



Micro-événements et sécurité perçue des usagers de navettes autonomes en milieu périurbain : une approche psychophysiological et déclarative

Fatima-Zahra Dahak, Julia Frotey, Jeanne Lallement, Tatiana Graindorge

► To cite this version:

Fatima-Zahra Dahak, Julia Frotey, Jeanne Lallement, Tatiana Graindorge. Micro-événements et sécurité perçue des usagers de navettes autonomes en milieu périurbain : une approche psychophysiological et déclarative. Rencontres Francophones Transport Mobilité, May 2026, Hammamet, Tunisie. <hal-05666858>

HAL Id: hal-05666858

<https://hal.science/hal-05666858v1>

Submitted on 23 Jun 2026

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.



Copyright - All rights reserved



Session Thématique : Enjeux en Sécurité routière : étudier, analyser et évaluer

Micro-événements et sécurité perçue des usagers de navettes autonomes en milieu périurbain : une approche psychophysiological et déclarative

Dahak, Fatima-Zahra, INRS, La Rochelle Université, EIGSI, fatima-zahra.dahak@inrs.ca,
fatima-zahra.dahak@univ-lr.fr, fatimazahra.dahak@eigsi.fr

Frotey, Julia, INRS, julia.frotey@inrs.ca

Lallement, Jeanne, La Rochelle Université, jeanne.lallement@univ-lr.fr

Graindorge, Tatiana, EIGSI, tatiana.graindorge@eigsi.fr

Résumé

Le déploiement des navettes autonomes en milieu périurbain soulève des enjeux majeurs en matière de sécurité perçue et d'acceptabilité des usagers (Zhou et al., s. d.; McStay et Urquhart 2022). Si les performances techniques de ces systèmes sont largement étudiées, les mécanismes émotionnels et perceptifs influençant l'expérience des usagers dans des situations ponctuelles restent encore insuffisamment compris (Zhou et al., s. d.; Kim et al. 2020; Li et al. 2024; Wang et al. 2024). En particulier, les réactions non conscientes suscitées par des événements brefs et spatialement localisés sont rarement prises en compte dans les approches classiques d'évaluation de la sécurité (Boffi et al. 2022; Kim et al. 2020; Palomares et al. 2023).

Dans cette perspective centrée sur les facteurs humains, cette étude propose le concept de *micro-événement* pour désigner des occurrences réelles, brèves et spatialement localisées susceptibles d'altérer ponctuellement la sécurité perçue des usagers lors de trajets en navette autonome (Boffi et al. 2022; McStay et Urquhart 2022). Bien que la littérature en transport mobilise des notions proches telles que les événements critiques, les situations de conflit ou les « *stressors* », le terme



micro-événement n'est pas formellement stabilisé. Il est ici introduit par analogie avec le concept de *micro-scénario* issu des travaux en simulation de conduite, qui vise à isoler des séquences minimales pertinentes pour l'analyse ciblée des comportements, tout en limitant l'exposition et la complexité de l'expérimentation (Perello-March et al. 2024; Wang et al. 2019).

L'objectif de cette recherche est d'analyser conjointement les réactions psychophysiologiques et les émotions déclarées des usagers afin d'identifier ces micro-événements et de mieux comprendre leur rôle dans la construction de la sécurité perçue (Boffi et al. 2022; Li et al. 2024). L'analyse se concentre sur l'identification de variations significatives de l'activation physiologique, interprétées comme des indicateurs d'altérations ponctuelles de la sécurité perçue, et sur l'examen de leur relation avec les émotions déclarées et le contexte de déplacement, en prenant en compte l'influence de la complexité environnementale et des dynamiques perçues du trajet (Perello-March et al. 2024; Wang et al. 2024; Zhang et al. 2025; Zhou et al., s. d.).

En proposant un cadre conceptuel et analytique centré sur les micro-événements, cette recherche vise à enrichir les méthodes d'évaluation de la sécurité perçue en mobilité autonome (Wang et al. 2024). Les résultats attendus devraient contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes affectant l'acceptabilité des navettes autonomes et fournir des pistes pour une conception et une intégration plus sensible aux perceptions et aux émotions des usagers, en particulier dans les territoires périurbains (Li et al. 2024; Zhou et al., s. d.; Palomares et al. 2023; Perello-March et al. 2024).

Mots-clés

Sécurité perçue, navettes autonomes, mesures psychophysiologiques, acceptabilité, micro-événements

1. Objectifs de la communication

Cette étude vise à analyser les variations psychophysiologiques et les émotions déclarées des usagers lors de trajets en navette autonome afin d'identifier les micro-événements altérant la sécurité perçue et d'éclairer les mécanismes d'acceptabilité en milieu périurbain.

2. Méthodologie

Cette recherche repose sur une approche expérimentale visant à analyser la sécurité perçue des usagers lors de trajets en navette autonome en milieu périurbain, en mobilisant conjointement des mesures psychophysiologiques continues et des données déclaratives (Li et al. 2024). L'objectif est



RFTM 2026: 8èmes Rencontres Francophones Transport Mobilité

11-13 Mai 2026 Hammamet - Tunisie

de mieux comprendre les réactions émotionnelles, conscientes et implicites, suscitées par certaines situations de circulation au cours du trajet. Le protocole expérimental est structuré en trois phases distinctes. La phase pré-trajet consiste en la présentation du dispositif expérimental, le recueil du consentement éclairé des participants et leur équipement avec des gilets connectés permettant l'enregistrement continu des signaux psychophysologiques. La phase de trajet correspond à la réalisation d'un déplacement à bord d'une navette autonome sans conducteur, durant lequel les données physiologiques et contextuelles sont collectées en continu. Enfin, la phase post-trajet comprend le retrait des capteurs et l'administration d'un questionnaire visant à recueillir les émotions ressenties, la sécurité perçue et l'évaluation globale de l'expérience.

La collecte repose sur une approche multimodale combinant des données objectives et subjectives. Les mesures de sécurité perçue sont recueillies en temps réel à l'aide de gilets connectés enregistrant notamment la fréquence cardiaque (HR) et la réponse galvanique cutanée (GSR/SCR). En complément, les données déclaratives sont collectées à l'issue du trajet à travers un questionnaire post-expérience, permettant d'évaluer les émotions déclarées et la perception subjective de la sécurité (Boffi et al. 2022; Palomares et al. 2023).

Les signaux physiologiques font ensuite l'objet d'un pré-traitement comprenant des opérations de nettoyage et de filtrage afin de réduire le bruit et d'extraire les composantes pertinentes associées aux réactions physiologiques (Halim et Rehan 2020; Zhang et al. 2025). Une ligne de base individuelle est établie pour chaque participant à partir de mesures recueillies dans des conditions de faible stimulation. Cette normalisation permet de tenir compte des différences interindividuelles et de comparer les variations physiologiques relatives entre participants (Avetisyan et al. 2025; Perello-March et al. 2024; Zhang et al. 2025).

L'identification des micro-événements de sécurité perçue repose sur une analyse temporelle fine des données psychophysologiques, segmentées en intervalles courts. Les segments présentant des variations significatives de l'activation physiologique sont interprétés comme des micro-événements traduisant une altération ponctuelle de la sécurité perçue (Avetisyan et al. 2025; Zhang et al. 2025). Ces micro-événements sont ensuite géolocalisés à l'aide des données GPS associées aux trajets, afin d'identifier les zones et situations de circulation susceptibles de générer une perception de moindre sécurité (Perello-March et al. 2024; Zhang et al. 2025).

Enfin, des analyses statistiques sont mobilisées afin d'interpréter les données recueillies. Des analyses de variance à mesures répétées (ANOVA) permettent de comparer les niveaux d'activation physiologique observés lors des micro-événements à ceux mesurés durant des segments de référence (Palomares et al. 2023; Avetisyan et al. 2025; Perello-March et al. 2024). Par ailleurs, des



analyses de corrélation sont menées entre les indicateurs psychophysiologiques et les données déclaratives issues des questionnaires post-trajet. Ces analyses visent à examiner la cohérence ou la divergence entre les réactions émotionnelles implicitement mesurées et les émotions déclarées par les usagers, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des mécanismes de construction de la sécurité perçue et de l'acceptabilité des navettes autonomes en milieu périurbain (Zhang et al. 2025; Avetisyan et al. 2025; Zhou et al., s. d.).

3. Résultats attendus

Les résultats attendus de cette étude visent à mieux comprendre la sécurité perçue des usagers lors de trajets en navette autonome en milieu périurbain, à partir d'une analyse fine des réactions psychophysiologiques et des émotions déclarées (Boffi et al. 2022).

Premièrement, il est attendu que les micro-événements identifiés à partir des variations psychophysiologiques soient associés à des réactions physiologiques significativement plus intenses que celles rapportées par les questionnaires post-trajet (Boffi et al. 2022). Cette divergence entre mesures implicites et explicites permettrait de mettre en évidence l'existence de réactions émotionnelles non conscientes, difficiles à verbaliser par les usagers, mais néanmoins révélatrices d'une altération ponctuelle de la sécurité perçue (Boffi et al. 2022; Palomares et al. 2023).

Deuxièmement, une association positive est attendue entre l'intensité de l'activation psychophysiologique (augmentation de la fréquence cardiaque et de la réponse électrodermale) et l'intensification des émotions négatives déclarées, telles que la peur, la surprise, l'inconfort ou le stress (Palomares et al. 2023; Avetisyan et al. 2025). Cette relation contribuerait à valider l'utilisation des indicateurs psychophysiologiques comme des proxys fiables de la sécurité perçue (Perello-March et al. 2024; Zhang et al. 2025).

Troisièmement, les micro-événements survenant dans des environnements caractérisés par une complexité accrue (intersections, routes étroites, trafic dense ou structuré) devraient générer des niveaux d'activation physiologique plus élevés que ceux observés dans des contextes plus simples (Zhang et al. 2025; Palomares et al. 2023). Ces résultats permettraient d'identifier des configurations spatiales particulièrement sensibles du point de vue de la sécurité perçue (Avetisyan et al. 2025; Perello-March et al. 2024).

Enfin, les variations cinématiques perçues par les usagers, telles que des accélérations, décélérations ou freinages brusques, devraient être associées à une augmentation significative de l'activation psychophysiologique, traduisant une perception accrue du risque, même en l'absence d'incident objectif (Zhou et al., s. d.; Perello-March et al. 2024).



Au-delà de ces apports théoriques, cette recherche devrait également produire des résultats directement mobilisables par les décideurs et les acteurs de l'aménagement urbain (Boffi et al. 2022). Sur le plan urbain et opérationnel, certains choix d'aménagement pourraient réduire le stress et l'inconfort des passagers (Li et al. 2024; Palomares et al. 2023). Par exemple, l'installation de séparations physiques légères entre la voie de la navette et les espaces piétons, comme des bordures ou des dispositifs de protection, pourrait limiter l'imprévisibilité des interactions avec les usagers vulnérables et renforcer le sentiment de sécurité à bord (Barosan 2020).

De plus, les intersections complexes ou atypiques, ainsi que les zones de circulation à contre-sens, apparaissent comme des points critiques pour l'expérience des passagers (Perello-March et al. 2024). Ces espaces pourraient bénéficier de dispositifs de signalisation spécifiques et de systèmes de communication entre l'infrastructure et la navette pour rendre les mouvements du véhicule plus lisibles et rassurants (Giannaros et al. 2023).

Enfin, des interfaces de communication externe des navettes, indiquant clairement leurs intentions aux piétons et aux cyclistes, devraient contribuer à réduire les situations de conflit et à renforcer le sentiment de sécurité à bord (Giannaros et al. 2023; Palomares et al. 2023).

Dans l'ensemble, ces résultats ouvrent la voie à des recommandations concrètes pour la sécurité routière et l'aménagement urbain. Ils soulignent l'importance d'articuler technologie, réglementation et organisation spatiale pour garantir une intégration socialement acceptable et sécurisée des navettes autonomes en milieu périurbain (Avetisyan et al. 2025; Kim et al. 2020; Zhou et al., s. d.).

4. Bibliographie

- Avetisyan, L, E Abolarin, V Zakarian, XJ Yang, et ... 2025. « The Mediating Effects of Emotions on Trust through Risk Perception and System Performance in Automated Driving ». *arXiv preprint arXiv ...*, n° Query date: 2025-06-24 17:14:31. <https://arxiv.org/abs/2504.04508>.
- Barosan, II. 2020. *CarESP: an emotion vehicle with stress, personality and embodiment of emotions*. n° Query date: 2025-06-24 17:14:31. https://research.tue.nl/files/165853670/1345184_Manrique.pdf.
- Boffi, Marco, Barbara E.A. Piga, Lorenzo Mussone, et Giandomenico Caruso. 2022. « Investigating Objective and Perceived Safety in Road Mobility ». *Transportation Research Procedia* 60: 600-607. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.077>.
- Giannaros, A, A Karras, L Theodorakopoulos, et ... 2023. « Autonomous vehicles: Sophisticated attacks, safety issues, challenges, open topics, blockchain, and future directions ». ... of



Cybersecurity and ..., n° Query date: 2025-06-24 17:14:31. <https://www.mdpi.com/2624-800X/3/3/25>.

Halim, Z, et M Rehan. 2020. « On identification of driving-induced stress using electroencephalogram signals: A framework based on wearable safety-critical scheme and machine learning ». *Information Fusion*, n° Query date: 2025-06-24 17:14:31. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253518303221>.

Kim, H, J Ben-Othman, L Mokdad, J Son, et C Li. 2020. « Research challenges and security threats to AI-driven 5G virtual emotion applications using autonomous vehicles, drones, and smart devices ». *IEEE network*, n° Query date: 2025-06-24 17:14:31. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9220178/>.

Li, Wenbo, Guofa Li, Ruichen Tan, et al. 2024. « Review and Perspectives on Human Emotion for Connected Automated Vehicles ». *Automotive Innovation* 7 (1): 4-44. <https://doi.org/10.1007/s42154-023-00270-z>.

McStay, Andrew, et Lachlan Urquhart. 2022. « In Cars (Are We Really Safest of All?): Interior Sensing and Emotional Opacity ». *International Review of Law, Computers & Technology* 36 (3): 470-93. <https://doi.org/10.1080/13600869.2021.2009181>.

Palomares, Nicolás, Begoña Mateo, Juan-Manuel Belda-Lois, et al. 2023. « Detection of Occupant Emotion in Automated Vehicles under Different Driving Conditions ». *Transportation Research Procedia* 72: 3917-24. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.489>.

Perello-March, Jaume, Christopher G. Burns, Roger Woodman, Stewart Birrell, et Mark T. Elliott. 2024. « How Do Drivers Perceive Risks During Automated Driving Scenarios? An fNIRS Neuroimaging Study ». *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 66 (9): 2244-63. <https://doi.org/10.1177/00187208231185705>.

Wang, Xiaoyuan, Junyan Han, Yaqi Liu, et al. 2024. « A Dynamics Model for Driving Behavior Based on Coupling Actuation of Bounded Rational Cognition and Diverse Emotions ». *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 159 (février): 104479. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104479>.

Wang, Xiaoyuan, Yaqi Liu, Fang Wang, Jianqiang Wang, Liping Liu, et Jingheng Wang. 2019. « Feature Extraction and Dynamic Identification of Drivers' Emotions ». *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 62 (avril): 175-91. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.01.002>.

Zhang, Xiaofei, Haoyi Zheng, Jun Li, Zongsheng Xie, Huamu Sun, et Hong Wang. 2025. « Safety Decision-Making for Autonomous Vehicles Integrating Passenger Physiological States by



RTTM 2026: 8èmes Rencontres Francophones Transport Mobilité

11-13 Mai 2026 Hammamet - Tunisie

fNIRS ». *Cyborg and Bionic Systems* 6 (janvier): 0205.

<https://doi.org/10.34133/cbsystems.0205>.

Zhou, F, L Avetisyan, E Abolarin, V Zakarian, et ... s. d. « The Mediating Effects of Emotions on Trust Through Risk Perception and System Performance in Automated Driving ». *Available at SSRN ...*, n° Query date: 2025-06-24 17:14:31.

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5210893.