

Comme dans la définition proposée en préambule de cette partie, on associe souvent « ville intelligente » à « ville numérique et connectée » (à travers les TIC). Toutefois, comme le décrivent des journalistes dans un article de 2014 [2], « la smart city n'est pas nécessairement une ville high tech », en citant l'exemple de la ville colombienne de Medellin, nommée ville la plus innovante en 2012 par le *Wall Street Journal*, « pour ses technologies d'innovation incrémentales qui ont su répondre frontalement et à bas coût aux problèmes de ses habitants ». Une ville intelligente peut être également vue comme une « ville ingénieuse, maline, élégante, et parfois même bricolée », et moins « à la pointe de la technologie » (même si, pour Medellin, c'est aussi un peu le cas malgré tout). Toutefois, ces dernières années, la révolution du numérique a ouvert de nombreuses opportunités au service de la ville intelligente, à tel point que ces deux concepts sont devenus aujourd'hui presque indissociables.

La Smart City au service de l'environnement sonore

Si la ville intelligente d'aujourd'hui est une ville connectée, à travers des capteurs de différentes natures, communicants entre eux et produisant de l'information et des services, il est assez évident qu'elle peut être mise à profit pour la « gestion » de l'environnement sonore. Classiquement, d'un point de vue « acoustique », on peut distinguer deux types d'objets connectés, donc deux types de solutions pour la ville intelligente et connectée : ceux qui mesurent et ceux qui émettent des signaux acoustiques.

Réseau de capteurs pour la mesure acoustique

Ainsi, les observatoires du bruit, tels que ceux mis en place depuis de nombreuses années dans quelques villes et régions françaises, comme l'Île-de-France (Bruitparif) et la métropole de Lyon (Acoucité), pour citer les plus emblématiques³, sont déjà des outils de la ville intelligente, au service de l'observation des nuisances sonores en milieu urbain. La limite actuelle de ces dispositifs réside davantage dans le nombre limité de points d'observation (90 et 25 environ pour BruitParif et Acoucité, respectivement) [3], ce qui ne permet pas de construire des cartes de bruit « classiques », que dans la qualité technique des systèmes de mesure mis en œuvre. En effet, aujourd'hui, le concept de ville intelligente et connectée est souvent synonyme de réseaux de capteurs massivement distribués (plusieurs centaines à plusieurs milliers, voire des dizaines de milliers comme ambitionne le projet Européen *SmartSantander*, Figure 2). Appliqué à l'environnement sonore urbain, le coût total d'un tel système avec des dispositifs de mesure de classe 1, comme ceux classiquement utilisés par les observatoires du bruit, constitue évidemment une limite majeure. Ainsi, ces dernières années, deux types d'initiatives ont vu le jour, avec le même objectif, à savoir le développement d'un réseau de mesure massivement distribué, l'un basé sur une approche collaborative (mesure sur *smartphone*), l'autre basé sur l'utilisation de capteurs à bas coût.

Réseaux de capteurs à bas coût

Dans la lignée directe des réseaux d'observation « classiques », les réseaux de capteurs à bas coût (quelques dizaines d'euros, contre quelques milliers d'euros pour des systèmes classiques de *monitoring*) constitue une solution

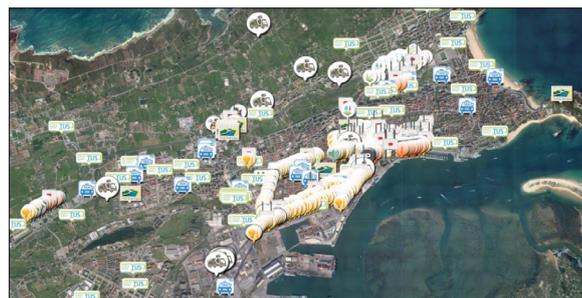


Fig. 2 : Réseau de capteurs environnementaux au sein de Santander en Espagne (projet EU SmartSantander⁴)

qui semble pertinente pour augmenter de manière significative la densité des points de mesure. Depuis les premières expérimentations en 2008 [4], plusieurs initiatives ont vu le jour pour proposer des réseaux de mesure acoustique, pour les besoins de cartographies sonores ou d'observation du bruit, comme à Barcelone [5], à New-York (projet SONYC, *Sounds of New York City*)⁵ [6] (Figure 3) ou à Lorient (projet ANR CENSE [7]). On peut citer aussi la proposition originale d'un réseau utilisant des smartphones pour la mesure, couplé à un réseau de véhicules (VANET, *Vehicle Ad Hoc Network*) pour le traitement et le transfert d'informations [7]. La différence avec un réseau classique réside donc essentiellement dans le capteur en charge de la mesure et dans le pré-traitement, ainsi que dans la transmission des données vers le serveur en charge du post-traitement et de l'agrégation des données. Le système prend en général la forme d'un microphone monté sur une carte de traitement (de type mini PC par exemple), avec des fonctionnalités de transmission filaire (Ethernet) ou sans-fil (Bluetooth, Wifi, 3G/4G, LORA...). Un même réseau peut aussi mettre en œuvre simultanément différents types de capteurs ou différents modes de communication (réseau mixte, Figure 4), afin de réduire le coût du système et d'augmenter le nombre de points de mesure. On peut ainsi imaginer des capteurs « nœuds » (*nodes*) avec des capacités de mesure « plus limitées », communicants par onde radio avec des « passerelles » (*gateways*), lesquels réalisent des mesures plus détaillées et envoient l'intégralité des mesures (passerelles + nœuds) vers un serveur.

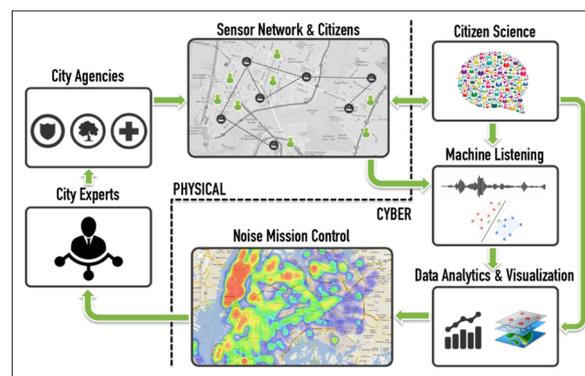


Fig. 3 : Principe du réseau de capteurs développé dans le cadre du projet SONYC [6]

3- Des observatoires du bruit sont également présents dans d'autres agglomérations françaises, comme Dunkerque, Lille, Saint-Etienne, Grenoble, Nice, Aix-en-Provence... On peut également citer quelques exemples européens : Bruxelles, Dublin, Rotterdam, Barcelone, Turin...

4- <http://www.smartsantander.eu/wiki/index.php/Experimentation/Testbeds>

5- <https://wp.nyu.edu/sonyc/>

6- Si le coût du smartphone est parfois non négligeable, le coût du microphone et de la chaîne de traitement est quant à lui très réduit.

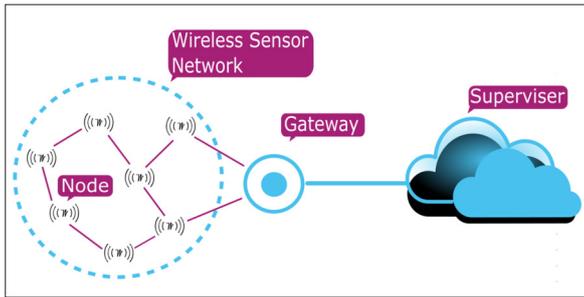


Fig. 4 : Principe d'un réseau de capteurs mixte filaire/sans fil (source : Wi6labs)

Coté mesure, les solutions s'orientent en général vers des microphones MEMS, si possible de classe 2 (IEC 61672-1). En fonction de la puissance de calcul de la carte associée au capteur, le traitement est limité à quelques indicateurs classiques (de type Leq), notamment si le travail doit être réalisé en temps réel, ou un traitement plus étendu (traitement de signaux, analyse spectrale...). Le flux audio peut également être envoyé vers le serveur pour un traitement déporté. Si l'utilisation d'un réseau de capteurs à bas coût paraît séduisante *a priori*, il ne faut pas occulter un certain nombre de difficultés liées à la qualité du microphone (rapport signal-sur-bruit, linéarité, réponse fréquentielle, directivité), la fréquence d'échantillonnage, l'alimentation des capteurs (système autonome sur batterie avec/sans photovoltaïque ; système alimenté par un réseau électrique privé/public), la transmission des données (connexion à un réseau public/privé, stockage des données en l'absence de réseau), la dérive des microphones dans le temps (et donc la nécessité de réaliser régulièrement une auto-calibration ou une calibration sur site).

Mesure participative (smartphone)

La mesure sur smartphone est sans-doute l'une des solutions « Acoustique » les plus emblématiques de la *Smart City*, appliquées à l'observation du bruit dans l'environnement [9], puisqu'elle a « l'avantage » de mêler approche collaborative (ou participative) et réseau de capteurs à bas coût⁶. La mobilité intrinsèque à cette solution est également un atout important, puisqu'en plus d'un instant donné, certains en termes d'indicateurs acoustiques classiques (niveau sonore équivalent), d'autres en termes d'information sur la qualité de l'environnement sonore (WideNoise par exemple).

Comme pour les réseaux à bas coût, si ce type de solution semble *a priori* intéressant, la mesure sur smartphone se heurte aussi à un certain nombre d'obstacles : la localisation d'un point de mesure est parfois rendue difficile en raison de la précision du capteur GPS (de quelques mètres à plusieurs centaines typiquement) ou d'effets d'obstacle

CRITERIA	Context awareness									
APPLICATIONS	NoiseTube	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	WideNoise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NoiseSPY	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NoizCrowd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NoiseWatch	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ear-Phone	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SoundOfTheCity	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NoiseMap	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Laermometer	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NoiseDroid	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2Loud?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Fig. 5 : Comparaison d'applications collaboratives pour la mesure du bruit (d'après [9])

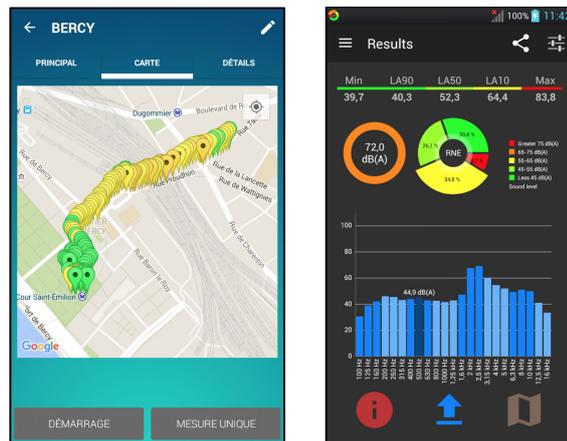


Fig. 6 : Illustration d'applications sur smartphone pour la mesure du bruit. À gauche : Ambiciti¹¹ (Inria/Ville de Paris) en mode parcours. À droite : Résultats d'une mesure du bruit avec NoiseCapture¹²(Ifsttar/CNRS, projet EU ENERGIC-OD)

par des bâtiments¹³, voire de la perte totale de la localisation ; la participation des utilisateurs (par définition des volontaires) doit être active et appropriée pour récolter un nombre d'échantillons représentatif (à la fois pour une période temporelle et une position données)¹⁴ ; la mise en œuvre de la mesure, qui diffère d'un utilisateur à un autre, et qui doit donc être contrôlée [14].

7- <http://noisetube.net/>
 8- <http://www.widetag.com/widenoise/history>
 9- <http://discomap.eea.europa.eu/map/NoiseWatch/>
 10- <http://citysound.itm.uni-luebeck.de/>
 11- L'application Ambiciti (Inria, soutenue par la Ville de Paris) est disponible Google Play et App Store et, est une évolution de l'application SoundCity, intégrant désormais le suivi de l'exposition à la pollution de l'air en complément de la mesure de bruit. (<http://www.inria.fr/centre/paris/actualites/lanancement-de-l-appli-soundcity>).
 12- L'application NoiseCapture (Ifsttar/CNRS) est disponible dans Google Play : https://play.google.com/store/apps/details?id=org.noise_planet.noisecapture&hl=fr
 13- Se pose également la question de la représentation de cartes de bruit, au sens de la directive européenne 2002/49/CE, nécessitant d'interpoler un ensemble de points de mesure (une position donnée à un temps donné), sur une étendue spatiale plus large et sur 24h. Certaines approches proposent ainsi des modèles d'interpolation basés sur des modèles statistiques et acoustiques [17].
 14- Afin de motiver les utilisateurs, certains ont proposé la mesure du bruit sur un mode ludique (« gaming »), comme NoiseBattle (<http://www.geotec.uj.es/geogaming-noisebattle/>) ou NoiseQuest [13].

Enfin, la qualité de la mesure acoustique elle-même est sans doute l'un des points les plus critiques pour les capteurs MEMS (sensibilité, rapport signal sur bruit, linéarité de la réponse en niveau, bande de fréquence limitée, directivité, filtrages additionnels...), auquel s'ajoute également la qualité du codage du traitement du signal dans les applications [15], ce qui, *a minima*, devrait nécessiter un protocole de calibration individuel ou de masse [16]. Néanmoins, la mesure participative avec smartphone semble une solution intéressante [17,18], et peut donner lieu à l'élaboration de cartes de bruit plus réalistes (Figure 7).

Les limites des réseaux de capteurs

Globalement, même si on dénombre un certain nombre d'expérimentations pour la mesure du bruit avec des smartphones ou avec des réseaux de capteurs à bas coût, peu de solutions sont aujourd'hui opérationnelles. En effet, si la mesure elle-même peut être faite « facilement », la **qualification de la donnée** (*i.e.* sa validation et sa transformation en indicateurs acoustiques pertinents) s'avère nettement la plus difficile. C'est notamment vrai pour les mesures avec smartphone, pour lesquelles les raisons d'un rejet de la mesure sont nombreuses (téléphone dans la poche, mesure localisée anormalement dans un bâtiment, microphone non calibré...) [14].

Le **respect de la vie privée** nécessite également une attention particulière. En effet, tout enregistrement audio mérite quelques précautions afin de ne pas identifier clairement le contenu d'une discussion voire une personne en particulier. L'anonymisation des enregistrements doit systématiquement être envisagée [19].

Le développement de réseaux de mesure largement distribués peut également être à l'origine de difficultés supplémentaires. Tout d'abord, la quantité de données mesurées nécessite des espaces de **stockage importants** ainsi que des solutions efficaces et rapides pour la recherche d'informations pertinentes ou pour le partage d'informations avec d'autres services (SIG par exemple). D'un point de vue pratique, il convient également de se poser la question de la maintenance des réseaux. S'il est « facile » d'assurer la maintenance d'un réseau classique (de classe 1, avec des composants de qualité), **la maintenance (et la calibration) de centaines de capteurs à bas coût**, avec, par définition, des composants de moins bonne qualité, pose potentiellement un problème qu'il faut bien avoir anticipé.

Du réseau de capteurs à la production de cartes de bruit

La **production de cartes de bruit**, au sens de la Directive européenne 2002/49/CE, reste difficile, et nécessiterait, à la limite, de disposer d'un réseau de capteurs avec une répartition équivalente à la précision spatiale des cartes de bruit simulées (*i.e.* un maillage de quelques mètres carré), soit des dizaines de milliers de capteurs à l'échelle d'une ville. Il faut également prendre en compte la temporalité de la mesure sur smartphone, puisqu'il semble difficile d'avoir des points de mesure répartis sur 24h. Dans l'avenir, pour pallier cette difficulté, deux solutions complémentaires peuvent être mises en œuvre. La première consiste simplement à **tirer parti de l'ensemble des données disponibles** (*i.e.* issus de réseaux différents : smartphones, réseaux à bas coût, observatoires classiques) afin de disposer simultanément d'un plus grand nombre de mesures.

Cela permettrait notamment de mettre en évidence des variations temporelles et spatiales [20], permettant dans un second temps de couvrir suffisamment le territoire et l'amplitude horaire. La seconde solution consiste à développer des **techniques de fusion de données, mesurées et simulées**, en se basant sur des approches statistiques et des modèles acoustiques [12,21,22] (Figure 7). En matière de recherche, cette seconde méthode constitue un challenge important, afin d'obtenir des cartes de bruit avec un échantillonnage spatial et temporel pertinent.

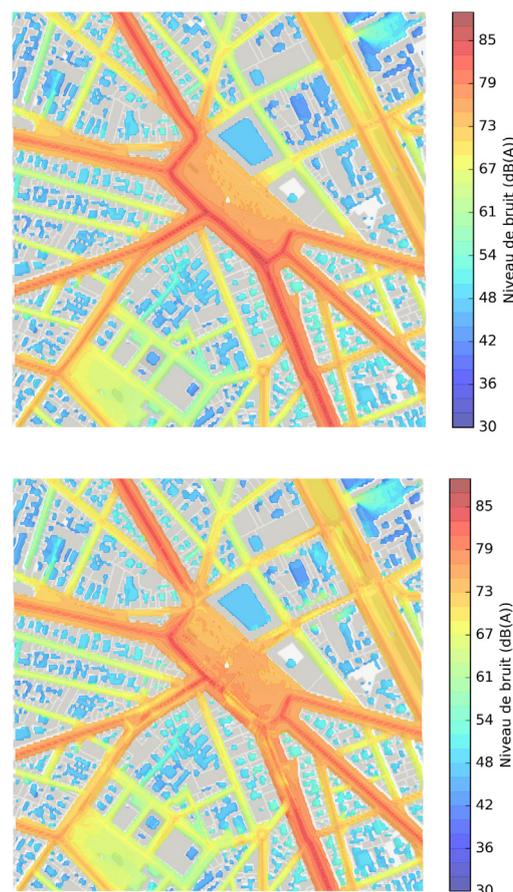


Fig. 7 : Exemple d'une carte de bruit obtenue en combinant mesures sur smartphone et modélisation (source : Inria). En haut : carte de bruit « modélisée » avec un logiciel de cartographie sonore. En bas : carte de bruit obtenue par « fusion » de la cartographie « modélisée » avec des données collectées par des smartphones

Quelles méthodes et quels outils pour la gestion et la manipulation des données

Depuis les années 2000, le domaine des sciences de l'information géographique s'est structuré et organisé pour fournir des méthodes puis des outils de capitalisation des données. Une multitude de standards ont vu le jour pour faciliter les échanges entre les systèmes notamment les données (par exemple : *Geographic Markup Language, GML*) et leur représentation (eg. *Web Map Service, WMS*). Ces standards ont été mis en œuvre pour construire des Infrastructures de Données Spatiales (**IDS**) qui proposent des services pour rechercher (**métadonnées**) et visualiser (**cartographie**) en ligne des données disponibles dans des entrepôts parfois thématiques (IDS pour la qualité de l'air, IDS pour la gestion des ressources aquatiques...).

Une multitude de plateformes a vu le jour soulevant de nouvelles questions de recherche (Figure 8) :

- Comment faciliter l'intégration de données multi-sources (multi-échelles, multi-opérateurs) ?
- Quel modèle de données, protocole, format d'échanges mettre en œuvre pour gérer les données provenant de capteurs ?
- Comment organiser, conserver, naviguer dans les méthodes de traitement mises en œuvre dans ces IDS et éviter leur redondance, garantir un niveau fiabilité et construire ainsi une base de connaissances ?
- Comment garantir la qualité de la donnée mobilisée par les services d'une IDS ?
- Quelles méthodes de représentation mettre en œuvre pour restituer des données de plus en plus complexes et multi-variées ?

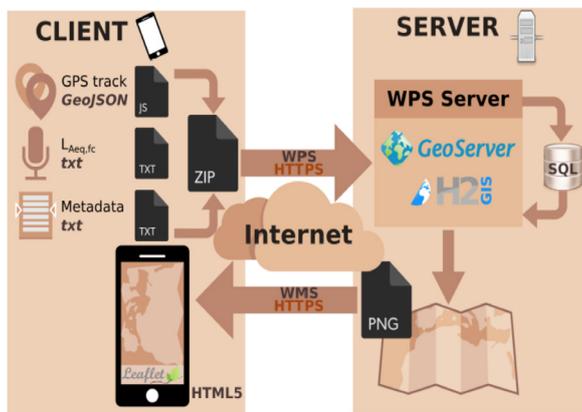


Fig. 8 : Exemple d'un IDS (OnoM@p) associé à la mesure sur smartphone. Source : projet EU ENERGIC-OD (CNRS/Ifsttar)

On comprend à travers ces questions la nécessité de développer une IDS adaptée à la gestion et l'étude de l'environnement sonore en ville : un système intégré, interopérable où l'opérateur scientifique, le citoyen, le gestionnaire disposent des services adaptés pour questionner un territoire ; des services interconnectés et intelligents qui organisent la chaîne de traitements des données selon les questions posées (modélisation pour produire une carte de bruit réglementaire, extraction d'un indicateur d'exposition pour un quartier...). À l'instar des objets connectés, ces services communiquent entre eux pour échanger les éléments nécessaires d'une chaîne de décision. Par exemple, pour étudier l'environnement sonore d'un quartier, le système recherche les capteurs disponibles, analyse leur état et la qualité de la mesure, collecte également des données statiques existantes (modélisation), déclenche les algorithmes nécessaires pour traiter les données puis propose une restitution des résultats sous la forme cartographique ou sous la forme d'un tableau de bord.

Autres applications des réseaux de capteurs

Localisation et suivi d'événements sonores

Au-delà de l'observation, voire de la production de cartes de bruit, les réseaux de capteurs peuvent être utilisés à d'autres fins, comme **le suivi ou la localisation d'événements sonores**. Le projet européen FP7 EART-IT¹⁵ s'est par exemple intéressé à l'utilisation de capteurs acoustiques pour le suivi de véhicules d'urgence.

Plus globalement, sous réserve de disposer de capteurs « relativement autonomes » (alimentation, localisation GPS, transmission de données), il semble possible d'envisager des systèmes « plug-and-play », déplaçables à volonté, le temps, par exemple, de la surveillance d'un chantier urbain. Ce type de capteurs peut également être disposé « à la demande » à l'occasion de plaintes d'habitants ou à proximité d'établissements sensibles. Dans le même esprit, l'intégration de méthodes de localisation de sources, par exemple au sein d'un réseau de capteurs, permettrait de localiser les sources de bruit dans l'environnement, et ainsi de mieux corrélérer les plaintes des habitants avec l'origine de la gêne. Ceci est d'autant plus facile que le réseau de mesure est permanent, et qu'il n'y aurait donc plus nécessité de mettre en place une mesure spécifique a posteriori. Dans cet esprit, on pourra par exemple signaler l'initiative récente de Bruitparif pour localiser l'origine des sources de bruit (concernant plus particulièrement les problématiques liées aux quartiers dits festifs), à une échelle urbaine restreinte, à l'aide d'un capteur spécifique (Figure 9). À l'échelle d'une ville, la méthodologie à mettre en œuvre peut très largement exploiter¹⁶ les techniques développées dans le domaine militaire pour la détection de tirs (snipers) en zones urbaines [23].

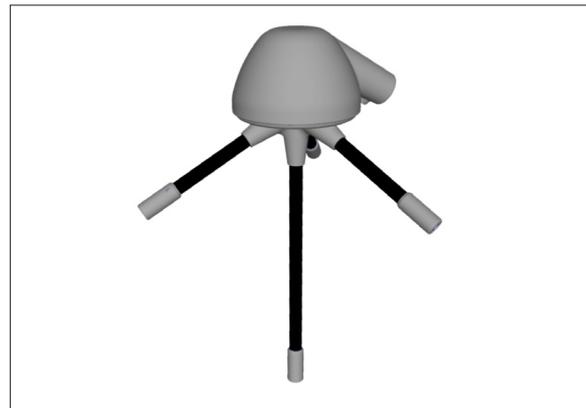


Fig. 9 : Antenne acoustique « La Méduse » pour la localisation de sources sonores en milieu urbain (source : Bruitparif)

Identification de sources sonores

En complément de la localisation de sources, **l'identification même des sources sonores** est également un enjeu important afin de mieux comprendre l'origine des plaintes, ou dans un objectif de produire des cartes de bruit plus « qualitatives » [24]. En effet, la qualité de l'environnement est fortement liée à la nature des sources mises en jeu [25]. Associée à la localisation de sources, l'identification des sources sonores permettrait également le suivi d'événements sonores (explosions, accidents, avertisseurs, etc.) et d'être plus réactifs dans les actions à mettre en œuvre immédiatement (action sur la signalétique, génération de signaux d'alerte...). Plus simplement, il est possible d'envisager des déclenchements d'appareillages par détection acoustique (e.g. allumer un éclairage public si détection d'un véhicule ou d'un piéton).

15- <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ear-it-using-sound-picture-world-new-way>

16- Une solution « civile » est déjà développée pour localiser les tirs d'arme à feu dans les villes.

Retour d'informations vers les usagers

La mesure des nuisances sonores en temps réel peut également donner lieu à un « retour » pour l'usager. Même si cela semble difficile à mettre en place en pratique, on pourrait par exemple mentionner la possibilité de réguler le trafic, en temps réel, afin de limiter l'exposition au bruit des riverains ou de proposer des « périodes calmes ». Une autre application envisageable est de proposer des itinéraires de déplacement « moins bruyants » pour les piétons et cyclistes qui minimiserait leur exposition au bruit [26] (Figure 10). Plus simplement, un retour sur la qualité de l'environnement sonore à proximité du lieu d'habitation des citoyens pourrait être bénéfique (via une application et/ou un site web « interactif ») et répondrait assez bien aux obligations de la Directive européenne 2002/49/CE en termes de sensibilisation aux nuisances sonores et d'information auprès du grand public.

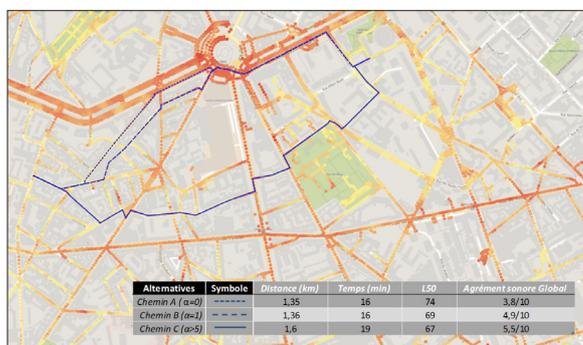


Fig. 10 : Choix d'itinéraires en fonction de l'exposition à différents environnements sonores. Le facteur α permet de préciser le poids donné à l'agrément sonore dans la fonction de coût : plus α est grand, plus l'agrément sonore est recherché ($\alpha=0$ pour l'itinéraire le plus court en distance). Source : projet ADEME GRAFIC.

Autres applications

Il est possible d'envisager d'autres utilisations des réseaux de capteurs acoustiques, comme la mesure des flux de trafic et l'identification de la nature des véhicules et du bruit associé [27] (Figure 11). Toutefois, même si les méthodes d'identification des sources permettent en théorie d'obtenir une information intéressante, elles restent sans-doute encore limitées à ce jour par rapport à des capteurs classiques (boucle électromagnétique et

barreau piézoélectrique de comptage, enregistrement audio/vidéo), pour obtenir une information utile sur le flux de véhicules, leur vitesse et leur profil acoustique.

Réseau de sources sonores

Si l'utilisation de réseaux de capteurs semble le meilleur exemple de l'application du concept de Smart City à l'environnement sonore urbain, il serait également tout à fait possible d'envisager des réseaux de sources sonores pour certaines applications. La plus évidente consiste en la sonification de lieux publics, d'abord pour la diffusion d'informations (messages d'alerte, messages d'information à destination du public), ou pour l'amélioration de la qualité de l'environnement sonore [28]. On notera toutefois le paradoxe de vouloir améliorer l'environnement sonore en produisant des nouveaux sons de manière artificielle [29].

Conclusion

De nombreuses solutions, en relation avec l'environnement sonore, ont été proposées ces dix dernières années sur le sujet de la ville intelligente et connectée, la plupart orientées vers l'utilisation de réseaux de capteurs. Si de nombreuses expérimentations ont eu lieu, et des prototypes développés, très peu d'entre-elles ont donné lieu à une mise en œuvre opérationnelle et pérenne. C'est particulièrement visible concernant les applications pour smartphones, la plupart ayant déjà disparues.

En effet, la réussite de ce type de nouvelles solutions passe par la recherche de porteurs qui puissent prendre le relais des chercheurs et qui soient déjà acteurs de la problématique des environnements sonores (collectivités, spécialistes des capteurs, diffuseurs de solutions pour l'acoustique environnementale, industriels...), le tout dans une démarche pluridisciplinaire (acoustique, instrumentation, traitement du signal, informatique, géomatique...). Dans certains cas également, le succès repose aussi probablement sur le développement et l'acceptation de nouveaux modèles économiques. Par exemple : comment un diffuseur de matériel de mesure acoustique peut-il faire coexister du matériel de classe 1 et de classe 2 (i.e. bas coût) dans son catalogue ? Quel modèle économique pour des données collaboratives ? Autant de sujets sur lesquels on sent toutefois, depuis peu, un début d'intérêt de la part des acteurs concernées, ce qui laisse peut-être entrevoir un début d'évolution dans les pratiques.



Fig. 11 : Antenne 128 voies pour la localisation des sources sonores routières (formation de voie). D'après [27] (Photos : R. Leiba, système MegaMicros - chaire Mouvie - UPMC)

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier J. Ardouin (Wi6labs), R. Leiba (UPMC), R. Machiano (UPMC), V. Mallet (Inria), C. Mietlicki (Bruitparif), C. Mydlarz (SONYC project), L. Sanchez (EU SmartSantander project) et R. Ventura (Inria) pour les illustrations qu'ils leurs ont fournies. Les auteurs remercient également l'ADEME pour son soutien dans le cadre du projet GRAFIC (convention 1317C0028), la Commission Européenne et le programme régional GEOPAL des Pays de La Loire pour leur soutien dans le cadre du projet EU ENERGIC-OD (*European Network for Redistributing Geospatial Information to user Communities - Open Data*) et l'ANR pour son soutien dans le cadre du projet CENSE (convention ANR-16-CE22-012).

Références bibliographiques

- [1] A. Cocchia, « Smart and Digital City: A Systematic Literature Review », in *Smart City*, R. P. Dameri et C. Rosenthal-Sabroux, Éd. Springer International Publishing, 2014, p. 13-43.
- [2] « La smart city doit être plus qu'une ville intelligente », *Meta-media | La révolution de l'information*, 21-nov-2014. <http://meta-media.fr/2014/11/21/la-smart-city-doit-etre-plus-qu'une-ville-intelligente.html>.
- [3] A. Can, L. Dekoninck, et D. Botteldooren, « Measurement network for urban noise assessment: Comparison of mobile measurements and spatial interpolation approaches ». <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X14000693>.
- [4] S. Santini, B. Ostermaier, et A. Vitaletti, « First Experiences Using Wireless Sensor Networks for Noise Pollution Monitoring », in *Proceedings of the Workshop on Real-world Wireless Sensor Networks*, New York, NY, USA, 2008, p. 61-65.
- [5] J. Camps, « Barcelona noise monitoring network » in *Proceedings of Euronoise 2015*, Maastricht, 2015.
- [6] C. Mydlarz, C. Shamoon, M. Baglione, et M. Pimpinella, « The Design and Calibration of Low Cost Urban Acoustic Sensing Devices », in *Proceedings of Euronoise 2015*, Maastricht, 2015.
- [7] J. Picaut et al., « Characterization of urban sound environments using a comprehensive approach combining open data, measurements, and modeling », in *Acoustics '17 Boston*, Boston, USA, 2017, vol. 141, p. 3808-3808.
- [8] D. Radu, C. Avram, A. A tilean, B. Parrein, et J. Yi, « Acoustic noise pollution monitoring in an urban environment using a VANET network », 2012 IEEE International Conference on Automation Quality and Testing Robotics (AQTR), 2012, p. 244-248.
- [9] G. Guillaume et al., « Noise mapping based on participative measurements », *Noise Mapp.*, vol. 3, no 1, 2016, p. 140-156.
- [10] E. Kanjo et al., « MobGeoSen: Facilitating Personal Geosensor Data Collection and Visualization Using Mobile Phones », *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 12, no 8, 2008, p. 599-607.
- [11] E. Kanjo, « NoiseSPY: A Real-Time Mobile Phone Platform for Urban Noise Monitoring and Mapping », *Mob. Netw. Appl.*, vol. 15, no 4, 2009, p. 562-574.
- [12] M. Wisniewski, G. Demartini, A. Malatras, et P. Cudré-Mauroux, « NoizCrowd: A Crowd-Based Data Gathering and Management System for Noise Level Data », in *Mobile Web Information Systems*, F. Daniel, G. A. Papadopoulos, et P. Thiran, Éd. Springer Berlin Heidelberg, 2013, p. 172-186.
- [13] I. G. Mart. et al., « Mobile Application for Noise Pollution Monitoring through Gamification Techniques », in *Entertainment Computing - ICEC 2012*, M. Herrlich, R. Malaka, et M. Masuch, d. Springer Berlin Heidelberg, 2012, p. 562-571.
- [14] C. A. Kardous et P. B. Shaw, « Evaluation of smartphone sound measurement applications », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 135, no 4, 2014, p. EL186-EL192.
- [15] E. Murphy et E. A. King, « Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise », *Appl. Acoust.*, vol. 106, 2016, p. 16-22.
- [16] A. Can, G. Guillaume, et J. Picaut, « Cross-calibration of participatory sensor networks for environmental noise mapping », *Appl. Acoust.*, vol. 110, 2016, p. 99-109.
- [17] E. Murphy et E. A. King, « Smartphone-based noise mapping: Integrating sound level meter app data into the strategic noise mapping », *Sci. Total Environ.*, vol. 562, 2016, p. 852-859.
- [18] P. Aumond et al., « A study of the accuracy of mobile technology for measuring urban noise pollution in large scale participatory sensing campaigns ». *Appl. Acoust.*, vol. 117, 2017, p. 219-226.
- [19] S. Ziegler et K. Sonko, « Privacy Risk Area Assessment Tool for Audio Monitoring – from legal complexity to practical applications », *J. Int. Commer. Law Technol.*, vol. 9, no 3, 2014, p. 138-147.
- [20] A. Can et al., « Sampling approaches to predict urban street noise levels using fixed and temporary microphones », *J. Environ. Monit. JEM*, vol. 13, n°10, 2001, p 2710-2719.
- [21] F. V. D. Eerden, F. Graafland, P. Wessels, et T. Basten, « Urban traffic noise assessment by combining measurement and model results », *Proc. Meet. Acoust.*, vol. 19, no 1, 2013, p. 040143.
- [22] S. Hachem et al., « Monitoring Noise Pollution Using the Urban Civics Middleware ». 2015 IEEE First International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService), 2015, p. 52-61.
- [23] S. Cheinet, L. Ehrhardt, et T. Broglin, « Impulse source localization in an urban environment: Time reversal versus time matching », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 139, no 1, 2016, p. 128-140.
- [24] K. Filipan, M. Boes, B. De Coensel, H. Domitrovi, D. Botteldooren. « Identifying and recognizing noticeable sound from physical measurements and their effect on soundscape », 10th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Euronoise 2015). Maastricht, 2015. ISBN : 2226-5147
- [25] P. Ricciardi, P. Delaitre, C. Lavandier, F. Torchia, et P. Aumond, « Sound quality indicators for urban places in Paris cross-validated by Milan data », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 138, no 4, 2015, p. 2337-2348.
- [26] A. Can, T. Van Renterghem, et D. Botteldooren, « Exploring the use of mobile sensors for noise and black carbon measurements in an urban environment », in *Proceedings of Acoustics 2012*, Nantes, France, 2012, p. 1543-1548.
- [27] R. Leiba, F. Ollivier, R. Marchiano, N. Misdariis, et J. Marchal, « Imagerie acoustique en milieu urbain : de la mesure à la perception du paysage sonore », présenté à Congrès Français d'Acoustique, Le Mans, France, 2016, p. 2085-2091.
- [28] G. Licitra, L. Brusci, et M. Cobianchi, « Italian Sonic Gardens: An Artificial Soundscape Approach for New Action Plans », présenté à *Designing soundscape for sustainable urban development*, Stockholm, Sweden, 2010, p. 21-25.
- [29] L. Brown, « The Noise Control and Soundscape paradigms: complementary approaches to a better acoustic environment », in *Proceeding of Inter-Noise 2017*, Istanbul, Turkey, 2007.