



HAL
open science

Vers des outils d'aide à la conduite ferroviaire à base d'intelligence artificielle

Jean-Valentin Merlevede, Simon Enjalbert, Frédéric Vanderhaegen

► To cite this version:

Jean-Valentin Merlevede, Simon Enjalbert, Frédéric Vanderhaegen. Vers des outils d'aide à la conduite ferroviaire à base d'intelligence artificielle. 2ème congrès annuel de la SAGIP, Société d'Automatique, de Génie Industriel et de Productique, May 2024, Villeurbane, France. hal-04541829

HAL Id: hal-04541829

<https://uphf.hal.science/hal-04541829v1>

Submitted on 11 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vers des outils d'aide à la conduite ferroviaire à base d'intelligence artificielle

Jean-Valentin Merlevede¹, Simon Enjalbert¹, Frédéric Vanderhaegen^{1,2}

¹ Univ. Polytechnique Hauts-de-France, CNRS, UMR 8201 - LAMIH, F-59313, Valenciennes, France
(jeanvalentin.merlevede, simon.enjalbert, frederic.vanderhaegen)@uphf.fr

² INSA Hauts-de-France, F-59313 Valenciennes, France

Mots-clés : *Automatique, Intelligence Artificielle, Ferroviaire.*

1 Introduction

Les travaux présentés dans ce papier sont réalisés dans le cadre du Projet Academics4Rail, financé par Europe's Rail, qui est le nouveau partenariat européen dans le domaine ferroviaire créé dans le cadre du projet de recherche Horizon Europe. Le but d'Academics4Rail est de proposer des assistances aux conducteurs pour la conduite ferroviaire. Dans un premier temps, nous allons étudier les degrés d'automatisation pour proposer des niveaux supplémentaires qui correspondent à une assistance progressive à la conduite. Puis nous reprendrons une taxonomie des activités de conduite pour en extraire les tâches qui devront être automatisées et enfin nous étudierons les possibilités qu'offre l'intégration de l'Intelligence Artificielle dans le cadre de l'assistance à la conduite ferroviaire.

2 Niveaux d'automatisation

Les niveaux d'automatisation (GoA, Grades of Automation) définissent la répartition des actions entre le conducteur et les systèmes ferroviaires [1].

- **GoA-0** : Conduite manuelle uniquement sans dispositif de protection automatique.
- **GoA-1** : Conduite manuelle avec dispositif de protection automatique. Les systèmes automatisés concernent le respect des limitations de vitesse et des signaux de danger (ATP), La répétition des signaux en cabine (ERTMS), la VACMA.
- **GoA-2** : Train semi-autonome : le conducteur reste l'autorité finale sur tous les systèmes, les outils d'aide peuvent agir mais uniquement sous la supervision du conducteur (ATO)
- **GoA-3** : Train sans conducteur : il n'y a plus de conducteur à bord, le personnel naviguant est chargé de l'ouverture et la fermeture des portes ainsi que de la détection et la gestion des urgences.
- **GoA-4** : Train autonome. Le train est entièrement automatisé, sous la supervision du Poste de Commande Centralisé.

Dans la Figure (1), les niveaux 2 et 3, les systèmes prennent en charge une partie de la gestion tactique et opérationnelle. Entre les niveaux 2 et 3 il y a un transfert de l'autorité, de l'homme à la machine. Ce transfert impacte la sécurité des usagers et la responsabilité légale en cas d'accident. D'autres échelles existent dans la littérature pour mesurer le niveau d'automatisation des systèmes, par exemple les travaux d'Endsley and Kaber[2], de Fereidunian[2]. Ces échelles proposent des niveaux intermédiaires entre le niveau 2 et 3 pour gérer le transfert d'autorité et la montée en compétence du système automatisé. Deux niveaux supplémentaires sont proposés. Ils permettent un passage naturel du niveau 2 au niveau 3. Les tâches stratégiques restent à la charge du conducteur. Afin que le système soit acceptable par les conducteurs[3], il faut que le conducteur conserve l'autorité finale. De plus le conducteur doit comprendre son

	Niveaux	Opérationnel	Opérationnel	Tactique	Tactique	Stratégique
Grades of Automation	Tâches de conduite	Régulation de vitesse	Départ / arrêt en gare	Surveillance de l'environnement	Fermeture / ouverture portes	Détection et gestion des urgences
GoA-0		Conducteur	Conducteur	Conducteur	Conducteur	Conducteur
GoA-1	ATP	Conducteur \ Système	Conducteur	Conducteur	Conducteur	Conducteur
GoA-2	ATP+ATO	Système \ Conducteur	Conducteur \ Système	Conducteur	Conducteur	Conducteur
GoA-2.1		Système \ Conducteur	Conducteur \ Système	Conducteur \ Système	Conducteur \ Système	Conducteur
GoA-2.2		Système \ Conducteur	Système \ Conducteur	Système \ Conducteur	Système \ Conducteur	Conducteur
GoA-3	Driverless	Système	Système	Système	Personnel de bord	Personnel de bord
GoA-4		Système	Système	Système	Système	Système \ Poste de Commande Centralisé

FIG. 1 – Proposition d’adaptation des degrés d’automatisation
<https://www.overleaf.com/project/65e07a4e73af2e58ae9ce0cc>

système [3]. Au niveau 2.1, le système peut agir de manière autonome, pour les actions concernant son mouvement mais le conducteur reste actif et conserve l’autorité sur la supervision du mouvement du train dans son environnement. Le système vient enrichir la conscience de la situation du conducteur afin de l’aider à anticiper sa conduite. Le système peut alors acquérir les compétences dont il a besoin pour le niveau 2.2. Au niveau 2.2, un transfert d’autorité à lieu et le conducteur devient l’assistant du système pour les tâches de conduite et de supervision de l’environnement que le système ne peut gérer seul. On laisse cependant au conducteur l’autorité finale. Le principal apport de ce nouveau découpage est qu’il permet de développer un système qui maintient le conducteur impliqué dans la tâche de conduite. Le conducteur peut reprendre en main à tout moment, ses compétences ne disparaissent pas et il est plus apte à réagir lorsque le système a besoin d’aide face à une situation inédite.

Dans la TAB. 1, les tâches opérationnelles et tactiques de la taxonomie des tâches proposée dans la cadre du projet Carbodin [3] sont présentées.

	Opérationnelles	Tactiques
Critiques	Régulation de vitesse	Fermeture / ouverture portes Surveillance de l’environnement
Auxiliaires	Accessoires Alimentation	Départ / arrêt en gare
Supports	Eclairage Systèmes de confort	

TAB. 1 – niveaux de prise de décisions

Les tâches critiques de Régulation de vitesse et de surveillance de l’environnement sont à automatiser. Ces tâches ont déjà été automatisée séparément par des précédents travaux, notamment dans le cadre de l’économie d’énergie. Les tâches auxiliaires Accessoires et Alimentation est réclamée par les conducteurs [3]. Ils veulent un niveau d’automatisation comparables à leur voiture. Les tâches support Eclairage et Systèmes de confort font partie des tâches opérationnelles de la conduite et sont donc dans le scope de l’étude.

3 Apport de l’Intelligence Artificielle

Dans la littérature, il existe déjà des travaux menés sur l’intégration de l’intelligence artificielle dans des outils lié à la conduite ferroviaire. L’intelligence artificielle a aussi été utilisée pour la surveillance visuelle de la voie, Besinovic et Al [4] expliquent que l’apprentissage profond

est la plus performante des techniques d'Intelligence Artificielle pour le traitement d'images. De nombreuses études ont été menées pour l'utilisation de l'IA dans la génération de profil de vitesse pour augmenter la rentabilité énergétique du train, par exemple : Approximate Dynamic Programming [5] Machine Learning et Deep Learning [4] [5], reinforcement learning, [5] SVM], Huang et al [6] ont proposé une approche orientée logique avec un arbre de décision flou pour apprendre l'expérience de conducteur humain. Les 2 arguments principaux pour l'utilisation des IA dans la conduite ferroviaire sont la capacité des Intelligences Artificielle à improviser lors des situations inconnues [4] qui vont arriver lors de la conduite ferroviaire ce qui répond au fonctionnement voulu du système au niveau 2.2. Les Intelligences Artificielles sont aussi capables d'apprendre et de mémoriser les solutions apportées par l'humain aux problèmes qu'elles n'auraient pas su résoudre [4] ce qui est le fonctionnement du système au niveau 2.1. De plus l'intelligence artificielle est capable de reconfigurer le modèle et de l'adapter à la situation.

4 Conclusion

L'intelligence artificielle semble une piste prometteuse pour développer de nouveaux systèmes d'aide à la conduite ferroviaire intégrant le conducteur. L'ajout de fonctions automatisées réclamées par les conducteurs augmenteraient potentiellement l'acceptabilité de ces aides. De plus, l'introduction des niveaux intermédiaires laisse un temps d'apprentissage au système ce qui permet une transition progressive d'un train avec conducteur vers un train sans conducteur.

5 Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide au titre du programme-cadre de recherche et d'innovation de l'Union européenne Horizon Europe, projet Academics4Rail (HORIZON-ER-JU-2022-ExplR-04) No 101121842.

Ces travaux de recherche ont été financés par RITMEA, la Région Hauts-de-France, la Communauté Européenne, la Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie, le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et le Centre National de la Recherche Scientifique.

Références

- [1] L. Habib, O. Oukacha, et S. Enjalbert, « Towards Tramway Safety by Managing Advanced Driver Assistance Systems depending on Grades of Automation », IFAC-PapersOnLine, vol. 54, no 2, p. 227-232, 2021, doi : 10.1016/j.ifacol.2021.06.027.
- [2] M. Vagia, A. A. Transeth, et S. A. Fjerdings, « A literature review on the levels of automation during the years. What are the different taxonomies that have been proposed ? », Applied Ergonomics, vol. 53, p. 190-202, mars 2016, doi : 10.1016/j.apergo.2015.09.013.
- [3] J.-V. Merlevede, S. Enjalbert, F. Henon, A. P. Baños, S. Ricci, et F. Vanderhaegen, « Expectations of train drivers for innovative driving cabin », IFAC-PapersOnLine, vol. 55, no 29, p. 144-149, 2022, doi : 10.1016/j.ifacol.2022.10.246.
- [4] N. Besinovic et al., « Artificial Intelligence in Railway Transport : Taxonomy, Regulations, and Applications », IEEE Trans. Intell. Transport. Syst., vol. 23, no 9, p. 14011-14024, sept. 2022, doi : 10.1109/TITS.2021.3131637.
- [5] R. Tang et al., « A literature review of Artificial Intelligence applications in railway systems », Transportation Research Part C : Emerging Technologies, vol. 140, p. 103679, juill. 2022, doi : 10.1016/j.trc.2022.103679.
- [6] J. Huang, Y. Cai, J. Li, X. Chen, et J. Fan, « Toward Intelligent Train Driving through Learning Human Experience », in 2019 1st International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI), Shenyang, China : IEEE, juill. 2019, p. 1-6. doi : 10.1109/ICIAI.2019.8850749.