

## Titre : Approche Système Cyber-Physique du Véhicule Autonome

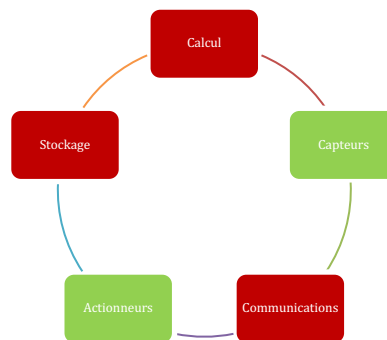
### Contexte :

Le déploiement des véhicules autonomes est annoncé comme imminent depuis quelques années. À cet effet, la SAE (Society of Automotive Engineers) a défini, dès 2016, 5 niveaux d'automatisation (1 à 5).

Level	Automation	Steering Cruise	Environment Monitoring	Fallback Control	Driving Modes
0	None	H	H	H	N/A
1	Supportive	H,S	H	H	Some
2	Partial	S	H	H	Some
3	Conditional	S	S	H	Some
4	High	S	S	H	Some
5	Full	S	S	S	All

Niveaux d'automatisation de la conduite

Le niveau 0 correspondant à la conduite totalement manuelle. Les niveaux 1 et 2 sont aujourd'hui quasiment maîtrisés en conditions nominales. Ainsi, des véhicules sont déjà équipés du contrôle de la vitesse et de la direction mais le conducteur garde la responsabilité de la perception de l'environnement et de la récupération en cas de besoin. Les niveaux 3 à 5 concentrent l'attention des chercheurs et des industriels, tant la complexité du véhicule autonome (qui sera aussi communicant) est difficile à appréhender par le point de vue de fonctions isolées remplissant chacune une mission dédiée. Le véhicule autonome sera a proprement parlé un système Cyber-Physique qu'il faut considérer dans sa globalité comme le montre la figure ci-dessous :



Le véhicule autonome en tant que système Cyber (calcul, stockage, communications...)-Physique (capteurs, actionneurs...)

Cette vision soulève alors plusieurs problématiques de garantie des performances, de retards voire de vulnérabilité.

### Objectifs de la thèse :

Le sujet de thèse proposé vise explorer les techniques de perception, de communication, d'observation et de commande dans la perspective du véhicule autonome et de proposer un nouveau paradigme pour la conception et l'intégration d'algorithmes en tenant compte des ressources limités, des réseaux de communication via lesquels transitent les

informations de contrôle et d'observation ainsi que les problématiques liées aux incertitudes de modélisation.

Les travaux pourront débuter par l'appropriation des techniques et résultats des équipes du laboratoire dans les différentes briques fonctionnelles développées. La ou le candidat explorera notamment les aspects d'observation et de commande de grands systèmes et de systèmes contrôlés en réseaux. En effet, un véhicule autonome embarque plusieurs systèmes de contrôle, d'observation et de perception qui utilisent des ressources limitées (calculateurs et microprocesseurs) et qui communiquent via des réseaux (retards, pertes d'informations et congestion). Les algorithmes doivent être conçus afin de tenir compte de ces contraintes de ressources et de communication. Dans ce cadre, les notions de « Event-Triggered » et « Self-Triggered » seront privilégiés. En effet, l'objectif est de calculer une commande ou une estimation d'un état le plus rarement possible (ou quand cela est nécessaire), contrairement à l'approche périodique, et de libérer le microprocesseur ou le calculateur (économie d'énergie) ou pour exécuter des tâches secondaires. Par exemple, le bloc de commande de la trajectoire du véhicule fournira à la fois la loi de commande à appliquer à l'instant  $t$  ainsi que l'instant futur pour le calcul et l'application de la prochaine commande à l'instant  $t+k$ . Les développements seront à implémenter sur un démonstrateur dont la réalisation est programmée au cours de cette thèse (véhicule de type Renault Zoé). Le doctorant prendra part à la spécification et à la réalisation de ce démonstrateur.

Dans le souci de prendre en compte les incertitudes de modélisation et des dynamiques non modélisées, le troisième objectif de la thèse est de poursuivre l'exploration des approches hybrides : approches combinant des techniques classiques de commandes robustes et de des techniques basées sur des données avec de l'intelligence artificielle. En effet, l'objectif est de concevoir des techniques de contrôle robustes en se basant sur un modèle de synthèse le plus simple possible et d'utiliser les techniques de l'IA (Machine learning, Deep Learning,...), afin d'apprendre toutes les dynamiques négligées et les inclure dans la conception de la loi de commande à des fins de robustesse. Cette façon d'aborder le problème de contrôle permet de simplifier la partie modélisation (utilisation d'un modèle restreint) et d'adapter les lois de commande classiques dans un soucis de robustesse et de fiabilité. En résumé le sujet de thèse proposé vise à étudier les trois problématiques scientifiques suivantes :

1. Commande et observation dans un contexte incertain avec l'utilisation de l'IA
2. Commande et observation sous contraintes de ressources limitées
3. Commande et observation en tenant compte des contraintes de communication (Systèmes contrôlés en réseaux)

Avec des validations en simulation et expérimentalement sur le véhicule du laboratoire.

**Mots clés :** Automatique linéaire et non linéaire, ensembles invariants, mathématiques appliquées, notion d'intelligence artificielle (Machine Learning, Réseaux de Neurones, optimisation)

**Profil du candidat :** le candidat doit avoir un niveau Bac+5 (Master ou ingénieur), une solide formation en automatique (linéaire et non linéaire) et en mathématiques appliquées ainsi que des compétences en systèmes embarqués. Des notions d'intelligence artificielle sont souhaitées.

**Profil du candidature :**

Envoyer les documents suivants :

- CV
- Lettre de recommandation
- Relevés de notes de votre cursus de master ou d'ingénieur
- Les coordonnées de 2 personnes référentes (et lettres de recommandation)

aux contacts suivants :

**Directeur de thèse :** Dalil Ichalal ([dalil.ichalal@univ-evry.fr](mailto:dalil.ichalal@univ-evry.fr))

**Encadrante de thèse :** Naïma Ait-Oufroukh-Mammar ([naima.aitoufroukh@univ-evry.fr](mailto:naima.aitoufroukh@univ-evry.fr))

**Références**

- S. Ifqir, D. Ichalal, N. Ait Oufroukh, S. Mammar. Robust interval observer for switched systems with unknown inputs: application to vehicle dynamics estimation, *European Journal of Control*, 44 (2018), pp. 3–14.
- D. Ichalal, B. Marx, J. Ragot, S. mammar, D. Maquin. Sensor fault tolerant control of nonlinear Takagi–Sugeno systems. application to vehicle lateral dynamics, *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 26 (2016), pp. 1376–1394.
- D. Ichalal, S. Mammar, On unknown input observers for LPV systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62 (2015), pp. 5870–5880.
- M. Balaghiinaloo, D.A. Antunes, W.P.M.H. Heemels. An l2-Consistent Event-Triggered Control Policy for Linear Systems. *Automatica*, March 2021.
- M. Abdelrahim, V.S. Dolk, and W.P.M.H. Heemels. Event-triggered quantized control for input-to-state stabilization of linear systems with distributed output sensors. *IEEE Transactions on Automatic Control* 64(12), p. 4952-4967
- Vlasios Tsiatsis and Stamatis Karnouskos and Jan Höller and David Boyle and Catherine Mulligan. *Internet of Things (second edition): Chapter 16 - Autonomous Vehicles and Systems of Cyber-Physical Systems*. Academic Press, 2019.