

# ÉCOUTER POUR SAUVER : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET L'ACOUSTIQUE COMME LEVIERS D'EQUITE URBAINE ET DE SECURITE ROUTIERE

*Ali Boulemaredj*

*Département d'architecture, Faculté des Sciences de la Terre, Université de Badji Mokhtar, Annaba,  
[ali.boulemaredj@univ-annaba.dz](mailto:ali.boulemaredj@univ-annaba.dz)*

## **Résumé**

La sécurité routière est l'un des plus grands défis auxquels les villes contemporaines doivent faire face, et la rapidité de l'alerte et de la réponse conditionne fortement le nombre de victimes humaines et matérielles. Ce travail propose un cadre théorique basé sur l'intelligence artificielle et l'acoustique pour la détection précoce des accidents de la route dans des scénarios urbains et extra-urbains. L'approche repose sur des capteurs sonores intelligents qui détectent les événements acoustiques pertinents, tels que le bruit d'une collision, une décélération soudaine ou des dommages structurels, en filtrant les bruits de fond, puis sur le traitement ultérieur des informations – grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond – afin d'identifier et de permettre la détection automatique et rapide des accidents et des situations critiques. La réduction des délais d'intervention des services d'urgence, l'amélioration de la sécurité des utilisateurs du réseau et le renforcement de la résilience du réseau et de l'équité urbaine sont les résultats attendus de ce système, qui est destiné à compléter les logiciels de vidéosurveillance et les systèmes de l'Internet des objets. Dans un monde de plus en plus orienté vers l'analyse des données et la virtualité, le fait de se concentrer sur l'écoute comme élément central d'un système de gestion ouvre de nouvelles possibilités pour des villes et des communautés plus durables, plus inclusives et plus sûres.

**Mots-clés** : Intelligence Artificielle, acoustique, capteurs sonores, algorithmes, IoT, sécurité routière

## **Introduction**

La sécurité routière constitue un enjeu fondamental pour les villes modernes. Dans de nombreux pays du Sud, notamment en Algérie, l'augmentation du parc automobile et la saturation des infrastructures accentuent la vulnérabilité des usagers. Les études en santé publique démontrent que la rapidité d'intervention des secours influence directement le taux de survie des victimes d'accidents (Adewopo et al., 2023). Pourtant, les systèmes actuels de détection reposant sur la vidéosurveillance, cependant les capteurs embarqués montrent leurs limites : couverture incomplète, coûts élevés, dépendance à des conditions de visibilité et d'alimentation énergétique.

Dans ce contexte, nous posons la question de recherche suivante :

**Comment peut-on améliorer la sécurité routière de nos villes et gagner sur une bonne équité urbaine à l'ère des avancées technologiques ?**

L'association de l'intelligence artificielle (IA) et de l'acoustique offre une alternative novatrice. L'écoute, en tant que modalité de perception urbaine, permet de détecter les signaux d'un accident — collision, crissement, déformation — avant même qu'ils ne soient visibles. Plusieurs travaux (Jang, 2018 ; Islam & Abdel-Aty, 2022 ; Banchemo et al., 2025) ont confirmé la pertinence de cette approche, démontrant la rapidité et la précision de la détection sonore dans des environnements réels ou simulés.

Le présent article a pour objectif principal de construire un cadre théorique consolidé sur l'usage de l'intelligence artificielle acoustique dans la détection des incidents routiers, en s'appuyant

sur une *content analysis* cumulative des travaux scientifiques existants, et à élaborer un cadre conceptuel pour une ville écoutante, sensible à ses propres signaux d'alerte.

## **Méthodologie**

Cette recherche s'inscrit dans une démarche exclusivement théorique fondée sur la *content analysis* — ou analyse de contenu scientifique — appliquée à la littérature existante sur l'intelligence artificielle acoustique et la sécurité routière. L'objectif de cette approche est de dégager, à partir d'un corpus d'études, un état de l'art cumulatif, d'identifier les convergences méthodologiques et de formuler une conceptualisation renouvelée du rôle de l'écoute dans la ville. Aucun prototype n'a été testé et aucune simulation n'a été conduite ; le travail repose entièrement sur une interprétation critique des connaissances publiées.

Inspirée des travaux méthodologiques de Krippendorff (2018) et Neuendorf (2017), cette analyse de contenu s'appuie sur un processus systématique d'extraction, de comparaison et d'interprétation des publications scientifiques. Le corpus a été constitué à partir de bases de données académiques telles que Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink et arXiv, couvrant la période 2015–2025. Ont été incluses les études portant sur la détection acoustique d'accidents, la classification d'événements sonores, ou l'intégration de l'IA dans les systèmes de transport intelligents.

Chaque article a fait l'objet d'une lecture intégrale et d'un codage analytique. Les informations ont été classées selon la nature des dispositifs acoustiques (capteurs, microphones, réseaux distribués), les modèles d'apprentissage mobilisés (SVM, CNN, RNN, architectures hybrides), les performances mesurées (précision, délai de détection), les conditions expérimentales (tunnels, zones urbaines, routes à ciel ouvert) et les limites reconnues. Ce codage a permis d'établir une cartographie des approches et d'en dégager une typologie en fonction de leur maturité technologique et de leur pertinence contextuelle.

La seconde phase de l'analyse a consisté en une lecture thématique transversale. Les résultats ont été regroupés et comparés afin d'identifier les points de convergence — notamment la fiabilité croissante des réseaux neuronaux convolutifs et la complémentarité de l'acoustique avec la vision artificielle — ainsi que les divergences liées à la diversité des environnements sonores et à la qualité des bases de données. Enfin, une interprétation critique a été menée pour relier ces tendances à leurs implications urbaines, sociales et éthiques, préparant ainsi la formalisation du modèle conceptuel présenté plus loin.

Cette démarche a donc permis de transformer un ensemble hétérogène de contributions en un cadre théorique cohérent, apte à soutenir le développement de politiques publiques et de projets de recherche sur l'écoute urbaine comme outil de sécurité et d'équité.

## **Résultats et discussion**

L'analyse cumulative des études révèle que l'acoustique, lorsqu'elle est combinée à l'intelligence artificielle, représente une voie technologique solide pour la détection précoce d'incidents routiers. Les travaux pionniers de Jang (2018) ont démontré la possibilité d'une détection quasi instantanée d'accidents en tunnel grâce à la reconnaissance des ondes acoustiques de collision. Cette approche a été perfectionnée par Islam et Abdel-Aty (2022), qui ont entraîné des réseaux de neurones convolutifs sur des spectrogrammes de sons d'accidents, atteignant une précision d'environ 94 %. Les recherches de Jagatheesaperumal et al. (2023) ont ensuite élargi la perspective, en montrant que les signatures acoustiques du trafic pouvaient également servir à évaluer la qualité des infrastructures routières et la fluidité de la circulation. Ces résultats, bien qu'obtenus dans des contextes variés, convergent vers une même conclusion : l'écoute artificielle constitue un outil de détection à la fois réactif, économique et adaptable.

Les capteurs sonores consomment peu d'énergie, nécessitent une maintenance limitée et peuvent être installés dans des zones non couvertes par les caméras. Cette accessibilité technique ouvre la voie à une démocratisation de la surveillance urbaine, en particulier dans les régions périphériques ou rurales où les dispositifs visuels sont absents. En ce sens, l'acoustique contribue à une forme d'équité spatiale en matière de sécurité, en offrant à chaque territoire la capacité d'être entendu et protégé.

Sur le plan méthodologique, les études analysées témoignent d'un progrès rapide vers des systèmes hybrides combinant apprentissage automatique, traitement local (*edge computing*) et intégration dans des architectures AIoT. Les travaux de Saradopoulos et al. (2025) montrent que le traitement du signal à la périphérie du réseau réduit la latence et améliore la réactivité du dispositif, tandis que ceux de Jagatheesaperumal et al. (2024) insistent sur la pertinence d'une interconnexion entre capteurs acoustiques et plateformes urbaines intelligentes. Ces approches confirment que l'acoustique ne doit pas être pensée comme un substitut à la vision, mais comme une modalité complémentaire au sein d'un écosystème de perception multisensorielle.

Cependant, la *content analysis* met également en lumière plusieurs obstacles à la généralisation de ces systèmes. La rareté et l'hétérogénéité des bases de données constituent une limite majeure. La plupart des modèles sont entraînés sur des corpus restreints, souvent collectés dans des environnements spécifiques (tunnels, routes européennes), ce qui réduit leur capacité d'adaptation à d'autres contextes sonores, notamment ceux des villes du Sud. Les conditions climatiques, la densité du trafic ou la topographie influencent considérablement la propagation du son et la précision de la détection, mais peu d'études en tiennent compte de manière systématique. Enfin, la dimension éthique reste un angle mort : la collecte continue de sons en espace public soulève des questions de vie privée et d'acceptabilité sociale, rarement abordées en profondeur (Parineh et al., 2024).

En résumé, l'analyse révèle un champ technologique prometteur mais encore en structuration. Si les performances techniques attestent d'une maturité croissante, les conditions de mise en œuvre exigent une réflexion interdisciplinaire sur la gestion des données, la gouvernance algorithmique et l'intégration urbaine. C'est à la lumière de ces constats qu'émerge la notion de **ville écoutante**, présentée ci-dessous comme cadre conceptuel unificateur.

### **Cadre conceptuel : la ville écoutante**

Le concept de **ville écoutante** découle de la transformation du paradigme technologique de la *smart city*. Là où la ville intelligente classique reposait sur la vision — caméras, reconnaissance d'images, supervision visuelle —, la ville écoutante s'appuie sur la perception acoustique augmentée et sur la capacité des systèmes d'intelligence artificielle à interpréter les sons du monde urbain. Cette approche repose sur un réseau de capteurs sonores intelligents, interconnectés par des architectures AIoT, qui agissent comme des neurones auditifs d'un organisme urbain réactif.

Cette écoute n'est pas seulement technique : elle est aussi sociale et symbolique. Elle traduit une volonté de rendre la ville plus inclusive, attentive aux signaux de ses marges et accessible à tous ses habitants. En offrant aux zones périphériques la possibilité d'être entendues au même titre que les centres urbains, la ville écoutante réintroduit une dimension d'équité spatiale dans la sécurité publique. Elle devient un système de soin collectif plutôt qu'un outil de contrôle.

Sur le plan épistémologique, la ville écoutante propose une lecture temporelle du territoire. L'acoustique, contrairement à la vision, saisit la dynamique : les flux, les rythmes, les ruptures. Elle transforme la ville en un espace vivant, résonnant, où chaque variation sonore devient un indicateur d'équilibre ou d'alerte. Enfin, cette écoute impose une responsabilité nouvelle : celle d'une gouvernance éthique des données, respectueuse de la vie privée et de la transparence. La ville écoutante ne se contente pas de surveiller : elle comprend, elle réagit, elle protège.

## Conclusion et limites de recherche

Cette étude théorique a permis de structurer un état de l'art critique sur les systèmes acoustiques intelligents et d'en extraire un modèle conceptuel intégrateur : la **ville écoutante**. Les résultats montrent que l'acoustique, alliée à l'IA, peut transformer la manière dont les villes perçoivent et gèrent les situations d'urgence. Cette approche ouvre des perspectives concrètes pour améliorer la rapidité d'intervention, étendre la couverture de détection et renforcer l'équité territoriale.

Néanmoins, la recherche actuelle reste limitée par l'absence de bases de données diversifiées, la faible prise en compte des contextes sonores non occidentaux et la nécessité d'encadrer juridiquement la captation sonore. Les perspectives futures devraient viser la constitution de corpus acoustiques localisés, l'expérimentation in situ et la co-conception de dispositifs éthiques et transparents.

En dernier lieu, écouter pour sauver ne relève pas de la métaphore : c'est une orientation stratégique pour des villes plus attentives, plus inclusives et plus humaines.

## Références

- [1] Adewopo, V., Elsayed, N., Elsayed, Z., Ozer, M., Wangia-Anderson, V., & Abdelgawad, A. (2023). *AI on the Road: A Comprehensive Analysis of Traffic Accidents and Accident Detection System in Smart Cities* (arXiv:2307.12128). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.12128>
- [2] Banchemo, L., Vacalebri-Lloret, F., Mossi, J. M., & Lopez, J. J. (2025). *Enhancing Road Safety with AI-Powered System for Effective Detection and Localization of Emergency Vehicles by Sound*. *Sensors*, 25(3), 793. <https://doi.org/10.3390/s25030793>
- [3] Gagliardi, A., Staderini, V., & Saponara, S. (2022). *An Embedded System for Acoustic Data Processing and AI-Based Real-Time Classification for Road Surface Analysis*. *IEEE Access*, 10, 63073–63084. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3183116>
- [4] Ghaffarpassand, O., Hamza, M., & Abdel-Aty, M. (2023). *Traffic Noise Assessment Using Intelligent Acoustic Sensors (Traffic Ear) and Vehicle Telematics Data*. *Sensors*, 23(15), 6964. <https://doi.org/10.3390/s23156964>
- [5] Harris, L. (2025). *AI-Powered Sensor Networks for Real-Time Accident Detection in Intelligent Transportation Systems*.
- [6] Islam, M., & Abdel-Aty, M. (2022). *Deep Convolutional Neural Network for Roadway Incident Surveillance Using Audio Data*. *arXiv preprint arXiv:2203.06059*. <https://arxiv.org/abs/2203.06059>
- [7] Jang, J. (2018). *Instantaneous Incident Detection System Based on Analysis of Acoustic Signal from Crash and Skid in Tunnel*. *The Open Transportation Journal*, 12, 344–352. <https://doi.org/10.2174/1874447801812010344>
- [8] Jagatheesaperumal, S. K., Bibri, S. E., Ganesan, S., & Jeyaraman, P. (2023). *Artificial Intelligence for Road Quality Assessment in Smart Cities: A Machine Learning Approach to Acoustic Data Analysis*. *Computational Urban Science*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.1007/s43762-023-00104-y>
- [9] Jagatheesaperumal, S. K., Bibri, S. E., Huang, J., Rajapandian, J., & Parthiban, B. (2024). *Artificial Intelligence of Things for Smart Cities: Advanced Solutions for Enhancing Transportation Safety*. *Computational Urban Science*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s43762-024-00120-6>
- [10] Krippendorff, K. (2018). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology* (4th ed.). SAGE Publications.
- [11] Matec Conferences. (2020). *Automatic Detection and Classification of Audio Events for Road Surveillance Applications*. *MATEC Web of Conferences*, 314, 05002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202031405002>
- [12] Neuendorf, K. A. (2017). *The Content Analysis Guidebook* (2nd ed.). SAGE Publications.
- [13] Parineh, H., Sarvi, M., & Bagloee, S. A. (2024). *Acoustic Sensors and Audio Signal Processing in Intelligent Transportation Systems: A Survey*. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1–20. <https://doi.org/10.1109/TIV.2024.3476475>
- [14] Saradopoulos, I., Potamitis, I., Ntalampiras, S., Rigakis, I., Manifavas, C., & Konstantaras, A. (2025). *Real-Time Acoustic Detection of Critical Incidents in Smart Cities Using Artificial Intelligence and Edge Networks*. *Sensors*, 25(8), 2597. <https://doi.org/10.3390/s25082597>

- [15] Shams, M. Y., Abd El-Hafeez, T., & Hassan, E. (2024). *Acoustic Data Detection in Large-Scale Emergency Vehicle Sirens and Road Noise Dataset*. *Expert Systems with Applications*, 249, 123608. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123608>
- [16] Szwoch, M., & Kotus, J. (2021). *Detection of Road Vehicles in Acoustic Noise Using a Passive Acoustic Sensor Network*. *Sensors*, 21(23), 7781. <https://doi.org/10.3390/s21237781>