

**Titre de la thèse :**

Intelligence artificielle appliquée aux systèmes dynamiques d'interaction avec l'humain : Apprentissage par renforcement profond pour des traversées piétonnes sûres et efficaces.

**Laboratoire d'accueil :**

Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD)

**Spécialité du doctorat préparé :**

Informatique

**Mots-clefs :**

Véhicule autonome et connecté, Robot socialement intelligent, apprentissage par renforcement, simulation en réalité mixte

**Descriptif détaillé de la thèse :**

Introduction / contexte :

Le véhicule autonome et connecté (VAC) est l'une des technologies de rupture des années à venir. Des gains importants en termes de sécurité et d'efficacité des déplacements (capacité routière, sobriété énergétique, temps de parcours...) sont attendus. Malgré les évolutions importantes réalisées, l'un des défis majeurs est de réussir l'interaction entre le robot-conducteur et l'humain. Ce dernier peut être le passager temporaire derrière le volant, l'opérateur à distance ou l'utilisateur de la route. La littérature récente pointe la nécessité d'intégrer l'humain dans le processus de décision du robot-conducteur afin de dégager des performances inédites [1-2].

La thèse sera réalisée dans le cadre d'un projet collaboratif qui s'intéresse aux interactions entre le robot conducteur et les piétons. Plusieurs problèmes sont posés dans la littérature concernant ces interactions. Ils relèvent de la perception (détection de l'obstacle), de la prévision (connaître sa trajectoire) et de la prise de décision (commande du VAC). Nous nous intéressons au problème de prise de décision. En effet, plusieurs travaux montrent que la prise de décision du piéton (je traverse ou pas) et son comportement par la suite (j'accélère le pas) sont liés au comportement du VAC. Par exemple, un VAC qui affiche le vert et ralentit relativement tôt dégage une marge de sécurité qui invite le piéton à traverser, ce qui permet un gain de temps considérable par rapport au véhicule qui s'arrête à la dernière minute [3].

Travaux envisagés :

Une première phase de la thèse consiste à modéliser les interactions du piéton avec le véhicule. Les données de la littérature couplées à ceux des tests réalisés par le laboratoire, permettent de formuler des hypothèses sur le comportement des piétons et dégager les variables clés (marge de sécurité, position, vitesse et accélération du véhicule...). L'objectif est d'aboutir à des modèles de piétons simulables qui peuvent être exploités pour la synthèse de la commande par la suite.

A cause de la complexité du système dynamique d'interaction entre le piéton et le VAC, il est difficile de résoudre le problème de commande via des approches classiques. Pour s'affranchir de cette difficulté, le développement de l'intelligence artificielle apporte des solutions nouvelles et prometteuses, en particulier, le DRL (Deep Reinforcement Learning) [4]. Le potentiel du DRL dans les prises de décisions adéquates est pleinement démontré dans les espaces d'actions discrètes. L'exploitation du DRL s'étend récemment aux espaces d'action continue [5], ce qui nous amène à la

commande longitudinale du véhicule (position, vitesse et accélération). Il est l'une des approches la plus utilisée récemment dans le domaine de la conduite automatisée [6]. Ainsi, la deuxième phase consiste à calibrer cet outil pour dégager des profils de vitesse intéressants pour les traversées piétonnes.

Nous souhaitons aussi, dans une troisième phase, explorer à travers cette thèse l'un des axes scientifiques suivants :

- 1- L'utilisation du DRL pour les prises de décision dans des espaces d'actions hybrides, à savoir continues est discrètes. Plus précisément, le VAC doit à la fois décider qui passe en premier, diffuser la signalisation correspondante [7] et commander sa trajectoire en fonction.
- 2- Coopération des agents dans un scénario complexe [8]. Il s'agit d'étudier le cas du piéton qui traverse plusieurs voies. Les VAC doivent coopérer pour fournir au piéton un environnement cohérent de prise de décision.

La solution retenue sera ensuite validée à l'aide de la simulation en réalité mixte. D'une part, il s'agit d'une plateforme composée de casque immersif permettant à des testeurs humains de traverser en toute sécurité dans un environnement virtuel. D'autre part, des tests sur un véhicule robotisé permettra de valider la commande en rejouant les parcours des testeurs et des véhicules simulés.

L'étudiant bénéficiera sur le plan théorique d'une équipe projet composé de chercheurs à la fois dans le domaine de la commande du véhicule autonome et de la modélisation et de la simulation des piétons. Sur le plan expérimental, il jouira d'un ordinateur puissant pour l'apprentissage ainsi que d'une équipe lui fournissant le soutien nécessaire pour la réalisation des tests sur les casques immersifs et le véhicule robotisé.

#### Références bibliographiques :

[1] L. Fridman. 2018. "Human-centered autonomous vehicle systems: Principles of effective shared autonomy." arXiv preprint arXiv:1810.01835 (2018).

[2] Sadigh, D., Landolfi, N., Sastry, S. S., Seshia, S. A., & Dragan, A. D. 2018. Planning for cars that coordinate with people: leveraging effects on human actions for planning and active information gathering over human internal state. *Autonomous Robots*, 42(7), 1405-1426.

[3] Zhang, M., Abbas-Turki, A., Lombard, A., Koukam, A., & Jo, K. H. (2020, September). Autonomous vehicle with communicative driving for pedestrian crossing: Trajectory optimization. In *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1-6). IEEE.

[4] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., ... & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *nature*, 529(7587), 484-489..

[5] Schulman, J., Moritz, P., Levine, S., Jordan, M., & Abbeel, P. (2015). High-dimensional continuous control using generalized advantage estimation. *arXiv preprint arXiv:1506.02438*.

[6] Zhu, M., Wang, Y., Pu, Z., Hu, J., Wang, X., & Ke, R. (2020). Safe, efficient, and comfortable velocity control based on reinforcement learning for autonomous driving. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117, 102662.

[7] Fridman, L., Mehler, B., Xia, L., Yang, Y., Facusse, L. Y., & Reimer, B. (2017). To walk or not to walk: Crowdsourced assessment of external vehicle-to-pedestrian displays. *arXiv preprint arXiv:1707.02698*.

[8] Lombard, A., Abbas-Turki, A., & El-Moudni, A. (2018). V2V-Based Memetic Optimization for Improving Traffic Efficiency on Multi-Lane Roads. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 12(1), 35-46.

#### Profil demandé :

Ingénieur ou Master en informatique, maîtrisant les langages de programmation orientée objet (en particulier Python et C#).

Des expériences dans la simulation 3D (Unity ou Unreal Engine) et/ou dans le DRL seront appréciées.

**Financement** : MESRI établissement

Dossier à envoyer avant le 30 mai 2021 (à minuit heure de Paris GMT+2) aux deux adresses mails suivantes : [abdeljalil.abbas-turki@utbm.fr](mailto:abdeljalil.abbas-turki@utbm.fr) et [alexandre.lombard@utbm.fr](mailto:alexandre.lombard@utbm.fr)

En cas d'acceptation du dossier, un entretien en visioconférence sera réalisé avant le 15 juin.

Le candidat doit confirmer son acceptation de la thèse dans un délai de 3 jours.

Début du contrat : octobre 2021

**Direction / codirection de la thèse :**

Abdeljalil Abbas-Turki (Directeur)

Alexandre Lombard (Codirecteur)



école doctorale **sciences pour l'ingénieur et microtechniques**

**PhD title :**

Socially smart connected and autonomous vehicle: Deep reinforcement learning for safe and efficient pedestrian crossings.

**Host laboratory :**

Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD)

**Speciality of PhD:**

Computer Science

**Keywords :**

Connected and autonomous vehicle, reinforcement learning, mixed reality simulation, Socially intelligent robots

**Job description :**Motivation:

The connected and autonomous vehicle (CAV) is one of the disruptive technologies of the coming years. Significant gains in terms of safety and efficiency of travel (road capacity, energy efficiency, travel time ...) are expected. Despite the significant made achievement, one of the major challenges is to succeed in the interaction between the robot-driver and humans. Human is either the temporary passenger behind the steering wheel, the remote operator or the road user. Recent literature points out the need to better integrate the human in the decision process of the robot-driver to reach very interesting traffic performances [1-2].

The thesis integrates a collaborative project that focuses on the interactions between the driver-robot and pedestrians. Several problems are raised in the literature concerning these interactions. They are related to perception (obstacle detection), prediction (forecasting the pedestrian trajectory) and decision making (CAV control). The thesis scope is the improvement of the CAV decision-making process. Several works pointed out that the pedestrian's decision making (should I cross or not) and his behavior afterwards (should I speed up the pace) are linked to the behavior of the CAV. For example, a CAV that displays green and slows down provides a sufficient margin of safety that invites the pedestrian to cross earlier. This saves a considerable time compared to a vehicle that stops at the last minute [3].

Work plan:

A first phase of the thesis is to model the pedestrian's interactions with the vehicle. The data from the literature coupled with the one from the tests carried out by the laboratory, allow to formulate hypotheses on the behavior of pedestrians and to identify the key variables (safety margin, vehicles position, speed, and acceleration, ...). The objective is to derive a pedestrian simulator that will be used for controlling the CAV later.

Because of the complexity of the dynamic system of interaction between the pedestrian and the CAV, it is difficult to solve the control problem via classical approaches. To overcome this difficulty, the development of artificial intelligence provides new and promising solutions, in particular, DRL (Deep Reinforcement Learning) [4]. The potential of DRL to derive suitable decisions is fully demonstrated in discrete action spaces. The use of DRL has recently been extended to continuous action spaces [5]. This recent extension of DRL makes it suitable to use it for longitudinal control of CAV. Hence, it is one of the most used approaches recently in the field of automated driving [6]. The second thesis phase consists in calibrating this tool to obtain interesting speed profiles for pedestrian crossings.

We also wish, in a third phase, to explore through this thesis one of the following scientific challenge:

1- The use of DRL for making a decision in hybrid action spaces, namely continuous and discrete. More precisely, the CAV must decide who goes first (discrete), broadcast the corresponding signaling [7] and control its trajectory accordingly (continuous).

2- Agent cooperation in a complex scenario [8]. The challenge is raised by a pedestrian who crosses several lanes. The CAVs must wirelessly cooperate to provide the pedestrian with a coherent decision-making environment.

The selected control solution will then be validated using mixed reality simulation. On the one hand, the Ph.D. student uses the pedestrian crossing platform composed of immersive helmets allowing human testers to cross safely in a virtual environment. On the other hand, tests on driverless vehicle will allow to validate the control by replaying the testers' routes and the simulated vehicles.

From the theoretical point of view, the Ph.D. student will benefit from a project team composed of researchers in both fields of autonomous vehicle control and pedestrian modeling and simulation. From the experimental point of view, the Ph.D. student will benefit from a dedicated computer for machine-learning as well as from a team providing him with the necessary support to realize tests on the available immersive helmets and automated vehicles.

**References :**

[1] L. Fridman. 2018. "Human-centered autonomous vehicle systems: Principles of effective shared autonomy." arXiv preprint arXiv:1810.01835 (2018).

[2] Sadigh, D., Landolfi, N., Sastry, S. S., Seshia, S. A., & Dragan, A. D. 2018. Planning for cars that coordinate with people: leveraging effects on human actions for planning and active information gathering over human internal state. *Autonomous Robots*, 42(7), 1405-1426.

[3] Zhang, M., Abbas-Turki, A., Lombard, A., Koukam, A., & Jo, K. H. (2020, September). Autonomous vehicle with communicative driving for pedestrian crossing: Trajectory optimization. In *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1-6). IEEE.

[4] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., ... & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *nature*, 529(7587), 484-489..

[5] Schulman, J., Moritz, P., Levine, S., Jordan, M., & Abbeel, P. (2015). High-dimensional continuous control using generalized advantage estimation. *arXiv preprint arXiv:1506.02438*.

[6] Zhu, M., Wang, Y., Pu, Z., Hu, J., Wang, X., & Ke, R. (2020). Safe, efficient, and comfortable velocity control based on reinforcement learning for autonomous driving. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117, 102662.

[7] Fridman, L., Mehler, B., Xia, L., Yang, Y., Facusse, L. Y., & Reimer, B. (2017). To walk or not to walk: Crowdsourced assessment of external vehicle-to-pedestrian displays. *arXiv preprint arXiv:1707.02698*.

[8] Lombard, A., Abbas-Turki, A., & El-Moudni, A. (2018). V2V-Based Memetic Optimization for Improving Traffic Efficiency on Multi-Lane Roads. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 12(1), 35-46.

**Candidate Profile :**

Master's degree in computer science, skilled in oriented object programming languages (mainly Python and C#)

Experiences in DRL and/or in 3D simulation are appreciated

**Financing Institution:**

**Application deadline:** 30<sup>th</sup> of May 2021 at midnight Paris local time (GMT+2).

Email to both : [abdeljalil.abbas-turki@utbm.fr](mailto:abdeljalil.abbas-turki@utbm.fr) and [alexandre.lombard@utbm.fr](mailto:alexandre.lombard@utbm.fr)

If the application is accepted, a video conference interview will be planned by before June 15.

The candidate must confirm acceptance of the thesis within 3 days.

**Start of contract:** October 2021

**Supervisors:**

Abdeljalil Abbas-Turki

Alexandre Lombard

