

# Titre : Perception coopérative efficace pour les systèmes de transports intelligents coopératifs

## Contexte :

Les véhicules autonomes connectés (CAV) émergent comme une combinaison de deux paradigmes clés : Les véhicules connectés (CV), en particulier au sein des systèmes de transport coopératifs et intelligents (C-ITS), et les véhicules autonomes (AV). Dans ces réseaux, divers composants (véhicules, bus, tramways, infrastructures routières, motos, vélos et même piétons) coopèrent pour améliorer la mobilité des citoyens, accroître l'efficacité des systèmes de transport et réduire à la fois les coûts et l'impact sur l'environnement. Avec les progrès des technologies sans fil telles que les réseaux cellulaires ETSI ITS-G5 et 3G/4G/5G, ainsi que des capteurs tels que les lidars, les caméras et le GPS, les CAV ont suscité un intérêt croissant de la part des chercheurs et de l'industrie au cours de la dernière décennie. Les véhicules autonomes s'appuient sur les données de leurs capteurs pour permettre la conduite autonome grâce à des systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS). Cependant, la présence de capteurs hétérogènes nécessite l'utilisation de la fusion de données pour fournir des informations précises et fiables. En outre, les véhicules connectés améliorent leur connaissance de la situation grâce aux communications de véhicule à véhicule (V2V), en échangeant des messages de sensibilisation coopérative (CAM), des messages de notification environnementale décentralisée (DENM) et des messages de perception collective (CPM). Ces messages permettent au véhicule de mieux comprendre l'environnement routier et l'état des véhicules voisins. Un aspect essentiel des CAV est la perception coopérative, ou perception collective/collaborative, qui permet aux véhicules autonomes de partager des données de capteurs avec d'autres véhicules et infrastructures, étendant ainsi leurs capacités de détection au-delà de la ligne de mire. Les CAV fusionnent donc les points forts des CV et des AV, mais ils héritent également des limites de ces deux types de véhicules.

Pour cette étude, les hypothèses de recherche retenues dans ce projet sont les suivantes :

- Tous les CAV sont équipés d'un OBU (On Board Unit) intégrant la pile de communication V-2X qui met en œuvre le réseau ITS-G5 et/ou le réseau cellulaire.
- Tous les CAV envoient périodiquement des CAM et peuvent générer des DENM si les conditions sont remplies.

- Chaque CAV est équipé de certains capteurs (Lidar, caméra, GPS, etc.) qui l'aident dans la conduite autonome, en plus des données reçues de l'infrastructure routière (I2V) et des autres véhicules (V2V).
- En outre, chaque CAV partage périodiquement ses CPM avec les objets détectés sur la route.
- Les capteurs peuvent être mal calibrés ou générer des données inexactes en raison, par exemple, d'un dysfonctionnement ou des conditions météorologiques.

## Objectifs :

Ce projet vise à proposer de nouvelles approches originales basées sur l'approche Federated Learning (FL) ainsi que l'approche Self Supervised Learning (SSL) pour la conception des mécanismes de fusion efficaces afin d'améliorer la perception de l'environnement par le véhicule. Cette approche fusionnera les données provenant de la connectivité, des capteurs des véhicules, des équipements des infrastructures, du trafic routier, des piétons, etc. pour faciliter la détection. D'autres défis qui seront considérés concernent la fusion des données entre les capteurs locaux et les données provenant d'autres CAV et la définition de certains paramètres pour bien classifier les objets et ainsi éviter les accidents avec une conduite autonome. Ce travail nécessitera donc de lever plusieurs verrous technologiques et scientifiques, à savoir :

- La proposition de mécanismes de fusion de données robustes et résistants aux anomalies.
- Le développement de techniques FL et SSL pour améliorer la robustesse de la détection, de la classification et de la prédiction des objets en fonction de l'environnement (pluie, neige, sombre, etc.).
- La définition de métriques pour mesurer l'efficacité de la perception collaborative.

Ainsi, ce projet traitera des données provenant de différentes sources (CAM, DENM, CPM, infrastructure routière, capteurs intégrés (lidars, caméras, radars, etc.)). Pour cela, nous devons d'abord harmoniser ces différentes données avant de construire la perception. Ensuite, elles seront fusionnées à l'aide d'algorithmes d'apprentissage, où les observations non labélisées sont nombreuses et les labels sont difficiles à obtenir d'où le recours au SSL. La combinaison de données provenant de sources multiples implique non seulement de fusionner les sorties des capteurs, mais aussi d'interpréter à l'aide d'algorithmes de Machine Learning (ML) adéquats, les informations dans des contextes complexes et réels, tels que les intersections avec un trafic mixte (piétons, vélos, voitures, etc.) comme les algorithmes à base de FL. En effet, les algorithmes FL sont bien adaptés au réseau des véhiculaires car il garantit la confidentialité des données du véhicule qui sont très sensibles (identités des passagers, leur position

actuelle, leur destination, etc.) puisqu'elles sont toujours traitées localement par le véhicule et ne sont jamais communiquées au serveur.

Des simulations réalistes approfondies seront effectuées à l'aide de scénarios imitant certaines conditions afin d'étudier leurs impacts sur la qualité de la perception et de mesurer son efficacité.

Enfin, nous profiterons de notre participation à des projets européens en cours, de la plateforme [SYFRA](#) et de la piste d'essai [GYROVIA](#) à Valenciennes pour réaliser des expérimentations réelles et évaluer les performances des mécanismes proposés.

## Mot clé :

- Connected and Autonomous Vehicles (CAV)
- Perception Cooperative
- Federated Learning (FL)
- Self Supervised Learning (SSL)

## Références :

[1] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-01), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service, available here.

[2] ETSI EN 302 637-2 V1.3.1 (2019-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service, available here.

[3] ETSI TS 103 324 - V2.1.1 (2023-06), Intelligent Transport System (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Collective Perception Service; Release 2, available here.

[4] H. Pinho and J. Ferreira, "Sensor Fusion for Improved Cooperative Perception in CCAM," 2024 IEEE 99th Vehicular Technology Conference (VTC2024-Spring), Singapore, Singapore, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTC2024-Spring62846.2024.10683657.

[5] A. Figueiredo, P. Rito, M. Luís and S. Sargento, "Enhancing Vehicular Network Efficiency: The Impact of Object Data Inclusion in the Collective Perception Service," in IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems, vol. 5, pp. 454-468, 2024, doi: 10.1109/OJITS.2024.3437206.

[6] Zhang, Yuxuan, Bing Chen, Jie Qin, Feng Hu, and Jie Hao. 2024. "CooPercept: Cooperative Perception for 3D Object Detection of Autonomous Vehicles" *Drones* 8, no. 6: 228. <https://doi.org/10.3390/drones8060228>

[7] Belmekki, Sabrine, and Dominique Gruyer. 2024. "Advanced Road Safety: Collective Perception for Probability of Collision Estimation of Connected Vehicles" *Computers* 13, no. 1: 21. <https://doi.org/10.3390/computers13010021>

[8] Liu, J., Xia, C., Cui, X. et al. CPCS: a perception sharing scheme of vehicle-road cooperation based on cybertwin. *J Supercomput* 81, 430 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11227-025-06939-y>