

Titre Thèse :

## **Application de l'Internet des Objets Vidéo (IoVT) dans les réseaux véhiculaires V2X**

(Co)-directeur : Iyad Dayoub

(Co)-directeur : François-Xavier Coudoux

(Co)-encadrant : Patrick Corlay

Laboratoire : IEMN CNRS 8520

Groupe : COMNUM, site de Valenciennes

Financement acquis ? Non

Financement demandé : contrat doctoral

### **Introduction :**

L'essor mondial de l'Internet des objets (IoT) au cours de la dernière décennie a permis de nombreuses nouvelles applications dans différents secteurs d'activité tels que la santé, l'industrie ou les transports. L'IoT permet l'interconnexion d'une grande variété d'équipements et de capteurs, dont les capteurs visuels qui offrent l'avantage de fournir des informations plus riches et plus polyvalentes. On parle dans ce cas d'internet des objets vidéo (Internet of Video Things, ou IoVT).

Parmi les applications émergentes de l'IoVT, celles liées au transport occupent une place primordiale. En effet, l'émergence des communications *Vehicle-to-Everything* (V2X) a provoqué une véritable révolution dans le monde de l'industrie automobile. Cette technologie permet aux véhicules d'établir une communication non seulement entre eux, mais également avec diverses entités de l'environnement : infrastructures, piétons, etc. Cependant, à mesure que l'importance des applications V2X continue de croître, il devient urgent d'incorporer divers types de données, telles que les images et la vidéo, afin d'accroître les capacités des véhicules connectés à créer des systèmes routiers plus sûrs et plus intelligents.

Ce travail de recherche introduit une nouvelle proposition : l'intégration de V2X avec l'Internet des objets vidéo (IoVT), un concept qui exploite le potentiel de l'échange de données vidéo (Fig.1). L'objectif principal de cette étude est d'examiner les cas d'usage potentiels, de relever les défis imposés par l'IoVT aux infrastructures techniques existantes, de décrire les exigences de performance et d'approfondir les technologies habilitantes offertes par les normes 5G-6G nécessaires à la réalisation de systèmes opérationnels.

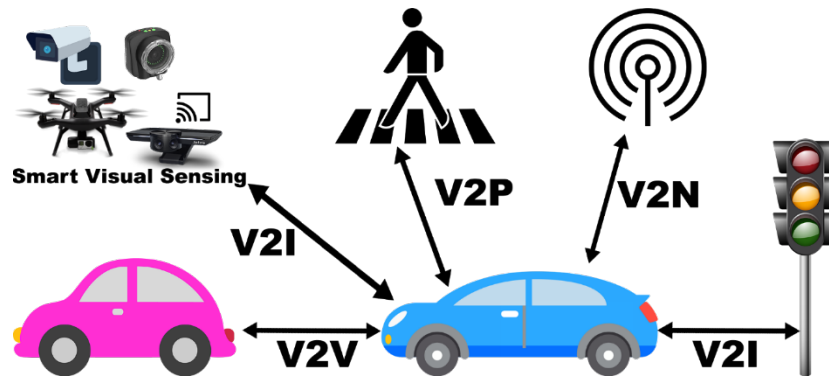


Figure 1. Interconnexion de V2X (V2V, V2P, V2N et V2I) avec IoVT (d'après [1]).

### Contexte et justification :

La technologie V2X a démontré un potentiel significatif pour améliorer la sécurité routière, l'efficacité du trafic et l'expérience de conduite globale [1]. Néanmoins, la communication véhiculaire traditionnelle repose principalement sur des échanges de textes et de données simples, telles que des notifications, des avertissements, des coordonnées et des informations télémétriques de base [2], [3]. En revanche, le paradigme IoVT introduit le concept de partage de données vidéo, facilité par un réseau de capteurs visuels distribués ou de caméras intelligentes. Ces caméras intelligentes fonctionnent dans un environnement IoT ou comme capteurs visuels intégrés dans les véhicules, où elles interagissent et communiquent entre elles et avec d'autres objets connectés tels que les véhicules [4]. Cette intégration de caméras intelligentes distribuées améliore le potentiel d'une conscience situationnelle accrue de l'environnement de conduite, facilite la prise de décision en temps réel, permet une compréhension plus holistique de l'environnement et augmente l'autonomie du système [5].

### Cas d'usage :

Ce projet de recherche adresse plusieurs cas d'usage prospectifs qui soulignent l'intérêt de combiner les communications Vehicle-to-Everything (V2X) et l'Internet des objets vidéo (IoVT). En fusionnant les atouts de ces technologies, de nouveaux scénarios émergent, prêts à redéfinir les interactions entre véhicules et infrastructure routière.

Une application envisagée est le domaine de la reconnaissance améliorée des dangers, dans lequel les flux de données vidéo provenant des véhicules et des infrastructures voisines fournissent des informations visuelles en temps réel sur les dangers potentiels, notamment les accidents, les barrages routiers et les piétons.

La gestion collaborative du trafic représente une autre voie prometteuse, dans laquelle les véhicules fournissent collectivement des flux vidéo sur les conditions de circulation pour formuler des prévisions de flux de circulation plus précises et à la minute près. De plus, cette intégration pourrait offrir de manière transparente des solutions de navigation et de routage de pointe, exploitant les données vidéo haute définition pour

fournir aux conducteurs des repères visuels détaillés, améliorant ainsi la précision de la navigation.

Finalement, dans le contexte de la conduite à distance (téléopération), la fusion des données vidéo et de la communication V2X fournit des informations en temps réel aux conducteurs conduisant des véhicules à distance, ouvrant des possibilités sans précédent de contrôle à distance tout en garantissant la sécurité grâce à une perception globale de l'environnement.

### Technologies habilitantes :

La réalisation d'un système comprenant les communications Vehicle-to-Everything (V2X) et l'Internet des objets vidéo (IoVT) repose sur l'orchestration d'un éventail de technologies habilitantes de pointe [1]. Des innovations telles que l'accès multiple non orthogonal (NOMA) et la communication full-duplex constituent les pierres angulaires [6]–[8], s'harmonisant de manière transparente avec un ensemble d'autres technologies telles que les réseaux définis par logiciel (SDN) et la virtualisation des fonctions réseau (NFV), les technologies de *cloud* et *edge computing* (MEC) ou l'intelligence artificielle (IA) (Fig. 2).

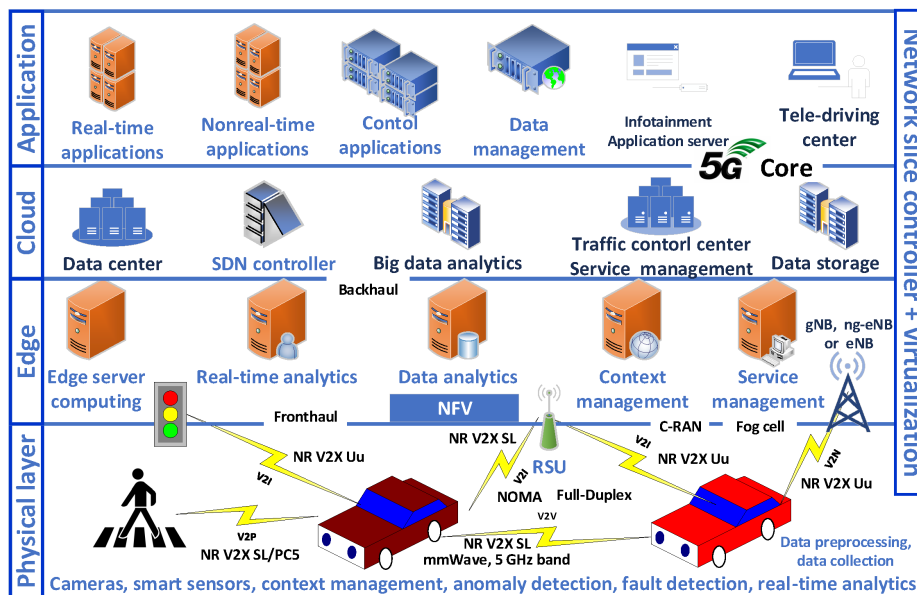


Figure 2. illustration de l'architecture hiérarchique de haut-niveau d'un réseau V2X [1].

A titre d'exemple, la technologie NOMA excelle dans l'optimisation de l'efficacité spectrale en permettant à plusieurs transmissions de partager les mêmes ressources de temps et de fréquence, garantissant ainsi un échange transparent de données vidéo même dans des environnements à bande passante limitée. De son côté, la communication Full-Duplex, avec son flux de données bidirectionnel simultané, répond aux exigences de faible latence des applications en temps réel telles que la reconnaissance des dangers, renforçant ainsi l'échange de flux vidéo haute définition pour une prise de décision rapide.

SDN et NFV facilitent l'allocation dynamique des ressources, garantissant que les flux de données vidéo en plein essor sont gérés efficacement et optimisés pour une faible latence.

Ainsi la mise en œuvre conjointe de ces technologies habilitantes avec des schémas de codage vidéo efficaces [9]-[11] devrait permettre de surmonter les défis liés aux contraintes de bande passante, à la latence et au traitement des données, renforçant ainsi la viabilité des scénarios V2X-IoVT envisagés.

L'objectif de la thèse est de proposer des schémas de communication sans fil intégrant les technologies habilitantes de la future norme 6G pour la transmission efficace de contenus vidéo basée sur une approche IoVT. Plusieurs contributions sont envisagées :

- Définir différents cas d'usage en s'appuyant sur les indicateurs clés de performance définis pour la future norme 6G
- Proposer des systèmes de vidéocommunication innovants combinant de manière conjointe les technologies habilitantes introduites par la 6G et les standards de codage vidéo de dernière génération (VVC et au-delà) et évaluer leurs performances en termes de débit-distorsion-délai
- Mettre en place une preuve de concept d'un nouveau système IoVT pour les applications véhiculaires

Ce sujet s'inscrit pleinement dans les thématiques du laboratoire d'accueil. En effet, le groupe COMNUM a développé une expertise solide dans le domaine des communications mobiles 5G et au-delà, ainsi que la transmission des contenus vidéo et multimédia. Ses membres sont actuellement impliqués dans les projets nationaux ANR mmW4Rail et ZL-LVC en relation directe avec le sujet de thèse.

Par ailleurs, ce sujet s'inscrit dans plusieurs projets dans lesquels le groupe COMNUM est impliqué :

- La Fédération de Recherche CNRS 3733 en Transport Terrestre et Mobilités (FR TTM)
- Le CPER 2021-2027 RITMEA : Recherche et Innovation en Transports et Mobilité Eco-responsables et Autonomes

### **Références bibliographiques (celles du laboratoire sont soulignées) :**

[1] A. Alalewi, I. Dayoub, and S. Cherkaoui, "On 5G-V2X Use Cases and Enabling Technologies: A Comprehensive Survey," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 107710–107737, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3100472.

[2] A. Biswas and H.-C. Wang, "Autonomous Vehicles Enabled by the Integration of IoT, Edge Intelligence, 5G, and Blockchain," *Sensors*, vol. 23, no. 4, Art. no. 4, Jan. 2023, doi: 10.3390/s23041963.

- [3] J. S. Weber, M. Neves, and T. Ferreto, "VANET simulators: an updated review," *J. Braz. Comput. Soc.*, vol. 27, no. 1, p. 8, May 2021, doi: 10.1186/s13173-021-00113-x.
- [4] C. W. Chen, "Internet of Video Things: Next-Generation IoT With Visual Sensors," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 8, pp. 6676–6685, Aug. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3005727.
- [5] A. Aliyu *et al.*, "Towards video streaming in IoT Environments: Vehicular communication perspective," *Comput. Commun.*, vol. 118, pp. 93–119, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.comcom.2017.10.003.
- [6] A. Allouis, A. A. Hamza, I. Dayoub, and S. Cherkaoui, "Maximum Sum Rate of MCM-NOMA in Future Vehicular Sensor Networks," *IEEE Sens. Lett.*, vol. 7, no. 7, pp. 1–4, Jul. 2023, doi: 10.1109/LSENS.2023.3288938.
- [7] A. A. Hamza, I. Dayoub, I. Alouani, and A. Amrouche, "Enabling User Relaying in MCM-NOMA Under Doubly Selective Channels Using Iterative Interference Cancellation Schemes for Wireless IoT Networks," *IEEE Sens. Lett.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–4, Mar. 2022, doi: 10.1109/LSENS.2022.3148330.
- [8] A. A. Hamza, I. Dayoub, I. Alouani, and A. Amrouche, "On the Error Rate Performance of Full-Duplex Cooperative NOMA in Wireless Networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 70, no. 3, pp. 1742–1758, Mar. 2022, doi: 10.1109/TCOMM.2021.3138079.
- [9] H. Kanj, A. Trioux, M. Cagnazzo, F. X. Coudoux, P. Corlay, M. Kieffer, "Glass-to-glass delay reduction: encoding rate reduction vs. video frame extrapolation", *IEEE 25th International Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP, IEEE*, Sep 2023, Poitiers, France.
- [10] A. Trioux, M. Gharbi, F. X. Coudoux, P. Corlay, "A comprehensive theoretical evaluation of the end-to-end performance of SoftCast-based linear video delivery schemes", *Signal Processing: Image Communication*, 2021, 98, pp.116369.
- [11] A. Guichemerre, S. Coulombe, A. Trioux, F. X. Coudoux, P. Corlay, "Deep learning assisted quality ranking for list decoding of videos subject to transmission errors", *2023 19th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, Jun 2023, Montreal, Canada.