

## **RESUMÉ et MOTS CLÉS**

Pour la diffusion sur le *web*

**TITRE : Intégration de la mobilité et des activités quotidiennes à l'aide de modèles multi-agents lors de l'évaluation de l'exposition au bruit à l'échelle métropolitaine**

### **Résumé**

Le bruit environnemental est un problème majeur dans les zones urbaines en raison de ses effets sanitaires et de ses coûts sociaux et économiques. Selon l'Organisation mondiale de la santé, environ un tiers des Européens subissent des gênes liées au bruit environnemental pendant la journée, et environ un cinquième d'entre eux voient leur sommeil gêné par le seul bruit de la circulation routière. Les effets du bruit sur la santé s'intensifient avec l'urbanisation, qui s'accompagne d'une augmentation de la diversité des sources de bruit.

Dans le but d'établir un cadre juridique pour traiter le bruit dans l'environnement, l'Union européenne a adopté la directive sur le bruit dans l'environnement et formulé des méthodes communes d'évaluation du bruit basées sur la modélisation numérique. La méthode européenne présente des limites importantes : (1) la localisation des individus est statique car on suppose que les individus sont fixés à leur domicile ; (2) l'exposition est estimée sur la base de doses de bruit à long terme, généralement des moyennes énergétiques quotidiennes ou annuelles, négligeant la dynamique détaillée du bruit ; (3) l'évaluation des groupes socio-économiques les plus affectés par le bruit n'est pas systématisée et la population exposée est traitée comme homogène, sans variabilité intra-populationnelle dans les réactions au bruit.

Parallèlement, une nouvelle génération d'études dans le domaine de la recherche sur la santé environnementale, inspirée par les théories de la géographie temporelle et de l'écologie spatiale, préconise l'intégration de la mobilité et des activités quotidiennes dans la recherche sur la santé publique afin d'étudier les phénomènes d'exposition en tant que processus spatio-temporel complexe.

Une solution pour améliorer l'évaluation de l'exposition au bruit consiste à mettre en œuvre des cadres d'exposition multi-agents. Ces cadres simulent un plan d'activité quotidienne pour chaque individu d'une population modélisée sur une période de 24 heures d'un jour de semaine typique. Ces évaluations de l'exposition au niveau individuel permettent d'estimer à la fois les trajectoires des agents et les conditions de bruit qu'ils rencontrent dans différents contextes d'activité.

Cependant, il est très important de comprendre la pertinence de ces évaluations dans le contexte de modèles initialement conçus pour des études de transport. L'objectif initial de ce travail est donc de situer l'estimation de l'exposition à l'aide de multi-agents par rapport à d'autres méthodologies d'évaluation de l'exposition, en identifiant ses limites, ses points forts et les possibilités d'amélioration. De plus, les connaissances concernant l'utilisation et la formulation d'analyses basées sur ces résultats sont encore limitées. Par conséquent, le deuxième objectif est de développer des cadres d'évaluation, des mesures et des indicateurs innovants dans le contexte des problèmes de bruit urbains contemporains. À cette fin, deux études ont été menées : (a) une évaluation spatio-temporelle de l'accessibilité d'une population aux zones calmes, et (b) une évaluation des zones d'exposition critique au cours de la journée dans le contexte de la formulation de plans d'action contre le bruit.

Ces études s'appuient sur un scénario open-source appliqué à l'aire métropolitaine de Lyon et composé de trois outils principaux : EQASim, MATSim et NoiseModelling. EQASim est utilisé pour la modélisation de la population synthétique, de l'attribution des plans d'activité aux agents et de la modélisation des infrastructures et des services de transport. MATSim est utilisé pour la simulation de transport multi-agents utilisant la population synthétique et le système de transport précédemment modélisés par EQASim. Enfin, NoiseModelling permet de

caractériser le bruit provenant des différents flux de transport et des sources environnementales. Il calcule ensuite la propagation du son et estime les conditions de bruit dans l'environnement.

Les résultats de ce travail soulignent l'impératif de conceptualiser l'évaluation de l'exposition comme un processus à multiples facettes englobant quatre dimensions de modélisation : la représentation de l'espace, du temps, de l'individu et de sa trajectoire d'activités. Les méthodologies développées contribuent à la compréhension des impacts environnementaux négatifs sur la population et à la compréhension des opportunités permettant à la population d'accéder à des environnements ayant des impacts positifs, deux perspectives complémentaires de l'acoustique environnementale. L'étude souligne le rôle central des caractéristiques de la population dans la hiérarchisation des efforts d'atténuation et des stratégies environnementales urbaines.

Enfin, l'évaluation de l'exposition au niveau individuel et la flexibilité des modèles multi-agents permettent une étude spatio-temporelle complète de l'exposition au bruit, en tenant compte des contextes d'activité, des périodes de temps et des caractéristiques spécifiques des groupes affectés. Les recherches futures devraient se concentrer sur l'élaboration de relations exposition-réponse pour des évaluations spécifiques au contexte, adaptées aux approches multi-agents. Il est essentiel de reconnaître que des efforts sont en cours pour améliorer la traduction des cadres d'exposition basés sur des agents en plans d'action. Ce processus nécessite une validation supplémentaire du modèle d'exposition en vue d'applications prévues.

**MOTS-CLÉS :** Évaluation de l'exposition ; bruit environnemental ; zones calmes ; modèles multi-agents ; modèles basés sur l'activité ; mesures d'accessibilité.

---

**TITLE: Including everyday mobility and activities with agent-based models when assessing noise exposure at the metropolitan scale.**

### **Abstract**

Environmental noise is a major problem to be confronted in urban areas due to its detrimental health outcomes, and social and economic costs. According to the World Health Organization, approximately one-third of Europeans experience environmental noise-related disturbances during the daytime with approximately one-fifth having their sleep disturbed by traffic noise alone. Noise health impacts are intensified with urbanization which is associated with an increase in the diversity of noise sources.

With the objective of establishing a legal framework to address environmental noise, the European Union passed the Environmental Noise Directive and formulated a Common Noise Assessment Methods based on numerical modeling. The European method has strong limitations: (1) the location of the individuals is static as it is assumed that individuals are fixed to their homes; (2) the exposure is estimated based on long-term noise doses, usually daily or annual energetic averages, neglecting detailed noise dynamics; (3) the assessment of the socio-economic groups the most affected by noise is not promoted and the exposed population is treated as homogeneous, without intra-population variability in noise reactions.

In parallel, a new generation of studies in environmental health research, inspired by the theories of time geography and spatial ecology, advocates for the integration of mobility and everyday activities in public health research to study the exposure phenomena as a complex spatio-temporal process.

One solution for improving noise exposure assessments is the implementation of agent-based exposure frameworks. These frameworks simulate an everyday activity plan for each individual of a modeled population over a 24-hours of a typical working weekday. These individual-level exposure assessments allow the estimation of both agents' trajectories and the noise conditions they encounter over different activity contexts.

However, it is very important to understand the relevance of these assessments within the context of models initially designed for transport studies. Then, the initial objective of this work is to situate the exposure estimation with agent-based models in relation to other exposure assessment methodologies, identifying its limitations, its strengths, and the avenues for its enhancement. Furthermore, there is still limited knowledge regarding the utilization and formulation of analyses based on these results. Consequently, the second objective is to develop innovative assessment frameworks, metrics, and indicators in the context of contemporary urban noise problems. To this end, two studies have been conducted: (a) a spatio-temporal assessment of the accessibility of a population to quiet areas, and (b) an assessment of critical exposure areas over the clock in the context of formulating Noise Action Plans.

These studies rely on an open-source scenario applied to the Lyon Metropolitan Area composed of three main tools: EQASim, MATSim and NoiseModelling. EQASim is utilized for the modeling of the synthetic population, the assignment of activity plans to agents, and the modeling of transport infrastructure and services. MATSim is utilized for the agent-based transport simulation utilizing the synthetic population and transportation system previously modeled by EQASim. NoiseModelling is utilized to characterize noise from different transport traffic flows and environmental sources. It then calculates sound propagation and estimates the environmental noise conditions.

The findings of this study underscore the imperative of conceptualizing exposure assessment as a multifaceted process encompassing four modeling dimensions: the representation of space, time, the individual, and his trajectory of activities. The methodologies developed contribute to the understanding of the adverse environmental impacts on the population and the understanding of opportunities for the population to access environments with positive impacts, two complementary perspectives of environmental acoustics. The study emphasizes the pivotal role of population characteristics in prioritizing mitigation efforts and urban environmental strategies.

Finally, the assessment of exposure at the individual level and the flexibility of agent-based models allow for a comprehensive spatio-temporal investigation of noise exposure, taking into account activity contexts, time periods, and specific characteristics of affected groups. Future research should focus on elaborating exposure-response relationships for context-specific assessments adapted to agent-based approaches. It is essential to acknowledge that efforts are underway to enhance the translation of agent-based exposure frameworks into actionable plans. This process necessitates additional validation of the exposure model considering its potential future applications.

**Key words:** Exposure assessment; Environmental Noise; Quiet areas; Agent-based models; Activity-based models; Accessibility metrics.

NOM et Prénom du doctorant  
GALASSI LUQUEZI Leonardo



Visa du Directeur de thèse  
CAN Arnaud

