://source.android.com/compatibility/android-cdd#5_4_audio_recording).

<sup>6</sup> Ces recommandations sont disponibles auprès de l'utilisateur, dans l'application même (rubrique « Aide »), dans la fiche Google Play de l'application, ainsi que sur le site web du projet Noise-Planet.

## 2.4 TRAITEMENT DU SIGNAL ET CALCUL DES INDICATEURS ACOUSTIQUES

Au sein de l'application, le calcul des indicateurs acoustiques repose sur la méthodologie suivante : (1) l'analyse d'un signal audio en continu (*i.e.* l'environnement sonore) ; (2) un traitement du signal temps réel pour le calcul des indicateurs des niveaux sonores équivalents (vue « Mesure » de l'application) ; (3) un post-traitement des indicateurs statistiques à partir des LAeq,1s (vue « Résultats »).

Concrètement, l'analyse audio est réalisée en utilisant l'API native Android AudioRecord<sup>7</sup>. Le mode VOICE\_RECOGNITION est utilisé afin de désactiver le gain et les filtres de réduction de bruit qui peuvent être appliqués par le téléphone. Dans NoiseCapture, le processus récoltant les échantillons sonores est mis en priorité spéciale, nommée THREAD\_PRIORITY\_URGENT\_AUDIO, afin de garantir l'absence de perte d'échantillons sonores en cas de forte charge de traitement du CPU.

Pour la vue « Mesure », les indicateurs sont calculés sur des échantillons de 125 ms, ce qui permet d'avoir un affichage haute résolution d'un spectrogramme. Le spectre sonore est quant à lui obtenu en appliquant une transformation de Fourier rapide<sup>8</sup> sur le signal temporel, après un fenêtrage de Hann de 125 ms associé à un recouvrement de 2/3, puis en calculant l'énergie par bande de fréquence. La même procédure est également considérée pour le calcul du spectre sur la durée totale de l'enregistrement. La pondération A est quant à elle appliquée sur le signal temporel conformément à la norme NF EN 61672. Les indicateurs statistiques sont ensuite évalués en utilisant les méthodes classiques.

## 2.5 CALIBRATION DU SMARTPHONE

Même si les spécifications Android imposent une sensibilité correspondant à une valeur RMS de 2500 (16 bits) à 90 dB et 1000 Hz (*cf.* Tableau 1), et que la chaîne de traitement est réalisée avec rigueur, il est peu probable qu'un smartphone indique un niveau sonore cohérent sans une calibration préalable. L'origine de ce problème pourrait venir d'une implémentation par les fabricants de téléphone de procédures d'enregistrement audio qui ne vérifieraient pas les spécifications du Tableau 1. Il est donc nécessaire de corriger la valeur mesurée afin d'obtenir un niveau sonore absolu conforme. Dans NoiseCapture, une procédure de calibration est proposée à partir d'un dispositif de référence, en niveau global ou pour une bande de fréquence donnée. Si un microphone externe est utilisé et que son diamètre est compatible (de type ¼ ou ½ pouce), l'usage d'une source sonore étalon est fortement conseillée. Dans le cas contraire, la valeur mesurée avec le smartphone doit être comparée avec celle obtenue dans les mêmes conditions de mesure, avec un système de mesure de référence, à savoir un sonomètre ou un smartphone déjà calibré. Dans tous les cas, il est important que le niveau de bruit de référence soit situé dans l'intervalle de niveau sonore optimal pour la mesure acoustique (*cf.* Tableau 1), à savoir entre 72 dB et 102 dB.

## 2.6 GEOLOCALISATION DE LA MESURE

La localisation de la mesure est effectuée en utilisant de préférence la localisation GPS. En complément, l'heure (et la date) exacte de la localisation, ainsi qu'une estimation de la précision de localisation, sont enregistrées. Il est important de préciser que la date de localisation GPS peut être légèrement différente de celle de la mesure acoustique, les deux horloges n'étant pas synchronisées. D'après les spécifications Android, l'estimation de la précision est définie<sup>9</sup> de telle sorte qu'il y ait 68% de chance que la « vraie » localisation se trouve dans un cercle défini par un rayon égal à la valeur de la précision (en mètre). En cas d'absence de localisation GPS, la localisation WIFI ou GSM peut prendre le relais, mais est de fait caractérisée par une

---

<sup>7</sup> Lien vers la documentation Android : <https://developer.android.com/reference/android/media/AudioRecord.html>

<sup>8</sup> L'utilisation d'un filtrage temporel comme recommandé par la norme NF EN 61260-1 nécessite pour l'instant trop de ressources pour être mis en œuvre au sein d'un smartphone, notamment pour un affichage temps réel.

<sup>9</sup> Lien vers la documentation Android : <https://developer.android.com/reference/android/location/Location.html>

précision supérieure à 15 m ou 1500 m respectivement. Dans ce dernier cas, les mesures sont en pratique inexploitable. Afin de réduire cette incertitude sur la localisation, des solutions pourraient être apportées, comme l'utilisation de l'accéléromètre du téléphone afin de détecter si l'utilisateur est en mouvement ou l'application d'un traitement géospatial pour ramener le point de mesure sur le trajet *a priori*.

## 2.7 DONNEES TRANSFEREES PAR LE SMARTPHONE

L'intérêt de l'approche repose sur le transfert des données mesurées par un contributeur, vers un serveur, afin d'agrèger l'ensemble des données collectées par tous les contributeurs, puis de produire une information pertinente sur l'environnement sonore d'un territoire. Les données transférées par l'utilisateur prennent la forme d'une archive ZIP, contenant 3 fichiers : un fichier 'README.html' décrivant les deux fichiers<sup>10</sup> de données 'meta.properties' (Tableau 2) et 'track.geojson' (Tableau 3). Le premier fichier de données, au format texte, contient un certain nombre d'informations générales sur le smartphone et l'application, ainsi que la valeur du LAeq sur la durée de l'enregistrement. Le second fichier, également au format<sup>11</sup> '.geojson', contient pour chacun des points de mesure (chaque point est défini par ses coordonnées latitude & longitude au format WGS 1984), des informations liées à la mesure.

Tableau 2. Description du fichier 'meta.properties' transféré par l'application vers le serveur gérant les données de NoiseCapture.

Propriétés	Format/type/unité	Description
<b>version_name</b>	Chaîne de caractères	Version de l'application NoiseCapture
<b>version_number</b>	Entier	Numéro de version
<b>record_utc</b>	Date UTC (epoch <sup>12</sup> UTS)	Date de l'enregistrement en milliseconde
<b>build_date</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date de compilation de l'APK Android
<b>uuid</b>	Chaîne de caractères	Identifiant aléatoire à l'installation de l'application
<b>device_product</b>	Chaîne de caractères	Référence du smartphone
<b>device_model</b>	Chaîne de caractères	Modèle du smartphone
<b>device_manufacturer</b>	Chaîne de caractères	Marque du smartphone
<b>time_length</b>	Entier (nombre de secondes)	Durée de l'enregistrement
<b>gain_calibration</b>	Valeur réelle en dB	Valeur du gain de calibration
<b>tags</b>	Chaîne de caractères	Liste des tags séparés par une virgule
<b>pleasantness</b>	Entier de 0 à 100	Valeur de l'agrément de l'environnement sonore
<b>leq_mean</b>	Valeur réelle en dB(A)	LAeq sur la durée de l'enregistrement
<b>user_profile</b>	Chaîne de caractères	Profil <sup>13</sup> utilisateur : 'NONE', 'NOVICE', 'EXPERT'

Tableau 3. Description du fichier 'track.geojson' transféré par l'application vers le serveur gérant les données de NoiseCapture. Les propriétés ci-dessous sont associées à chacun des points de mesure (à chaque seconde) dans un même enregistrement (i.e. un même trajet). En l'absence de localisation GPS, certaines données (marquées du symbole \*) ne sont pas renseignées.

Propriétés	Format/type/unité	Description
<b>geometry</b>	Point	Coordonnées (latitude, longitude, hauteur*) d'un point de mesure
<b>leq_mean</b>	Valeur réelle en dB(A)	Niveau sonore équivalent sur la durée de la mesure
<b>accuracy</b>	Valeur réelle en m	Précision de la localisation GPS (fournie par le GPS, le WIFI ou le GSM)
<b>location_utc</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date UTC de la dernière localisation GPS
<b>leq_utc</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date <sup>14</sup> UTC de la mesure
<b>leq_id</b>	Entier	Identifiant unique de la mesure

<sup>10</sup> Le contenu des fichiers est susceptible d'être complétés à l'occasion d'un changement de version. Le lecteur est invité à consulter le fichier 'README.html' pour connaître la nature exacte des données transférées.

<sup>11</sup> Le format '.geojson' est un format spécifique pour l'encodage d'informations géographiques (<http://geojson.org/>).

<sup>12</sup> Le format 'epoch' définit la date initiale à partir de laquelle est mesurée le temps (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Epoch>).

<sup>13</sup> Il s'agit de l'appréciation de l'utilisateur sur son niveau de compétence dans le domaine de la mesure acoustique.

<sup>14</sup> La date (i.e. l'heure) de la mesure diffère en général de celle de la localisation GPS, en raison d'horloges différentes.



<b>marker_color</b>	Chaîne de caractères	Couleur utilisée par 'geojson.io' pour une représentation cartographique
<b>bearing</b>	Valeur réelle* en °	Orientation horizontale du téléphone
<b>speed</b>	Valeur réelle* en m/s	Estimation de la vitesse
<b>leq_100</b>	Valeur réelle en dB(A)	LAeq,1s à la fréquence 100 Hz
<b>leq_125</b>	Valeur réelle en dB(A)	LAeq,1s à la fréquence 125 Hz
...	Valeur réelle en dB(A)	...
<b>leq_12500</b>	Valeur réelle en dB(A)	LAeq,1s à la fréquence 12500 Hz
<b>leq_16000</b>	Valeur réelle en dB(A)	LAeq,1s à la fréquence 16000 Hz

## 2.8 DONNEES COLLECTEES ET RESPECT DE LA VIE PRIVEE

Dans la démarche NoiseCapture, le respect de la vie privée de l'utilisateur est un élément essentiel<sup>15</sup>. Ainsi, il n'est procédé à aucun enregistrement audio (seul des indicateurs acoustiques sont calculés) et aucune information personnelle (numéro de téléphone, code IMEI, nom de l'utilisateur, email...) n'est collectée. Seul un identifiant (UUID, cf. Tableau 2) créé à l'installation de l'application est transféré et permet d'associer plusieurs séries de mesure à une même installation NoiseCapture. Cet identifiant, qui ne peut pas être associé à un utilisateur donné, permettrait par exemple d'appliquer, *a posteriori*, un traitement spécifique sur une même série de mesures (une post-calibration par exemple). Par ailleurs, le texte de description et les photographies que l'utilisateur peut associer à une mesure, à la vue « Description », sont uniquement stockés sur le smartphone et ne sont pas transmises.

À partir des données transférées, anonymes, il est donc en principe impossible d'identifier un contributeur. Enfin, il est important de noter que l'utilisateur doit volontairement déclencher une mesure (aucune mesure n'est réalisée en arrière-plan sans l'action de l'utilisateur) et qu'il peut aussi choisir de ne pas transmettre ses données.

## 3 INFRASTRUCTURE DE DONNEES SPATIALES (IDS)

### 3.1 ARCHITECTURE DE L'IDS

La démarche NoiseCapture a nécessité le développement d'une d'Infrastructure de Données Spatiales (IDS), spécifique à la problématique de l'environnement sonore, afin de connecter, stocker, cataloguer et diffuser les données obtenues par l'application. C'est donc dans ce contexte que l'IDS OnoMap (contraction de « Open noise Map ») a été développé. Sur le principe, cet IDS peut aussi être utilisée dans le cadre d'autres applications nécessitant le traitement de données environnementales. Dans un souci d'harmonisation et d'interopérabilité, ce type d'infrastructure peut en effet s'avérer particulièrement intéressante dans le contexte des directives Européennes INSPIRE<sup>16</sup> et 2002/49/CE (Abramic et al. 2017).

Ce composant central dans le projet a été développé sur la base de langages communs et de standards, notamment en suivant les recommandations de l'OGC<sup>17</sup>. L'IDS OnoMap repose sur 5 applications Open Source (Figure 3), installées sur un serveur vers lequel sont transférées les données depuis l'application NoiseCapture :

<sup>15</sup> Voir les règles de confidentialités de NoiseCapture : [http://noise-planet.org/NoiseCapture\\_privacy\\_policy\\_history.html](http://noise-planet.org/NoiseCapture_privacy_policy_history.html)

<sup>16</sup> Lien vers la directive INSPIRE : <https://inspire.ec.europa.eu/>

<sup>17</sup> L'OGC (Open Geospatial Consortium) est un consortium international prônant le développement et l'utilisation de standards ouverts au sein de la communauté l'information géographique (<http://www.opengeospatial.org/>).

- Une **base de données relationnelle spatiale**, utilisant le couple « PostGreSQL<sup>18</sup>/PostGIS<sup>19</sup> » et permettant de stocker, organiser et traiter les données ;
- Un **serveur cartographique** « GeoServer<sup>20</sup> », utilisé pour afficher des données (stockées dans la base de données) à travers des flux standardisés tels que WMS (*Web Map Service*) et WFS (*Web Feature Service*) ;
- Une **librairie web-cartographique**, basé sur le composant « Leaflet<sup>21</sup> », permettant de créer une carte interactive et consultable sur le web, afin de visualiser et d’interroger les données de bruit ;
- Des **outils de traitement**, basés sur le composant « H2GIS<sup>22</sup> » (bibliothèque de fonctions géospatiales) et le logiciel « OrbisGIS<sup>23</sup> », utilisés pour décrire et exécuter des traitements en ligne sur les données, en respectant le standard *Web Processing Service* (WPS) ;
- Un **catalogue de métadonnées**, basé sur « Geonetwork<sup>24</sup> », et permettant de décrire et de rechercher des informations sur les données collectées.

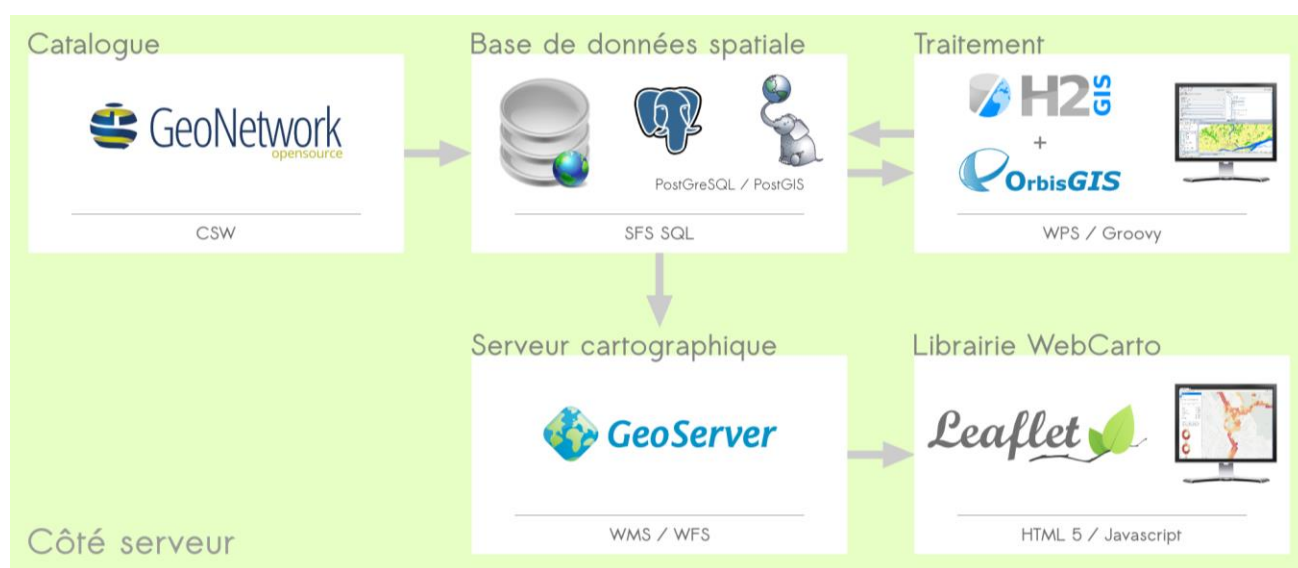


Figure 3. Infrastructure de données spatiales (IDS) OnoMap développée pour NoiseCapture.

### 3.2 DONNEES PRODUITES

Dans notre démarche Open Science, la libre mise à disposition des données issues des contributeurs constitue un élément cohérent, qui est par ailleurs totalement en accord avec les politiques<sup>25</sup> Open Data mises en œuvre par les services publics et les collectivités en France. Cela permet ainsi une réutilisation des données brutes collectées pour le développement éventuel de nouveaux « services » pour le citoyen, mais surtout, dans notre cas, une possible réutilisation des données pour de nouvelles contributions par d’autres acteurs de la communauté scientifique. Ainsi, l’ensemble des données brutes produites par les contributeurs volontaires est intégralement accessible depuis le site web du projet (<http://data.noise-planet.org/index.html>)

<sup>18</sup> <https://www.postgresql.org/>

<sup>19</sup> <http://www.postgis.net/>

<sup>20</sup> <http://geoserver.org/>

<sup>21</sup> <http://leafletjs.com/>

<sup>22</sup> <http://h2gis.org/>

<sup>23</sup> <http://orbisgis.org/>

<sup>24</sup> <http://geonetwork-opensource.org/>

<sup>25</sup> Voir par exemple les sites <https://www.etalab.gouv.fr/> et <http://data.paysdelaloire.fr/>

sous License ODBI<sup>26</sup>. Il revient aux futurs utilisateurs de ces données d'en extraire l'information qu'il juge pertinente (cf. section 3.4).

Les données sont regroupées dans une archive (fichier ZIP) par pays, puis par division administrative au sein de chaque pays. Pour chaque division administrative (notée par la suite \* dans le nom du fichier), les données sont ensuite organisées dans trois fichiers GeoJSON, correspondant chacun à une géométrie (Figure 4) :

- un fichier '\*.tracks.geojson' (Tableau 4) regroupant les informations associées à un trajet (i.e. une mesure) ;
- un fichier '\*.points.geojson' (Tableau 5) détaillant les informations propres à chaque point de mesure d'un même trajet (i.e. un point de mesure toutes les secondes) ;
- un fichier '\*.areas.geojson' (Tableau 6) proposant une agrégation élémentaire de l'ensemble des contributions.

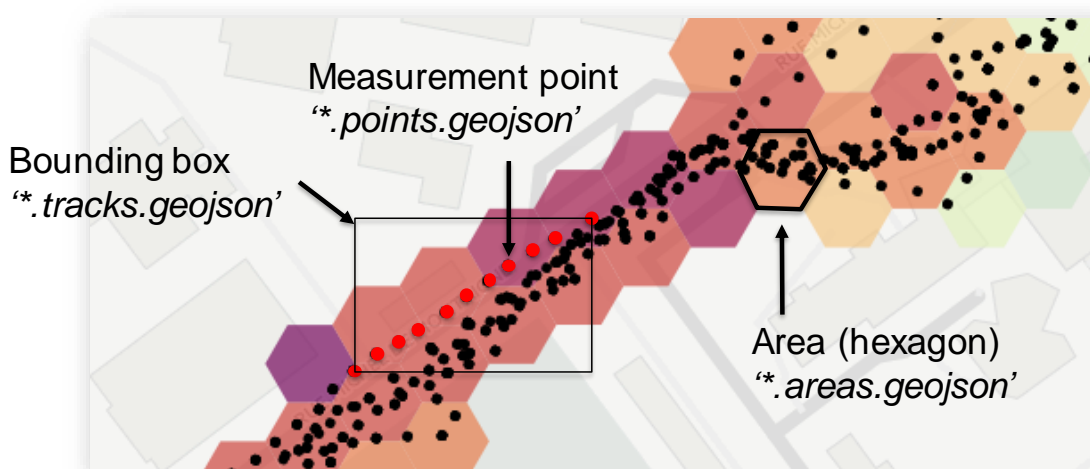


Figure 4. Principe d'organisation dans les 3 fichiers de données, en lien avec la géométrie des objets GeoJSON.

Le contenu de ces fichiers pouvant toutefois évoluer, le lecteur est invité à consulter le fichier 'README.html' dans l'archive ZIP, décrivant les données.

Tableau 4. Description<sup>27</sup> du fichier '\*.tracks.geojson'.

Propriétés	Format/type/unité	Description
<b>the_geom</b>	Polygon	'Bounding box' contenant le trajet (objet de type 'polygon' avec 5 points)
<b>time_ISO8601</b>	Date UTC (ISO 8601)	Date du début de la mesure
<b>time_epoch</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date du début de la mesure
<b>pk_track</b>	Entier positif	Identifiant de la mesure (associé au fichier '*.points.geojson')
<b>track_uuid</b>	Chaîne de caractères	Identifiant unique de la mesure
<b>gain_calibration</b>	Valeur réelle en dB	Valeur du gain de calibration
<b>noise_level</b>	Valeur réelle en dB(A)	LAeq sur la durée de l'enregistrement
<b>tags</b>	Chaîne de caractères	Liste des tags séparés par une virgule
<b>pleasantness</b>	Entier de 0 à 100	Valeur de l'agrément de l'environnement sonore
<b>user_profile</b>	Chaîne de caractères	Profil utilisateur : 'NONE', 'NOVICE', 'EXPERT'

<sup>26</sup> <https://opendatacommons.org/licenses/odbl/>

<sup>27</sup> Lorsqu'une propriété n'est pas accessible, la valeur est remplacée par 'null'.

Tableau 5. Description du fichier '\*.points.geojson'.

Propriétés	Format/type/unité	Description
<b>the_geom</b>	Point	Coordonnées GPS (X,Y,Z) du point
<b>pk_track</b>	Entier positif	Identifiant de la mesure (associé au fichier '*.tracks.geojson')
<b>time_ISO8601</b>	Date UTC (ISO 8601)	Date de la mesure
<b>time_epoch</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date de la mesure
<b>time_gps_ISO8601</b>	Date UTC (ISO 8601)	Date UTC de la dernière localisation GPS du point
<b>time_gps_epoch</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date UTC de la dernière localisation GPS du point
<b>noise_level</b>	Valeur réelle en dB(A)	Niveau sonore équivalent sur 1 seconde
<b>speed</b>	Valeur réelle en °	Orientation horizontale du téléphone
<b>orientation</b>	Valeur réelle en m/s	Estimation de la vitesse
<b>accuracy</b>	Valeur réelle en m	Précision de la localisation GPS (fournie par le GPS, le WIFI ou le GSM)

Tableau 6. Description du fichier '\*.areas.geojson'.

Propriétés	Format/type/unité	Description
<b>geometry</b>	Polygon	'Bounding box' de l'hexagone
<b>cell_q</b>	Entier	Position de l'hexagone dans la grille (EPSG:3857 WGS84 Web Mercator)
<b>cell_r</b>	Entier	Position de l'hexagone dans la grille (EPSG:3857 WGS84 Web Mercator)
<b>LA50</b>	Valeur réelle en dB(A)	Niveau sonore dans l'hexagone dépassé 50% du temps
<b>laeq</b>	Valeur réelle en dB(A)	Niveau sonore équivalent dans l'hexagone
<b>Laeq_profile</b>	Valeur réelle en dB(A)	Niveau sonore équivalent regroupé pour chaque heure des jours de la semaine, samedi et dimanche soit 72 valeurs.
<b>mean_pleasantness</b>	Valeur réelle de 0 à 100	Valeur moyenne de l'agrément de l'environnement sonore
<b>measure_count</b>	Entier	Nombre de mesures de LAeq,1s (équivalent à la durée totale)
<b>first_measure_ISO_8601</b>	Date UTC (ISO 8601)	Date de la première mesure
<b>first_measure_epoch</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date de la première mesure
<b>last_measure_ISO_8601</b>	Date UTC (ISO 8601)	Date de la dernière mesure
<b>last_measure_epoch</b>	Date UTC (epoch UTS)	Date de la dernière mesure

### 3.3 VISUALISATION DES DONNEES

L'ensemble des données brutes collectées peut être visualisé sur une carte mondiale ([http://noise-planet.org/map\\_noisecapture/index.html](http://noise-planet.org/map_noisecapture/index.html)), pour information<sup>28</sup>, avec différents niveaux d'agrégation (suivant l'échelle). À grande échelle, la position des points de mesure, ainsi qu'une agrégation des données par hexagone, peuvent être visualisées. Pour les échelles plus petites, le mode de représentation permet de montrer la distribution des mesures sur l'ensemble du territoire. Des statistiques générales (nombre de mesures, pays contributeurs, distribution des tags) sont également visualisables pour information.

<sup>28</sup> À ce stade, en l'absence de traitement des données, ces cartes apportent uniquement une information quantitative sur les données brutes collectées. Ces cartes ne peuvent pas être exploitées telles quelles pour l'étude de l'environnement sonore d'un lieu.

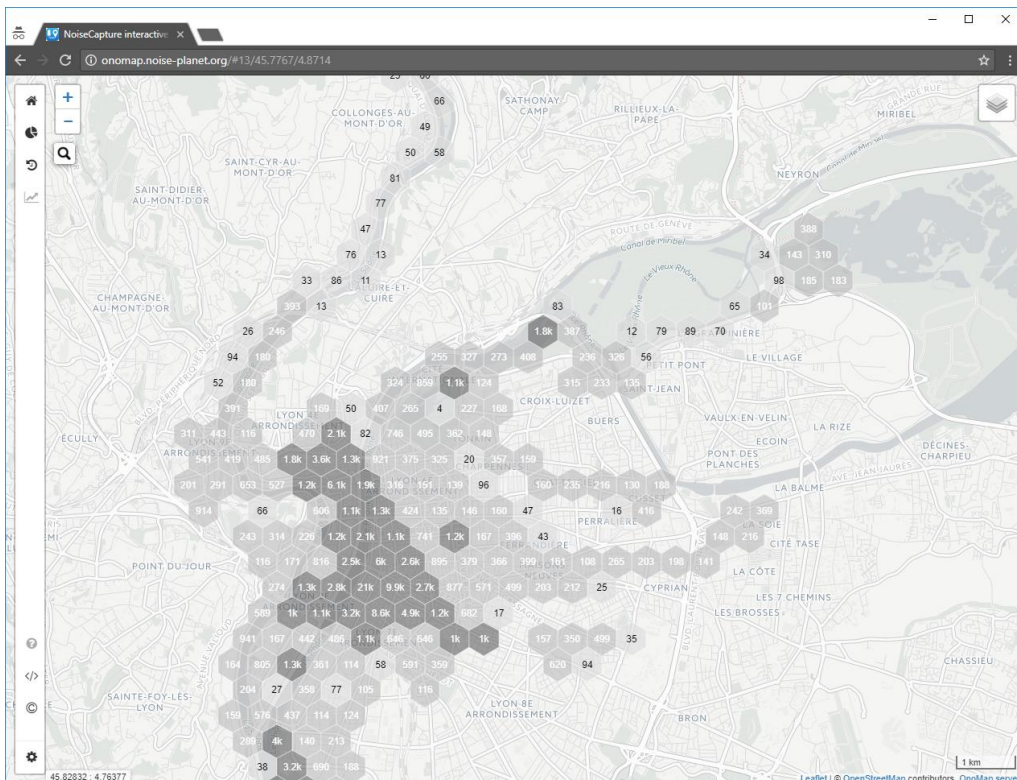
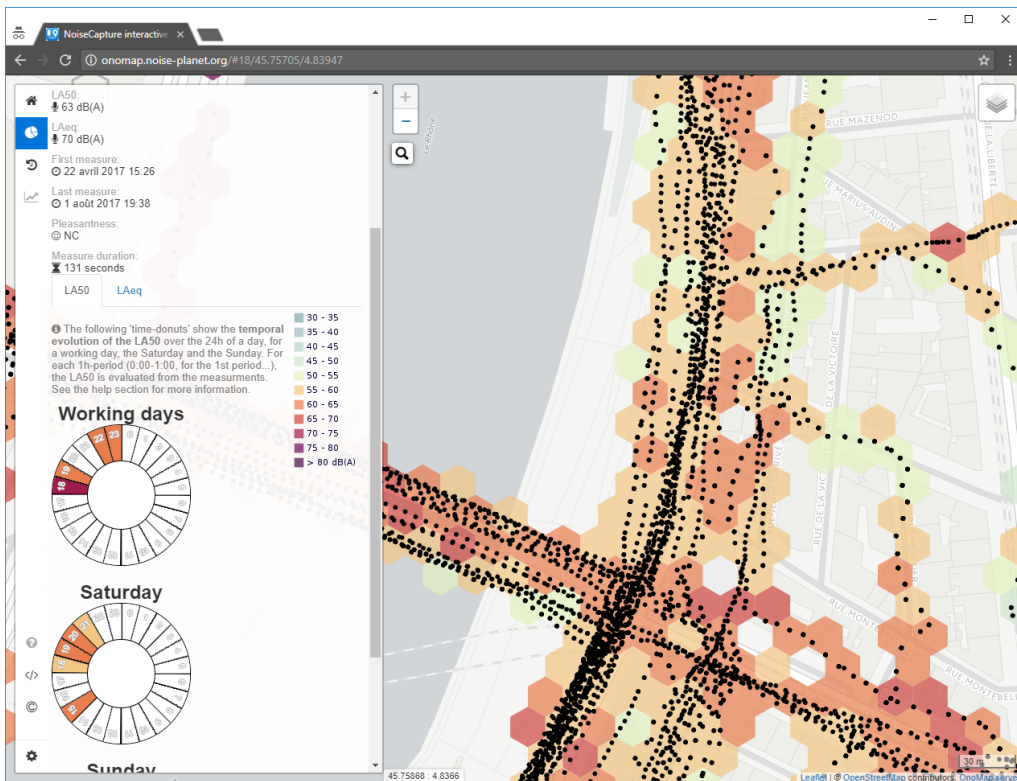


Figure 5. Visualisation des données brutes collectées. En haut : représentation des points de mesure (1 point sur 5 sont représentés) par des points noirs et agrégation des données par surface élémentaire (hexagone). Des informations complémentaires (date, répartition horaire des mesures...) sont également proposées en sélectionnant un hexagone de couleur. En bas : représentation de la distribution des mesures (LAeq,1s) sur le territoire en fonction de l'échelle.

### 3.4 PARTICIPATION ET PROFIL DES UTILISATEURS

Un des enjeux du projet repose sur sa capacité à produire des données en très grand nombre. Cela nécessite donc la diffusion la plus large possible de l'application et son utilisation intensive. Comme dans beaucoup de projets participatifs, la question de la motivation d'un utilisateur, au-delà d'un engouement initial (donc sur du long terme), est cruciale pour la démarche (Baruch, May, et Yu 2016). Si l'on exclut une motivation financière (l'utilisateur serait rémunéré pour réaliser des mesures), il faut donc que l'utilisateur trouve un intérêt personnel à utiliser l'application, ou adhère à l'intérêt général qu'un tel projet peut produire. En supposant l'adhésion d'utilisateurs, l'autre enjeu repose sur la qualité de la donnée produite. Il serait en effet contre-productif de parvenir à fédérer une communauté d'utilisateurs produisant une donnée de mauvaise qualité, voire inexploitable.

Pour tenter de concilier ces deux enjeux, le projet NoiseCapture vise principalement le développement d'une « communauté d'experts », constituée de personnes ayant une « certaine technicité et expertise » dans le domaine de la mesure environnementale, et qui trouveraient un intérêt soit professionnel (acousticiens, techniciens dans des services techniques, agents de collectivités, étudiants et enseignants dans une formation « environnementale »...), soit personnel (association de défense de l'environnement...) dans la mesure du bruit et la production de cartes de bruit collaboratives. Pour étendre la communauté d'utilisateurs, le projet propose aussi la mise en œuvre de « NoiseCapture Party », évènement formalisé<sup>29</sup> sous la responsabilité d'un « Ambassadeur » (*i.e.* disposant d'une expérience dans la mesure du bruit avec l'application), visant à former<sup>30</sup> les utilisateurs et à organiser des séances de mesure sur des zones définies. Le problème de la recherche d'un grand nombre d'utilisateurs se réduit donc à une recherche plus restreinte d'ambassadeurs, lesquels formeraient de nouveaux ambassadeurs. En ciblant cette communauté d'experts, on s'assure en même temps d'une meilleure qualité de mesure initiale, à travers une calibration collective des smartphones (à l'aide d'un dispositif de mesure déjà calibré, *i.e.* un smartphone ou un calibrateur) et du respect d'un protocole de mesure. Bien entendu, cette démarche n'interdit pas à une personne de contribuer au projet individuellement, chaque contribution ayant sa propre valeur, tant pour la donnée acoustique que pour les informations qu'elle peut apporter sur l'utilisation de l'application.

### 3.5 ENJEU DE LA QUALITE DE LA DONNEE

Une fois la communauté active, c'est la qualité du traitement de l'ensemble des données produites en très grand nombre et accumulées sur le long terme qui permettra d'obtenir des informations pertinentes sur la nature de l'environnement sonore. Cela ouvre des perspectives de recherche originales et très intéressantes, ce sujet étant encore très peu étudié.

Les traitements mis en œuvre devront faire face à des mesures acoustiques parfois de mauvaise qualité notamment concernant l'information de localisation apportée par le smartphone. À titre d'exemple (Figure 6), sur la base des données collectées en phase BETA du projet, la précision sur la localisation de la mesure est parfois très insuffisante (mesure réalisée en intérieur ou dans des rues étroites, localisation réalisée sur la base du WIFI ou du réseau téléphonique en l'absence de localisation GPS), ce qui pourrait conduire à exclure 15% des données pour une limite de précision à 15 m. Sur la base des vitesses estimées (seuls 90% des points de mesure sont associés à une vitesse), et en se basant sur une vitesse de marche limite de l'ordre de 4 m/s en milieu urbain, c'est près de 25% des données qu'il faudrait exclure du fait d'une valeur trop importante voire

---

<sup>29</sup> Un protocole pour l'organisation d'une NoiseCapture Party est disponible en ligne : [http://noise-planet.org/noisecapture\\_protocol.html](http://noise-planet.org/noisecapture_protocol.html) (également disponible en Anglais et en Italien).

<sup>30</sup> Plus largement ce type d'évènement peut également s'inscrire dans une démarche de médiation scientifique, comme la fête de la science par exemple.

aberrante (mesure réalisée en voiture, mauvaise localisation...). Sur cette seule base (précision GPS de moins de 15 m et vitesse inférieure à 4 m/s), 30% des points de mesure devraient être écartés.

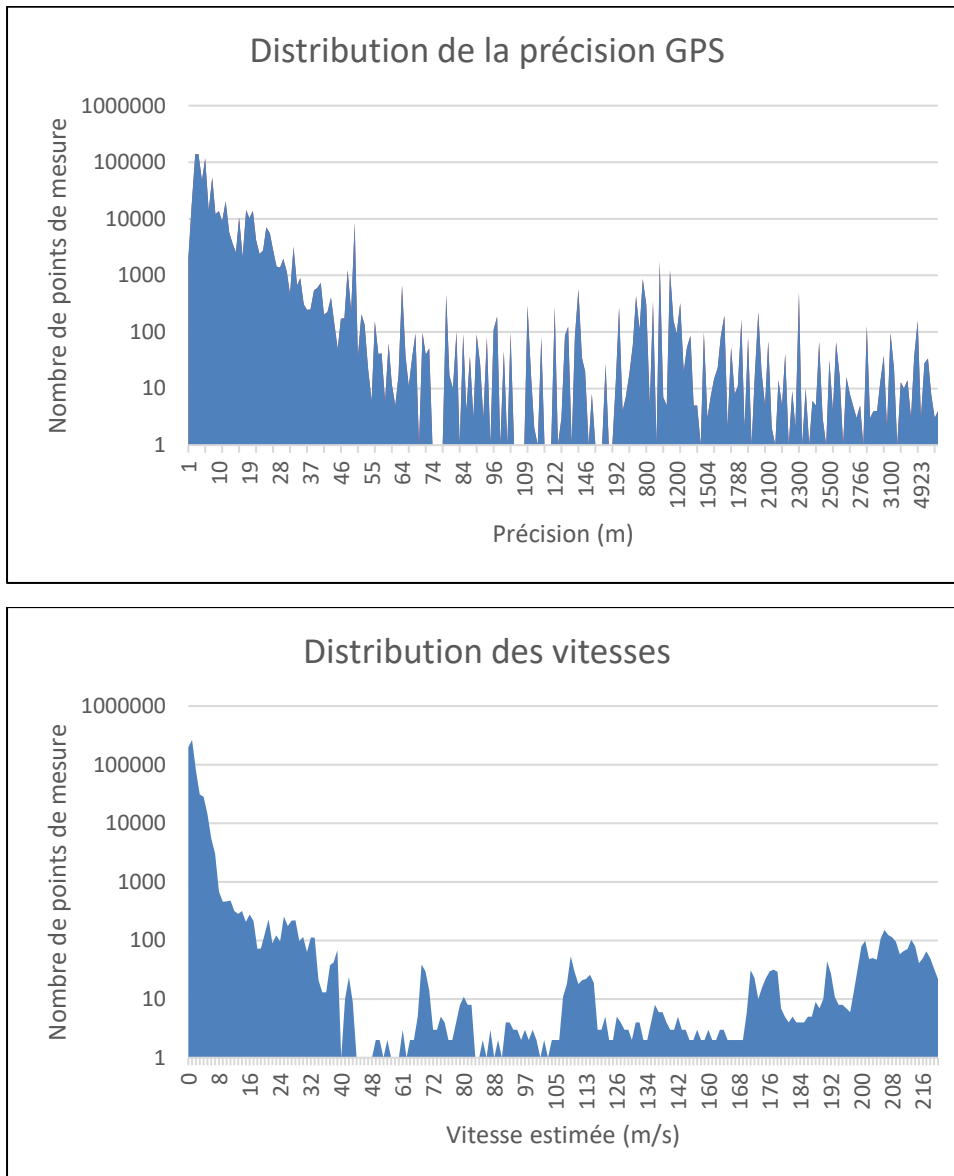


Figure 6. Données de localisation : distribution de la précision (en m) et estimation de la vitesse estimée (en m/s). Attention à l'axe vertical présenté en échelle logarithmique.

D'un point de vue de l'information acoustique, outre le fait qu'il faut *a priori* obtenir une information en nombre suffisant spatialement et temporellement pour obtenir des cartes de bruit pertinentes, il faut aussi prendre en compte la qualité de l'information « sonore » renseignée par les contributeurs. En phase BETA, nous avons pu constater que 50% et 65% des points de mesure sont décrits respectivement par au moins 1 tag et une valeur d'agrément, ce qui est déjà important.

## 4 CONCLUSION

Si le projet NoiseCapture n'est pas la seule initiative consistant à proposer une approche collaborative avec des smartphones pour produire des cartes de bruit, il est sans-doute plus spécifique dans sa démarche entièrement Open Source et Open Data, associant des géographes, des informaticiens et des acousticiens.

L'objectif du projet vise ainsi à établir une base de données pour l'évaluation de l'environnement sonore, produite en toute transparence, qui pourra notamment être utile à la communauté scientifique. L'exploitation de ces données pour obtenir une information pertinente du point de vue de l'évaluation de la qualité de l'environnement sonore, constitue un enjeu important, mêlant des recherches en acoustique et en statistique. La pertinence de la base de données produite, et donc celle des informations qui seront générées par la suite sur l'environnement sonore, seront d'autant plus importantes que les données seront récoltées en très grand nombre. L'animation et le développement d'une communauté de contributeurs constituent donc également des enjeux très importants dans le cadre du projet.

## REFERENCES

- Abramic, Andrej, Alexander Kotsev, Vlado Cetl, Stylianos Kephelopoulos, et Marco Paviotti. 2017. « A Spatial Data Infrastructure for Environmental Noise Data in Europe ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14 (7): 726. doi:10.3390/ijerph14070726.
- Aiello, Luca Maria, Rossano Schifanella, Daniele Quercia, et Francesco Aletta. 2016. « Chatty Maps: Constructing Sound Maps of Urban Areas from Social Media Data ». *Open Science* 3 (3): 150690. doi:10.1098/rsos.150690.
- Aletta, Francesco, Jian Kang, et Östen Axelsson. 2016. « Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models ». *Landscape and Urban Planning* 149 (mai): 65-74. doi:10.1016/j.landurbplan.2016.02.001.
- Aumond, Pierre, Arnaud Can, Bert De Coensel, Dick Botteldooren, Carlos Ribeiro, et Catherine Lavandier. 2017. « Modeling Soundscape Pleasantness Using perceptual Assessments and Acoustic Measurements Along Paths in Urban Context ». *Acta Acustica united with Acustica* 103 (3): 430-43. doi:10.3813/AAA.919073.
- Aumond, Pierre, Catherine Lavandier, Carlos Ribeiro, Elisa Gonzalez Boix, Kennedy Kambona, Ellie D'Hondt, et Pauline Delaitre. 2017. « A study of the accuracy of mobile technology for measuring urban noise pollution in large scale participatory sensing campaigns ». *Applied Acoustics, Acoustics in Smart Cities*, 117, Part B (février): 219-26. doi:10.1016/j.apacoust.2016.07.011.
- Baruch, Avinoam, Andrew May, et Dapeng Yu. 2016. « The motivations, enablers and barriers for voluntary participation in an online crowdsourcing platform ». *Computers in Human Behavior* 64 (novembre): 923-31. doi:10.1016/j.chb.2016.07.039.
- Can, A., L. Leclercq, J. Lelong, et D. Botteldooren. 2010. « Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observations ». *Applied Acoustics* 71 (8): 764-70. doi:10.1016/j.apacoust.2010.04.002.
- D'Hondt, Ellie, Matthias Stevens, et An Jacobs. 2013. « Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring ». *Pervasive and Mobile Computing*, Special issue on Pervasive Urban Applications, 9 (5): 681-94. doi:10.1016/j.pmcj.2012.09.002.
- Dutilleux, Guillaume, Jerome Defrance, David Ecotiere, Benoit Gauvreau, Michel Bérengier, Francis Besnard, et Emmanuel Le Duc. 2010. « NMPB-routes-2008: The revision of the french method for road traffic noise prediction ». *Acta Acustica united with Acustica* 96 (3): 452-62. doi:10.3813/AAA.918298.
- Fritschi, Lin, A. Lex Brown, Rokho Kim, Dietrich Schwela, et Stylianos Kephelopoulos. 2011. « Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe ». WHO Regional Office for Europe. JRC64428.
- Guillaume, Guillaume, Christophe Ayrault, Michel Bérengier, Isabelle Calmet, Vincent Gary, D. Gaudin, Benoit Gauvreau, et al. 2012. « Micrometeorological Effects on Urban Sound Propagation: A Numerical and Experimental Study ». In *Urban Environment*, édité par Sébastien Rauch et Gregory M. Morrison, 109-19. Alliance for Global Sustainability Bookseries 19. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-2540-9\_10.



- Kardous, Chucra A., et Peter B. Shaw. 2014. « Evaluation of smartphone sound measurement applications ». *The Journal of the Acoustical Society of America* 135 (4): EL186-EL192. doi:10.1121/1.4865269.
- . 2016. « Evaluation of smartphone sound measurement applications (apps) using external microphones—A follow-up study ». *The Journal of the Acoustical Society of America* 140 (4): EL327-EL333. doi:10.1121/1.4964639.
- Miller, Lane, Christopher Springthorpe, Enda Murphy, Eoin A. King, University of Hartford, University of Hartford, University of Hartford, et University of Hartford. 2016. « Environmental Noise Mapping with Smartphone Applications: A participatory noise map of West Hartford, CT. » *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* 252 (2): 445-51.
- Murphy, Enda, et Eoin A. King. 2016. « Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise ». *Applied Acoustics* 106 (mai): 16-22. doi:10.1016/j.apacoust.2015.12.012.
- Muzet, Alain, Gilberte TINGUELY, Michel Berengier, Florence COIGNARD, Anne Sophie EVRARD, Guillaume Faburel, Joël Lelong, et al. 2013. « Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental : Saisine 2009-SA-0333 : avis de l'ANSES : Rapport d'expertise collective ». AGENCE NATIONALE DE SECURITE SANITAIRE - ANSES. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00845574>.
- Newport, Jenny, David J. Shorthouse, et Adrian D. Manning. 2014. « The Effects of Light and Noise from Urban Development on Biodiversity: Implications for Protected Areas in Australia ». *Ecological Management & Restoration* 15 (3): 204-14. doi:10.1111/emr.12120.
- Salamon, Justin, Christopher Jacoby, et Juan Pablo Bello. 2014. « A dataset and taxonomy for urban sound research ». In *in Proc. 24th ACM Intern. Conf. Multimedia*, 1041–1044.
- Shannon, Graeme, Lisa M. Angeloni, George Wittemyer, Kurt M. Fristrup, et Kevin R. Crooks. 2014. « Road traffic noise modifies behaviour of a keystone species ». *Animal Behaviour* 94 (août): 135-41. doi:10.1016/j.anbehav.2014.06.004.
- Zamora, Willian, Carlos T. Calafate, Juan-Carlos Cano, et Pietro Manzoni. 2017. « Accurate Ambient Noise Assessment Using Smartphones ». *Sensors (Basel, Switzerland)* 17 (4): 917. doi:10.3390/s17040917.
- Zuo, Jinbo, Hao Xia, Shuo Liu, et Yanyou Qiao. 2016. « Mapping Urban Environmental Noise Using Smartphones ». *Sensors* 16 (10): 1692. doi:10.3390/s16101692.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Commission Européenne et le programme régional GEOPAL des Pays de La Loire, pour leur soutien dans le cadre du projet Européen ENERGIC-OD (European Network for Redistributing Geospatial Information to user Communities - Open Data).