

**Titre de la thèse**

---

Mesure acoustique environnementale sur smartphone : de l'évaluation de la qualité des données à la production de cartes de bruit pertinentes

**Niveau recommandé**

---

Master recherche (M2)

**Compétences requises**

---

Discipline principale : Acoustique

Autres disciplines abordées : Information géographique, Statistiques, Informatique

**Description**

---

*Des études récentes ont montré la possibilité de réaliser des mesures acoustiques environnementales avec des smartphones afin de réaliser des cartes de bruit. Ce sujet fait d'ailleurs l'objet de contributions scientifiques récentes au niveau international (bibliographie à la fin de ce document), et constitue un enjeu important pour tous les acteurs de l'acoustique environnementale, notamment opérationnels (BET, collectivité, association...) dans le contexte récent de l'apport des nouvelles technologies<sup>1</sup> à la problématique de l'évaluation du bruit dans l'environnement (notamment dans le contexte de la Ville Connectée et Intelligente et des Big Data).*

*En comparaison avec des mesures classiques réalisées avec un matériel spécifique (dit de « classe 1 »), la mesure avec un smartphone introduit des biais et des sources d'incertitudes (absence de calibrage acoustique du smartphone, problème de localisation des mesures, « liberté » dans l'application du protocole de mesure...). L'évaluation et le contrôle de la qualité des données obtenues constituent donc un enjeu important pour proposer des cartes de bruit pertinentes à des fins d'utilisation par les collectivités, notamment dans le cadre des obligations réglementaires en matière d'évaluation du bruit dans l'environnement (directive<sup>2</sup> 2002/49/CE). Ainsi la thèse se propose d'aborder cette question de l'évaluation de la qualité de la donnée « smartphone », de la quantification de sa pertinence, ainsi que de l'utilisation de cette donnée « discontinue » (dans l'espace et dans le temps), pour produire des cartes de bruit « continues ».*

---

<sup>1</sup> Picaut, J., Aumond, P., Can, A., Bocher, E., Petit, G., Guillaume, G., 2017. Les outils connectés de l'environnement sonore : état de l'art et prospective. *Acoustique & Techniques* 11–17.

<sup>2</sup> Voir le site du Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB) pour une présentation de cette directive : <http://www.bruit.fr/boite-a-outils-des-acteurs-du-bruit/recueil-des-textes-officiels/evaluation-et-gestion-du-bruit-dans-l-environnement/la-directive-relative-a-l-evaluation-et-a-la-gestion-du-bruit-dans-l-environnement.html>

*Pendant toute la durée de la thèse, le travail s'appuiera sur les données produites grâce à l'application<sup>3</sup> NoiseCapture développée par l'Ifsttar (UMRAE) et le CNRS (Lab-STICC) dans une démarche<sup>4</sup> Open Science. Diffusée officiellement en septembre 2017, cette application a déjà permis de récolter des millions de points de mesure dans plus de 190 pays, avec une densité importante sur plusieurs grandes villes françaises (Lyon et Paris par exemple).*

*Dans un premier temps, le travail portera sur l'identification et la quantification des sources d'incertitudes associées à une mesure NoiseCapture (calibrage du microphone, qualité de localisation GPS, mise en œuvre du protocole de mesure acoustique...). L'objectif consistera ensuite à proposer des solutions techniques et méthodologiques pour réduire ces incertitudes « à la source ». D'un point de vue « acoustique », des solutions seront proposées pour améliorer la qualité de la mesure : amélioration du calibrage, utilisation d'un microphone externe, utilisation d'autres capteurs du smartphone (orientation, luminosité, hygromètre) pour améliorer l'application du protocole de mesure. En parallèle, d'un point de vue « géomatique », des techniques<sup>5</sup> de localisation plus évoluées à l'intérieur/extérieur des bâtiments pourront être mises en œuvre. La réduction de ces incertitudes pourra également être envisagée a posteriori, en proposant par exemple des méthodes de relocalisation des points de mesure sur des traces/routes, ou de calibrage acoustique des smartphones en utilisant des réseaux de capteurs fixes déjà disposés dans certaines villes<sup>6</sup>. Ce travail permettra in fine de proposer un indicateur de pertinence afin de caractériser la qualité de la mesure. Un travail de représentation cartographique pourra être envisagé afin de représenter cet indicateur, conjointement à la mesure acoustique, sur les cartes de bruit.*

*Dans un second temps, le travail portera sur le filtrage de l'ensemble des données collectées. En effet, au-delà de la qualité de la mesure acoustique et sa localisation, l'expérience montre que certaines mesures ne sont pas exploitables pour l'évaluation du bruit dans l'environnement : mesures à l'intérieur des bâtiments, produites dans un moyen de transport (vitesses élevées), ou bien dans des conditions environnementales affectant la mesure acoustique (présence de vent ou de pluie). L'exploitation des capteurs du smartphone ainsi que les données fournies par le contributeur (l'application NoiseCapture permet à l'utilisateur de décrire sa mesure avec des « tags » de description) avec d'autres sources de données géo-référencées (météo, infrastructures de transports...) devraient permettre de juger de la pertinence et de la cohérence des données. La finalité de cette partie du travail sera de produire une ou plusieurs bases de données validées dans le cadre de l'application envisagée (bruit dans les moyens de transport ; bruit dans les bâtiments ; bruit dans le milieu extérieur urbain ; bruit extérieur généré par des infrastructures de transport...).*

*Dans un troisième temps, le travail portera sur la production de cartes de bruit « continues », sur la base de mesures discontinues dans le temps (en un lieu donné, toutes les plages horaires ne peuvent être couvertes) et dans l'espace (certains lieux ne disposeront pas de mesure). Il conviendra d'étudier plusieurs solutions, telles que l'assimilation<sup>7</sup> de données, l'utilisation de profils « types » de variation du bruit en fonction du lieu (rue, route, campagne...), l'interpolation spatiale et temporelle... Les techniques identifiées pourront être mises en œuvre, en se focalisant également sur le coût de traitement. En effet pour que ces techniques soient opérationnelles, elles doivent intégrer le fait que toute nouvelle contribution (en un lieu, en une plage temporelle) ne doit pas nécessiter le traitement de l'intégralité de toutes les mesures au même point et sur toutes les plages temporelles (i.e. on envisagera donc des méthodes « incrémentales »).*

---

<sup>3</sup> Picaut, J., Fortin, N., Bocher, E., Petit, G., Aumond, P., Guillaume, G., 2019. An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones. Building and Environment 148, 20–33. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.049>. Voir également le site web du projet (<http://noise-planet.org/noisecapture.html>).

<sup>4</sup> L'ensemble des codes informatiques et des données liées au projet NoiseCapture sont diffusés à travers des licences ouvertes. Par ailleurs, dans la mesure du possible, les productions scientifiques liées au projet sont diffusées par des voies de publication Open Science.

<sup>5</sup> Ce travail pourra être mené avec le laboratoire GEOLoc, au sein du même département (AME) de l'Ifsttar que l'UMRAE.

<sup>6</sup> Les villes de Paris (Bruitparif) et de Lyon (Acoucity) disposent d'observatoires fixes de mesure. Les collaborations actuelles de l'UMRAE avec ces deux organisations faciliteront l'accès à ces données.

<sup>7</sup> Cette technique fait actuellement l'objet d'études par la communauté acoustique concernée (Ventura R. et al. 2018. Assimilation of mobile phone measurements for noise mapping of a neighborhood. The Journal of the Acoustical Society of America, 144, 1279).

Dans la mesure du possible, l'ensemble du travail se positionnera dans un contexte Open Science. Les outils développés devront s'appuyer sur des standards, des formats, des codes ouverts...

Cette thèse confirmera l'UMRAE (et le Lab-STICC) dans une position d'acteur majeur sur ce sujet de l'utilisation des smartphones pour la production de cartes de bruit. Les avancées qui seront permises grâce à ce travail positionneront NoiseCapture comme une démarche de référence au niveau international, en mettant en avant la maîtrise et la qualité des données collectées, ainsi que la capacité à produire des cartes de bruit ayant une réelle pertinence pour le monde opérationnel.

Cette thèse sera dirigée par un acousticien et un géomaticien, et nécessitera également de fortes interactions avec l'ensemble des chercheurs et ingénieurs de l'UMRAE et du Lab-STICC impliqués dans le projet NoiseCapture.

Articles scientifiques sur le sujet (les références impliquant l'UMRAE sont affichées en gras).

1. **Aumond, P., Lavandier, C., Ribeiro, C., Boix, E.G., Kambona, K., D'Hondt, E., Delaitre, P., 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, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.07.011>**
2. **Bocher, E., Petit, G., Picaut, J., Fortin, N., Guillaume, G., 2017. Collaborative noise data collected from smartphones. *Data in Brief* 14, 498–503. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.07.039>**
3. Celestina, M., Hrovat, J., Kardous, C.A., 2018. Smartphone-based sound level measurement apps: Evaluation of compliance with international sound level meter standards. *Applied Acoustics* 139, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.04.011>
4. D'Hondt, E., Stevens, M., Jacobs, A., 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, 681–694. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2012.09.002>
5. **Guillaume, G., Can, A., Petit, G., Fortin, N., Palominos, S., Gauvreau, B., Bocher, E., Picaut, J., 2016. Noise mapping based on participative measurements. *Noise Mapping* 3, 140–156. <https://doi.org/10.1515/noise-2016-0011>**
6. Kardous, C.A., Shaw, P.B., 2016. Evaluation of smartphone sound measurement applications (apps) using external microphones—A follow-up study. *The Journal of the Acoustical Society of America* 140, EL327–EL333. <https://doi.org/10.1121/1.4964639>
7. Kardous, C.A., Shaw, P.B., 2014. Evaluation of smartphone sound measurement applications. *The Journal of the Acoustical Society of America* 135, EL186–EL192. <https://doi.org/10.1121/1.4865269>
8. Miller, L., Springthorpe, C., Murphy, E., King, E.A., 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, 445–451.
9. Murphy, E., King, E.A., 2016. Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. *Applied Acoustics* 106, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.012>
10. Nast, D.R., Speer, W.S., Prell, C.G.L., 2014. Sound level measurements using smartphone “apps”: Useful or inaccurate? *Noise and Health* 16, 251. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.140495>
11. **Picaut, J., Fortin, N., Bocher, E., Petit, G., Aumond, P., Guillaume, G., 2019. An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones. *Building and Environment* 148, 20–33. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.049>**
12. Roberts, B., Kardous, C., Neitzel, R., 2016. Improving the accuracy of smart devices to measure noise exposure. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 13, 840–846. <https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1183014>
13. Ventura, R., Mallet, V., Issarny, V., 2018. Assimilation of mobile phone measurements for noise mapping of a neighborhood. *The Journal of the Acoustical Society of America* 144, 1279–1292. <https://doi.org/10.1121/1.5052173>
14. Ventura, R., Mallet, V., Issarny, V., Raverdy, P.-G., Rebhi, F., 2017. Evaluation and calibration of mobile phones for noise monitoring application. *The Journal of the Acoustical Society of America* 142, 3084–3093. <https://doi.org/10.1121/1.5009448>
15. Zamora, W., Calafate, C.T., Cano, J.-C., Manzoni, P., 2017. Accurate Ambient Noise Assessment Using Smartphones. *Sensors (Basel)* 17, 917. <https://doi.org/10.3390/s17040917>
16. Zappatore, M., Longo, A., Bochicchio, M.A., 2017. Crowd-sensing our Smart Cities: a Platform for Noise Monitoring and Acoustic Urban Planning. *Journal of Communications Software and Systems* 13, 53–67. <https://doi.org/10.24138/jcomss.v13i2.373>
17. Zuo, J., Xia, H., Liu, S., Qiao, Y., 2016. Mapping Urban Environmental Noise Using Smartphones. *Sensors* 16, 1692. <https://doi.org/10.3390/s16101692>

## Profil recherché

Les connaissances requises pour l'exécution du travail de thèse s'articulent autour de l'acoustique (prérequis important<sup>8</sup>), de l'information géographique, des statistiques ou mathématiques appliquées. En fonction de sa

<sup>8</sup> Si l'Acoustique est effectivement la discipline de référence, des étudiants issus d'autres formations (information géographique, statistiques, informatiques) disposant de connaissances en acoustique et fortement motivés par ce sujet, peuvent également candidater.

*formation et de son expérience, le candidat pourra développer certaines de ses connaissances directement pendant la thèse, soit en s'appuyant sur l'encadrement, soit à travers des formations qui lui seront proposées. Le candidat devra donc faire état d'une ouverture d'esprit sur d'autres disciplines que celle de sa formation initiale, ainsi que de son intérêt pour le développement de solutions innovantes dans le domaine de l'acoustique environnementale. Le déroulement de la thèse intégrera des réunions régulières avec l'encadrement ainsi que la rédaction de documents d'avancement et scientifiques (communications et articles).*

## **École Doctorale**

---

L'étudiant sera inscrit dans l'école doctorale « Sciences Pour l'Ingénieur » (SPI) ([https://ed-spi.u-bretagne.fr/fr/11\\_presentation](https://ed-spi.u-bretagne.fr/fr/11_presentation)). L'établissement d'inscription dépendra du profil et de la formation du candidat.

## **Lieu de la thèse**

---

La thèse se déroulera sur le site de Nantes de l'UMRAE. Des déplacements sont par ailleurs à prévoir sur la durée de la thèse (formation, participation à des congrès/colloque, réunion de travail au Lab-STICC à Vannes...).

## **Encadrement**

---

Directeur de thèse : Judicaël Picaut (UMRAE), Directeur de recherche HDR

Co-directeur de thèse : Erwan Bocher (Lab-STICC), Ingénieur de Recherche HDR en 2019

## **Financement**

---

Financement Ifsttar, sous réserve de sélection du candidat par le jury d'audition de l'Ifsttar.

## **Informations complémentaires**

---

- Présentation de l'UMRAE : <http://www.umrae.fr/>
- Projet NoiseCapture : <http://noise-planet.org/noisecapture.html>

## **Contact**

---

**M. Judicaël PICAUT**

**Tél. 02 40 84 57 89**

**Email : [Judicael.Picaut@ifsttar.fr](mailto:Judicael.Picaut@ifsttar.fr)**