

<b>Titre de la fonction</b>	<b>DOCTORANT : « VÉRIFICATION ET ÉVALUATION DE FONCTIONS INTÉGRANT DE L'IA POUR L'OPÉRATION DES TRAINS AUTONOMES »</b>		
<b>Programme :</b>	Train Autonome	<b>Type de contrat :</b>	CDD 36 mois
<b>Superviseur direct :</b>	abderraouf.boussif@railenium.eu mohamed.ghazel@ifsttar.fr	<b>Temps de travail :</b>	35 heures (39H + RTT)
<b>Localisation du poste :</b>	Valenciennes (ou Lille - Villeneuve d'Ascq, 59)	<b>Statut :</b>	Cadre
<b>Début souhaité :</b>	Septembre 2019	<b>Rémunération :</b>	~ 25 k€

## Contexte

Centre d'essai et de recherche appliquée de la filière ferroviaire, l'IRT Railenium (<http://railenium.eu/fr/>) a pour mission de développer par l'innovation collaborative la compétitivité des entreprises comme moteur de croissance et d'emplois. Railenium met en œuvre des partenariats d'innovation entre les industriels (au sens large : gestionnaires d'infrastructures, opérateurs, constructeurs et ingénieries) et le milieu académique pour assurer une réponse de haut niveau aux enjeux de la filière ferroviaire. Basé dans les Hauts-de-France, soutenu par l'État et la filière ferroviaire, et agissant en synergie avec le pôle de compétitivité i-Trans sur les transports terrestres, l'IRT est adossé à un réseau d'excellence de centres et laboratoires de recherche.

L'un des trois programmes de R&D et d'innovation de Railenium vise notamment à apporter les outils et briques technologiques nécessaires au développement du Train Autonome. De par une approche système pour l'exploitation de ces trains autonomes, ce programme « Train Autonome » adressera ainsi les nouveaux systèmes de signalisation, de contrôle-commande, de conduite et d'exploitation ferroviaire. Pour mener à bien ses projets, le programme Train Autonome est à la recherche d'un doctorant pour la vérification et l'évaluation de fonctions intégrant de l'IA pour l'opération des trains autonomes.

## Missions

### Contexte scientifique :

Le train autonome exige que les capacités de perception (sensorielles) et de contrôle du conducteur (capacités décisionnelles) soient transférées à un système de conduite automatisé, capable d'analyser son contexte opérationnel et son environnement et à même de réagir aux différentes situations et risques possibles. Dans le but de relever les défis technologiques liés à la mise en place de ces nouveaux systèmes, différents types de capteurs (intelligents) seront déployés à bord du train, et des techniques avancées d'Intelligence Artificielle (IA) devront être mises en œuvre pour l'analyse et l'interprétation des données collectées et aussi pour la prise de décision. L'un des principaux challenges du train autonome concerne « la validation et la certification » des systèmes de décision intégrant des fonctions utilisant l'IA. Il s'agit d'ailleurs de l'un des principaux verrous scientifiques et technologiques à lever pour le déploiement des applications à base d'IA dans tout système critique. Ce travail de doctorat s'inscrit dans ce contexte et vise à apporter des réponses et contributions scientifiques à cette problématique.

Ces dernières années, les académiques et les industriels se sont montrés de plus en plus intéressés par l'intégration des méthodes et technologies de l'intelligence artificielle (IA) dans la conception et le développement des systèmes autonomes. Au-delà des progrès rapides et des succès fulgurants du déploiement de l'IA dans des applications classiques et modernes dans divers domaines, les questions de sécurité liées à l'IA se présentent aujourd'hui comme l'une des préoccupations majeures pour les systèmes critiques [1,2], en particulier, les systèmes autonomes [3-6] (voitures autonomes, robots, etc.). Ces préoccupations sont bien fondées puisqu'il a été clairement prouvé dans plusieurs domaines d'application, que les systèmes basés sur l'IA peuvent générer des situations dangereuses (par exemple, l'accident mortel de voiture Uber en 2018). De ce fait, le processus de vérification et de validation (V&V) de ces systèmes est un axe de recherche prometteur [7-9]. D'autre part, les méthodes formelles, qui sont des techniques de développement et de vérification basées sur un raisonnement mathématique et logique rigoureux, se sont avérées d'un grand intérêt dans le processus V&V des systèmes de transport critiques, comme en témoignent diverses réussites, en particulier dans le domaine du transport guidé [10-12].

D'ailleurs, des chercheurs des deux domaines (intelligence artificielle et méthodes formelles) ont récemment commencé à travailler conjointement afin de répondre aux défis liés à la mise en œuvre des méthodes formelles dans l'évaluation des systèmes à base de l'IA [7, 9, 13, 14, 15]. D'une manière générale, ces travaux visent à traiter les probléma-

tiques liées à la modélisation, la spécification et la vérification de ces systèmes, ainsi que leur environnement [13]. L'objectif final de ces travaux est d'aboutir à des systèmes à base d'IA « formellement vérifiables », autrement dit, avec un niveau de garantie très élevé vis-à-vis des exigences de sécurité.

### **Projet de recherche & plan de travail :**

Ce travail de thèse vise à développer des techniques permettant de mettre en œuvre conjointement les méthodes formelles et l'IA dans le but de vérifier et valider des fonctions basées sur l'IA à bord de trains autonomes.

Suite à un travail bibliographique visant à réaliser un état de l'art des problématiques évoquées, une première étape dans ce projet consiste à proposer une méthodologie pour la formalisation et la description du comportement des systèmes à base d'IA (par exemple, les systèmes d'apprentissage) ainsi que de leurs environnements. A travers ces modèles, nous souhaitons essentiellement déterminer des frontières englobant le comportement des systèmes à base d'IA (dans un contexte opérationnel donné). Dans un deuxième temps, nous nous intéressons aux spécifications formelles des systèmes basés sur l'IA, afin de déterminer ce que le système est censé faire et quels sont ses comportements interdits/indésirables ; autrement dit, nous souhaitons spécifier, de manière formelle, des propriétés vérifiables sur des systèmes à base d'IA. Une fois ces deux étapes (i.e., la modélisation et la spécification) réalisées, nous entamons, par la suite, le processus de vérification. En fait, en fonction des techniques IA utilisées et du niveau de sécurité à assurer, nous déterminons les techniques de vérification formelle adéquates (model-checking, SAT/SMT, theorem proving, etc.) ainsi que les outils associés. La dernière partie de ce projet de thèse sera consacrée à l'application et l'évaluation des contributions développées sur des cas d'étude relatifs au train autonome. Un premier cas identifié est le système d'accès voyageurs, qui est notamment une des fonctions critiques du train autonome. Des indicateurs sur la faisabilité, l'efficacité et la mise en échelle des contributions de la thèse sont à définir et évaluer lors de la dernière phase applicative. Les travaux dans le cadre de cette thèse, et en particulier la partie applicative, seront effectués en collaboration avec les partenaires du projet « train autonome ».

**Mots clés :** train autonome, intelligence artificielle, méthodes formelles, systèmes autonomes, sûreté de fonctionnement, machine/deep learning, model-checking.

### **Références :**

- [1] Vassev, E. (2016, October). *Safe artificial intelligence and formal methods*. In *International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods* (pp. 704-713). Springer, Cham.
- [2] <https://www.kcl.ac.uk/nms/depts/informatics/stai/safe-and-trusted-artificial-intelligence>
- [3] Koopman, P., & Wagner, M. (2017). *Autonomous vehicle safety: An interdisciplinary challenge*. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9(1), 90-96.
- [4] Luckcuck, M., Farrell, M., Dennis, L., Dixon, C., & Fisher, M. (2018). *Formal specification and verification of autonomous robotic systems: a survey*. *arXiv preprint arXiv:1807.00048*.
- [5] Vassev, E., Hinchey, M.: *Autonomy Requirements Engineering for Space Missions*. *NASA Monographs in Systems and Software Engineering*. Springer, Switzerland (2014).
- [6] D. Trentesaux ; R. Dahyot ; A. Ouedraogo ; D. Arenas ; S. Lefebvre ; Wa. Schon, B. Lussier, and H. Chéritel. "The Autonomous Train," 2018 13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE), Paris, 2018, pp. 514-520.
- [7] *Machine Learning and Model Checking Join Forces, Report from Dagstuhl Seminar 18121*
- [8] *Machine Learning and Formal Methods, Report from Dagstuhl Seminar 17351*
- [9] *AI meets Formal Software Development, Report from Dagstuhl Seminar 12271*
- [10] J. Abrial. 2006. *Formal methods in industry: achievements, problems, future*. In *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering (ICSE '06)*. ACM, New York, NY, USA, 761-768.
- [11] P.Behm, P.I Benoit, A.Faivre, and J. Meynadier. 1999. *Météor: A Successful Application of B in a Large Project*. In *Proceedings of the World Congress on Formal Methods in the Development of Computing Systems-Volume I*, Springer-Verlag, London, UK, UK, 369-387.
- [12] Sabatier D., Burdy L., Requet A., Guéry J. (2012) *Formal Proofs for the NYCT Line 7 (Flushing) Modernization Project*. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 7316. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [13] Seshia, S. A., Sadigh, D., & Sastry, S. S. (2016). *Towards verified artificial intelligence*. *arXiv preprint arXiv:1606.08514*.
- [14] Hinchey, M. G., & Bowen, J. P. (Eds.). (1995). *Applications of formal methods (Vol. 1)*. New Jersey: Prentice Hall.
- [15] Lomuscio, A., & Maganti, L. (2017). *An approach to reachability analysis for feed-forward relu neural networks*. *arXiv preprint*.

## **Compétences**

<b>Savoir</b>	<b>Savoir être</b>
<p>Le candidat doit être titulaire d'un master II ou diplôme d'ingénieur en l'une des spécialités suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intelligence artificielle</li> <li>• Sûreté de fonctionnement</li> </ul>	<p>Sens de l'initiative Autonomie/travail d'équipe Excellent relationnel Créativité, rigueur, organisation</p>

- Ingénierie des systèmes
- Informatique

Le candidat devra avoir des bases solides soit :

- en IA particulièrement, réseaux de neurones, machine/deep learning) et/ou en méthodes formelles (model-checking, SAT/SMT, theorem proving, etc) ;
- des compétences en programmation informatique ;
- des compétences en sûreté de fonctionnement ou ingénierie des systèmes seront un plus.

Capacité d'autoformation  
Esprit de synthèse, réactivité

Excellentes capacités rédactionnelles  
Français courant  
Aisance en anglais (oral et écrit)

Les candidatures (Lettre de motivation + CV + Relevés de notes) sont à adresser dans les plus brefs délais par courrier électronique, sous la référence VN-2019/14, à : [recrutement@railenium.eu](mailto:recrutement@railenium.eu), [mohamed.ghazel@ifsttar.fr](mailto:mohamed.ghazel@ifsttar.fr), [abderraouf.boussif@railenium.eu](mailto:abderraouf.boussif@railenium.eu)

## General context

In 2018, the Railenium Institute of Technological Research, SNCF, and a group of technological and industrial companies, set up two consortia to develop two driverless train prototypes: the first consortium is tasked with designing an autonomous freight train, and the second an autonomous express regional passenger train. These two challenging projects constitute an important breakthrough for railways and require that the sensory and control capabilities of the train driver shall be transferred to an automated driving module (Automated train operation -ATO), able to understand its operation context and environment and ready to react to possible hazards. To rise the technical challenges towards setting up such new systems, various kinds of sensors and instrument devices have to be fitted into the train, and techniques to analyze and interpret the collected data have to be put into play. In particular, the project comprises AI developments to fulfill various functions onboard the train. One of the main challenging issues in these projects is related to the validation and certification of the functions that are based on AI-component. Such a crucial issue is essential towards taking advantages of AI capabilities in safety critical systems. This PhD work falls in this context and aims to bring scientific contributions that help taking up this challenge.

## Scientific context

In recent years, both academics and industrials have shown growing interest for the application of artificial intelligence (AI) methods to the design and development of autonomous systems. Despite the rapid progress and significant successes in deploying AI in existing and new applications in a wide spectrum of domains, safety considerations have raised as one of the main concerns, particularly in safety critical systems [1,2]. Thus, the reliability of the decision-making strategy and trustworthiness of AI technologies, when dealing with safety critical systems such as autonomous systems [3 -6] (self-driving cars, unmanned robots, etc.), need to be addressed. These concerns are well-founded since there is now ample evidence in several application domains that AI-based systems may actually be unsafe because of the lack of guarantees and certainty over their behavior (e.g., the deadly crash of self-driving Uber car). Therefore, nowadays the research community is drawing a great attention to the verification and validation (V&V) of AI-based systems [7-9]. On the other hand, Formal methods, which are design and verification techniques based on a rigorous mathematical and logical background, have shown to be of great interest for the engineering of safety critical transportation systems, as witnessed by various success stories in particular in guided transportation systems [10 - 12]. Besides, in the last few years, some practitioners and researchers from both artificial intelligence and formal methods disciplines have started working together in order to identify and alleviate the challenges regarding the integration of formal methods in the evaluation of AI-based systems [7, 9, 13, 14, 15]. Particularly, these works attempt to address issues such as, for instance, how to specify and model the environment and “the system that learn”? How to build the computational engines for training and verification? [13]. In fact, the ultimate objective of these works is to achieve formally verified AI-based systems. In other terms, the high level goal is to target AI-based systems that have strong, and ideally provable, guarantees of correctness with respect to a set of mathematically-specified requirements.

### Research subject & work plan :

This PhD work aims to develop means that allow for putting into play formal methods and AI jointly in the context of the autonomous train development. In particular, this work will mainly focus on bringing into play formal methods for the assessment of AI-based train onboard functions.

The first step in this thesis project is to set up a formal modeling framework for the AI-based systems (e.g., learning systems) as well as their environment. The targeted modeling framework is intended to allow for developing models of the AI issued behavior that can serve as bases for formal reasoning. This supposes to determine the frontiers of the AI outputs for a given operation context.

In a second step, the formal specifications of AI-based systems' need to be expressed to determine what the system is supposed to do and what are its forbidden/undesirable behaviors. Once the ingredients of formal verification are obtained, namely, a formal behavioral model and formal specifications, the question is then about the actual verification process and the choice among various verification techniques (model-checking, SAT/SMT, theorem proving,

etc.) according to AI-based techniques and the level of guarantee to be ensured. The final part of this thesis project concerns the application and evaluation of the developed contributions in the context of autonomous train. The targeted use case is pertaining to the passenger access function which is one of the main critical functions for train operation. This applicative part will be achieved in collaboration with the project partners and shall give indicators on the feasibility, effectiveness and scalability of the thesis contributions.

**Key words:** autonomous train, artificial intelligence, formal methods, autonomous systems, safety verification, machine/deep learning, model-checking.

**References:**

[1] Vashev, E. (2016, October). *Safe artificial intelligence and formal methods*. In *International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods* (pp. 704-713). Springer, Cham.

[2] <https://www.kcl.ac.uk/nms/depts/informatics/stai/safe-and-trusted-artificial-intelligence>

[3] Koopman, P., & Wagner, M. (2017). *Autonomous vehicle safety: An interdisciplinary challenge*. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9(1), 90-96.

[4] Luckcuck, M., Farrell, M., Dennis, L., Dixon, C., & Fisher, M. (2018). *Formal specification and verification of autonomous robotic systems: a survey*. *arXiv preprint arXiv:1807.00048*.

[5] Vashev, E., Hinchey, M.: *Autonomy Requirements Engineering for Space Missions*. *NASA Monographs in Systems and Software Engineering*. Springer, Switzerland (2014).

[6] D. Trentesaux ; R. Dahyot ; A. Ouedraogo ; D. Arenas ; S. Lefebvre ; Wa. Schon, B. Lussier, and H. Chérítel. "The Autonomous Train," 2018 13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE), Paris, 2018, pp. 514-520.

[7] *Machine Learning and Model Checking Join Forces*, Report from Dagstuhl Seminar 18121

[8] *Machine Learning and Formal Methods*, Report from Dagstuhl Seminar 17351

[9] *AI meets Formal Software Development*, Report from Dagstuhl Seminar 12271

[10] J. Abrial. 2006. *Formal methods in industry: achievements, problems, future*. In *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering (ICSE '06)*. ACM, New York, NY, USA, 761-768.

[11] P.Behm, P.I Benoit, A.Faivre, and J. Meynadier. 1999. *Météor: A Successful Application of B in a Large Project*. In *Proceedings of the World Congress on Formal Methods in the Development of Computing Systems-Volume I*, Springer-Verlag, London, UK, UK, 369-387.

[12] Sabatier D., Burdy L., Requet A., Guéry J. (2012) *Formal Proofs for the NYCT Line 7 (Flushing) Modernization Project*. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 7316. Springer, Berlin, Heidelberg.

[13] Seshia, S. A., Sadigh, D., & Sastry, S. S. (2016). *Towards verified artificial intelligence*. *arXiv preprint arXiv:1606.08514*.

[14] Hinchey, M. G., & Bowen, J. P. (Eds.). (1995). *Applications of formal methods (Vol. 1)*. New Jersey: Prentice Hall.

[15] Lomuscio, A., & Maganti, L. (2017). *An approach to reachability analysis for feed-forward relu neural networks*. *arXiv preprint*.

Required profile	Competences
Successful candidates should have a Master/Engineer degree in computer engineering, artificial intelligence, safety engineering, or a closely related area.	<p>(1) A strong background in either Artificial Intelligence techniques (particularly, an understanding of neural networks and machine learning) and/or formal methods (model-checking, SMT solving, Theorem proving, etc.).</p> <p>(2) A proven ability to program and maintain state-of-the-art toolkits is highly desirable. (3) Background in Systems safety and dependability is a plus.</p>

Applications (cover letter + CV + transcript of grade(s)) should be sent by e-mail as soon as possible, within the reference **VN-2019/14**, to the following e-mails: [recrutement@railenium.eu](mailto:recrutement@railenium.eu), [mohamed.ghazel@ifsttar.fr](mailto:mohamed.ghazel@ifsttar.fr), [abderraouf.boussif@railenium.eu](mailto:abderraouf.boussif@railenium.eu)