



Département COSYS

Lettre d'information du laboratoire ESTAS

Mai 2023

Département COSYS

Composants et
Systèmes

Évaluation des
Systèmes de
Transports
Automatisés et de leur
Sécurité

[estas.univ-gustave-
eiffel.fr](http://estas.univ-gustave-eiffel.fr)

Dans ce numéro

Édito du directeur

Transport public
hybride à la demande

Actualités

Guide d'application
mission OQA pour les
STRA

Nouveaux projets

Thèse soutenue

Événements
scientifiques

Nouvelles thèses

Recrutement

Édito du directeur

Depuis le 1er janvier 2023, j'assume la responsabilité de diriger le laboratoire ESTAS. Ce numéro de la lettre d'info ESTAS est donc le premier de ce nouveau mandat de cinq ans.

Depuis sa création, le laboratoire ESTAS a développé des savoir-faire importants sur un large spectre de thématiques relevant de l'analyse de la sécurité et l'exploitation des transports guidés. Ses résultats de recherche, son implication dans des projets nationaux et internationaux et les prestations d'expertise et d'assistance technique qu'il a assurées sur différents systèmes de transport guidé à travers le monde, lui valent un positionnement de premier plan sur ses thématiques et un rayonnement à l'échelle nationale comme internationale. Sur le plan scientifique, le nouveau projet scientifique du laboratoire capitalise sur les travaux antérieurs tout en mettant l'accent sur les systèmes de contrôle-commande et signalisation de nouvelle génération qui font intervenir de nouveaux concepts et paradigmes en termes de gestion des mouvements des trains (canton mobile, canton fixe virtuel, couplage virtuel), et en termes de contrôle-supervision (conduite autonome, intelligence artificielle). Ces évolutions induisent des modifications majeures sur l'exploitation ferroviaire et sur les différentes fonctions de contrôle/commande (localisation, gestion de l'intégrité, monitoring de l'environnement, etc.). ESTAS ambitionne d'accompagner ces ruptures tout en opérant des ouvertures vers d'autres modes de transport, en particulier le routier par rapport à des problématiques de conduite autonome et d'analyse de la sécurité des fonctions à base d'intelligence artificielle.

Par ailleurs, ce nouveau mandat se caractérise par le départ à la retraite de plusieurs membres du laboratoire. Un défi majeur auquel doit donc faire face le laboratoire est de recruter de nouveaux personnels afin de combler ces départs et continuer à développer son capital scientifique et technique autour des transports guidés.

Au sommaire de ce numéro, la présentation du concept de transport en commun « hybride » où aussi bien des arrêts fixes que des arrêts sur demande sont desservis dans une zone de service. Ce numéro offre aussi un éclairage sur la contribution d'ESTAS à la mise en place d'un guide d'application relatif à la mission de l'organisme qualifié agréé pour

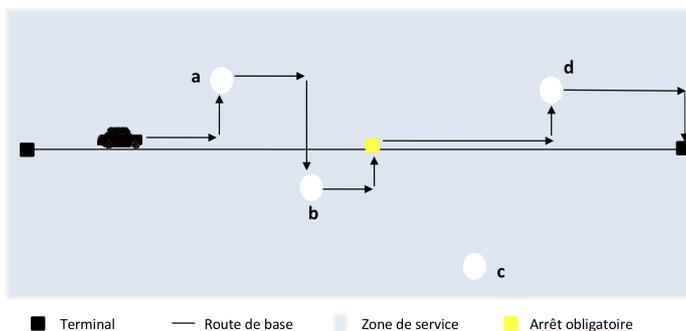
l'évaluation de la sécurité et pour l'audit de sécurité en exploitation des Systèmes de Transport Routier Automatisés (STRA). En outre, le laboratoire prend part à deux nouveaux projets : le premier est le projet européen H2020 MOTIONAL dans le cadre du programme Europe's Rail, dans lequel ESTAS développera de nouveaux algorithmes de gestion de trafic ferroviaire en association notamment avec SNCF. Le second est le projet national FERROMOBILE qui vise à adapter des technologies du secteur automobile au monde ferroviaire afin de développer une solution innovante de mobilité à la demande, multimodale et partagée visant particulièrement les lignes de desserte fine. Par ailleurs, les résultats d'une thèse récemment soutenue au sein du laboratoire sont esquissés. Ces travaux de thèse ont porté sur l'usage d'approches formelles pour l'évaluation de la sécurité de la fonction de localisation ferroviaire à base de GNSS. Enfin, toujours dans la rubrique Actualités, les manifestations scientifiques auxquelles les agents du laboratoire ont pris part, ainsi qu'une liste des nouvelles parutions, sont présentées.

En vous souhaitant une très bonne lecture.

Mohamed Ghazel, Directeur d'ESTAS

Le transport public hybride à la demande : le cas du Flex Route Transit (FRT)

Afin de faire face à des volumes de demandes trop peu élevés dans certaines zones ou à certains horaires, un type de transport en commun "hybride" est exploré depuis plusieurs années (Los Angeles, Harbin...). Appelé Flex Route Transit (FRT), il se base sur une ligne de transport classique contenant quelques arrêts fixes et basée sur une table horaire prédéterminée. Cependant, la navette assurant le service peut se permettre d'ajouter des arrêts supplémentaires, pré-réservés par les clients, tant qu'ils se trouvent dans une zone autorisée autour de la route de base et que le détour n'implique pas de retard aux arrêts classiques. La thèse de Reza Shahin au sein du laboratoire ESTAS se concentre sur l'étude de l'impact du choix des paramètres du système (table horaire, capacité de la flotte, taille de la zone de service...) sur le niveau service potentiel du FRT, grâce à des études de sensibilité et des modèles d'optimisation tactiques (optimisation stochastique).



Exemple d'une ligne de FRT, constituée de deux terminaux, d'un arrêt intermédiaire obligatoire (en jaune) et d'une zone de service (en gris), et illustration d'une route de navette qui permet de récupérer les demandes a, b et d tout en passant par les arrêts obligatoires.

Contact : [Pierre Hosteins](#)

Actualités

Contribution d'ESTAS au guide d'application relatif à la mission de l'organisme qualifié agréé pour l'évaluation de la sécurité et pour l'audit de sécurité en exploitation des STRA **

ESTAS a contribué sur la base de son expertise dans le domaine de la sécurité des transports guidés à l'élaboration du guide d'application relatif à la mission de l'organisme qualifié agréé (OQA) pour l'évaluation de la sécurité et pour l'audit de sécurité en exploitation des STRA en participant aux réunions du groupe de travail national spécifique mis en place par le STRMTG*** pour préciser ces missions. Ce guide fait suite au « Guide d'application GAME pour les systèmes de transports routier automatisés » paru en décembre 2021 et au « Guide technique relatif à la démonstration GAME pour les STRA » paru en août 2022.

Ce document dont la première version officielle est parue en octobre 2022, explicite :

- la mission attendue de l'Organisme qualifié agréé (OQA) pour l'évaluation de la sécurité des nouveaux Systèmes de transport routier automatisés (STRA) ou des modifications substantielles des systèmes existants,
- la mission attendue de l'OQA pour les essais en délégation de conduite,
- la mission attendue de l'OQA pour l'audit annuel de sécurité en exploitation des STRA,
- la mission attendue de l'OQA pour le diagnostic de sécurité des STRA,
- la mission attendue de l'OQA pour l'avis sur le rapport d'analyse de l'accident.

Ce guide est destiné à l'ensemble des acteurs professionnels du secteur des transports routiers automatisés.

*GAME : Globalement au moins équivalent : se dit du niveau de sécurité d'un nouveau système par comparaison avec celui d'un système déjà en exploitation.

** STRA : Systèmes de Transport Routier Automatisés.

*** STRMTG : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés dépendant du ministère en charge des transports.

[Pour en savoir plus ...](#)



Guide d'application relatif à la mission de l'organisme qualifié agréé pour l'évaluation de la sécurité et pour l'audit de sécurité en exploitation des STRA

Contact : [François Baranowski](#)

Nouveaux projets

Projet H2020 MOTIONAL

Motional est un projet mené dans le cadre d'Europe's Rail Joint Undertaking*, Flagship Area 1. Il est coordonné par Hacon Ingenieurgesellschaft mbH et inclut 29 partenaires. L'équipe gestion du trafic du laboratoire ESTAS participe en association avec SNCF aux WP17 (Development - Automated decisions and decision support for traffic management optimisation) et 18 (Demonstration - Automated decisions and decision support for traffic management optimisation). Le travail portera notamment sur la conception d'algorithmes pour la gestion du trafic sur des grands réseaux en considérant les dernières évolutions technologiques envisagées (canton mobile, attelage virtuel, ...). De plus, l'apport de ces algorithmes sera évalué en simulation, pour reproduire en laboratoire un possible déploiement réel. Le projet a démarré le 01/12/2022 et a une durée de 46 mois. Le lancement du projet a eu lieu à Hannovre (Allemagne) le 25 janvier 2023, avec la participation de représentants de tous les partenaires.

* partenariat européen pour la recherche et l'innovation ferroviaires dans le cadre du programme Horizon Europe (2020-2027), qui a succédé à Shift2Rail.

Contact : [Paola Pellegrini](#)

FERROMOBILE : Développement d'une solution innovante de mobilité à la demande, multimodale et partagée

Le projet FERROMOBILE vise à développer et tester une solution innovante de mobilité à la demande, multimodale et partagée pour répondre aux défis posés par les transports publics de voyageurs, particulièrement adaptée aux lignes de desserte fine, en rapprochant le monde ferroviaire des technologies du monde automobile.

L'adaptation de véhicules automobiles de transport de personnes à un usage mixte rail-route, couplée à un système de transport sur rail automatisé avec Système d'Aide à l'Exploitation centralisé, permet de changer de paradigme et d'offrir un service vraiment innovant ([ici](#)).

L'implication de l'Université Gustave Eiffel se concrétise avec un budget conséquent en recherche (4 thèses et 5 post-doctorant-e-s) sur les sujets clés suivants :

1. Gestion du trafic
2. Passages à niveau
3. Sûreté de fonctionnement
4. Connectivité
5. Contact pneu-rail
6. Localisation
7. Evaluation de la performance environnementale.

Le laboratoire ESTAS contribue sur les trois premiers thèmes. Pour la gestion du trafic, ESTAS est impliqué dans la régulation mixte cadencée/à la demande. En réponse aux demandes des voyageurs, le laboratoire développera un algorithme d'optimisation de l'affectation des véhicules pour réduire les temps d'attente dans les hubs. Par ailleurs, ESTAS en collaboration avec des équipes lyonnaises de l'université Gustave Eiffel traitera l'étude du passage à niveau en proposant de le considérer comme un croisement routier aux abords des agglomérations. Enfin, la commande autonome du nouveau véhicule, appelé "Ferromobile" sera abordée par des équipes ESTAS d'un point de vue sécurité en mettant en oeuvre les

méthodes formelles comme recommandé par certaines normes ferroviaires, l'objectif étant de certifier la sécurité d'une conduite sans conducteur.

Partenaires : AKKODIS, ALSTOM, SYSTRA, Entropy, Université Gustave Eiffel, Région Occitanie.

Contact : [Simon Collart-Dutilleul](#)

Thèse soutenue

Ouail Himrane a soutenu sa thèse intitulée "**Contribution à l'évaluation de la sécurité et des performances opérationnelles des systèmes de localisation ferroviaire utilisant le GNSS par une approche fondée sur les modèles formels**" le 16 décembre 2022.

La mise en œuvre de principes opérationnels ferroviaires plus flexibles, tels ceux liés aux cantons mobiles, permettent d'augmenter la capacité des lignes tout en réduisant les coûts de maintenance et d'exploitation. L'instauration de ces principes s'appuie sur des solutions autonomes de localisation des trains qui reposent aujourd'hui principalement sur la technologie GNSS (Global Navigation Satellite System). Cependant, l'introduction de telles innovations technologiques dans le contrôle-commande des trains conduit à l'émergence de nouveaux risques. Ces risques doivent être étudiés méticuleusement et un niveau de confiance doit pouvoir être attribué aux solutions de localisation intégrant les GNSS pour pouvoir être utilisées de manière sécuritaire. En conséquence, l'un des principaux défis consiste à fournir des preuves de sécurité permettant la certification de ces nouveaux systèmes par des techniques d'analyse de sécurité capables d'appréhender les interactions complexes associées.

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans ce contexte en faisant intervenir des approches formelles afin d'évaluer les propriétés de performance et de sécurité liées à l'utilisation de balises virtuelles fondées sur l'utilisation des GNSS pour la localisation des trains. Plus précisément, l'approche orientée modèles adoptée consiste à traduire le comportement du système de localisation par des automates temporels et probabilistes configurables. Concrètement, ces notations permettent de prendre en compte les aspects temporisés et aléatoires dans le comportement de la fonction de localisation, de manière à refléter les incertitudes liées au GNSS d'une manière fiable. Les modèles élaborés étant paramétrables, divers scénarios opérationnels considérant une large variété de configurations, peuvent ainsi être étudiés. Cette possibilité d'analyse est particulièrement adaptée compte tenu de l'impact des conditions environnementales sur les performances du GNSS. Des résultats d'analyse peuvent être obtenus sur la base des modèles développés au moyen d'algorithmes de vérification statistique de modèles. L'outil de modélisation et de vérification UPPAAL-SMC (Statistical Model Checking) est ici employé. Deux cas d'étude sont utilisés pour illustrer l'application de l'approche présentée, et divers résultats d'analyse numérique sont fournis. La contribution proposée adoptant des techniques fondées sur des modèles répond ainsi avantageusement à la volonté croissante de réduire le recours aux essais sur site ferroviaire pour vérifier des conditions ou propriétés de sécurité. Ces essais étant coûteux et chronophages, ils peuvent compromettre l'introduction d'innovations techniques dans le secteur ferroviaire.

Les résultats de ces travaux de thèse ont été valorisés dans le cadre du projet européen PERFORMINGRAIL [Himrane et al. 2023].

Contact : [Julie Beugin](#)

Participation à des événements scientifiques

Workshop WAISE de la conférence SAFECOMP 2022 (International Conference on Computer Safety, Reliability and Security) à Munich, Allemagne - 6 au 9 septembre 2022

Présentation d'ESTAS :

- [Interval weight-based abstraction for neural network verification](#), **F. Boudardara**, A. Boussif, **P.-J. Meyer**, **M. Ghazel**.

Congrès Lambda-Mu à Paris-Saclay, France - 11 au 13 octobre 2022

Présentation d'ESTAS :

- [Argumentaire de sécurité graphique pour l'assurance de sécurité des trains autonomes](#), **Chelouati M.**, Boussif A., **Beugin J.**, **El-Koursi E.-M.**.

Séminaire de mi-parcours du projet PERFORMINGRAIL* intitulé "Moving Block rail signalling... the long and winding road" - 20 octobre 2022

PERFORMINGRAIL est un projet européen soutenu par Shift2Rail qui a démarré en 2020. Il vise à mettre en œuvre une approche système capable de répondre aux défis de l'implémentation en sécurité des concepts opérationnels ferroviaires de canton mobile et de couplage virtuel. Un séminaire de mi-parcours a été organisé en visioconférence le 20 octobre 2022.

Partenaires : Université Gustave Eiffel, University of Birmingham, CINI, Mälardalen University, TU Delft, CERTIFER, Eulynx, Rokubun.

* PERformance-based Formal modelling and Optimal tRaffic Management for movING-block RAILway signalling

[Pour en savoir plus ...](#)

9ème conférence TRA 2022 à Lisbonne, Portugal - 14 au 17 novembre 2022

Quatre présentations d'ESTAS :

- Methodology Framework for Modelling ETCS-L3 Moving Block System, **Saddem-Yagoubi R.**, **Beugin J.**, **Ghazel M.**
- A Safety Assurance Methodology for Autonomous Trains, **Tonk A.**, **Chelouati M.**, Boussif A., **Beugin J.**, **El-Koursi E.-M.**
- Coordinated train rerouting and rescheduling in large infrastructures, **Yi X.**, **Marlière G.**, **Pellegrini P.**, **Rodriguez J.**, **Pesenti R.**
- New Onboard Train Integrity and Train Length Determination: What are the Safety Requirements?, **Sassi I.**, **El-Koursi E.-M.**, **Iovino S.D.**, **Ricevuto N.**

Conférence IEEE Conference on Decision and Control (CDC) 2022 à Cancun, Mexique - 6 au 9 décembre 2022

Présentation au sein de la session "Neural networks" :

- Reachability analysis of neural networks using mixed monotonicity, **Meyer P.-J.**

Workshop annuel Université Gustave Eiffel/ONCF/EMI à Rabat, Maroc - 12 et 13 décembre 2022

Ce workshop annuel a porté sur différentes thématiques liées à la fertilisation croisée entre les différents modes de transport autour des méthodes de sécurité. Des présentations ont été assurées par l'EPSF, SNCF, l'agence ferroviaire européenne (ERA), l'ONCF, l'Université Gustave Eiffel, l'École Mohammadia d'Ingénieurs (EMI), la NARSA, Royal Air Maroc, la direction générale des ports au Maroc, le CNAM de Paris. ESTAS fait partie du comité d'organisation (E.M. El-Koursi et M. Ghazel) et a pleinement contribué au montage du workshop, et à l'animation des sessions.

24ème congrès ROADEF 2023 à Rennes, France - 20 au 23 février 2023

Quatre présentations d'ESTAS :

- Self-organization for train rescheduling and re-routing: a proof of concept, D'Amato L., **Naldini F.**, Tibaldo V., Trianni V., **Pellegrini P.**
- Robustness analysis of railway rerouting and rescheduling to driving behaviour noise, **David B.**, **Pascariu B.**, **Pellegrini P.**, **Marlière G.**
- Real-time train rescheduling for connecting trains, **Sharma B.**, **Pellegrini P.**, **Rodriguez J.**, Chaudhary N.
- Rerouting and rescheduling the coordinated train management problem via an iterative algorithm, **Yi X.**, **Marlière G.**, **Pellegrini P.**, **Rodriguez J.**, Pesenti R.

RailBelgrade 2023 : 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA) à Belgrade, Serbie - 25 au 28 Avril 2023

Six présentations d'ESTAS :

- Railway Traffic Optimization: Robustness to Driving Behaviour Noise, **Pascariu B.**, **David B.**, **Pellegrini P.**, **Marlière G.**
- Railway Rescheduling Considering Rerouting of Connecting Trains after Perturbations, **Sharma B.**, **Pellegrini P.**, **Rodriguez J.**, Chaudhary N.
- Designing self-organizing railway traffic management, D'Amato L., **Naldini F.**, Tibaldo V., Trianni V., **Pellegrini P.**
- An Approximate Conflict Detection and Resolution Model for Moving-Block Signalling by Enhancing RECIFE-MILP, **Versluis N.D.**, **Pellegrini P.**, Quaglietta E., Goverde R.M.P., **Rodriguez J.**
- Coordinated train rerouting and rescheduling in large infrastructures, **Yi X.**, **Marlière G.**, **Pellegrini P.**, **Rodriguez J.**, Pesenti R.
- A multi-objective framework for strategic railway timetabling: integration of ant colony optimization and mixed integer linear programming, Coviello N., Medeossi G., Nygreen T., **Pellegrini P.**, **Rodriguez J.**

Un poster d'ESTAS :

- Assessing self-organization algorithms for railway traffic: the selection of three case studies for the SORTEDMOBILITY research project, Cerreto F., **Pellegrini P.**, Chevrier R., Tavano F.

[Pour en savoir plus ...](#)

Nouvelles thèses

Démarrage de la thèse de Rim Brahim en avril 2023 pour 3 ans sur le sujet : Sécurité d'un véhicule ferroviaire autonome roulant sur des pneus au passage à niveau dans le cadre du projet FERROMOBILE soutenu par l'ADEME.

Contact : [Simon Collart-Dutilleul](#)

Démarrage de la thèse d'Amine Hamidi en janvier 2023 pour 3 ans autour de la formalisation de la composante logicielle d'un transport ferroviaire autonome innovant dans le cadre du projet FERROMOBILE soutenu par l'ADEME.

Contact : [Simon Collart-Dutilleul](#)

Une nouvelle Directrice de Recherche rejoint l'équipe ESTAS

Paola Pellegrini a rejoint le laboratoire ESTAS le 1er janvier 2023. Elle a intégré l'équipe "Gestion de trafic" avec laquelle elle collabore depuis plusieurs années. Ses activités scientifiques se concentreront sur la conception d'algorithmes pour la gestion de la capacité de l'infrastructure ferroviaire, en exploitant la fertilisation croisée entre ce mode de transport et les modes aériens et maritimes.

Parution d'articles

Chouchane A., Ghazel M., Boussif A., [K-diagnosability analysis of bounded and unbounded Petri nets using linear optimization](#), Automatica, Volume 147, 2023, 110689, ISSN 0005-1098, January 2023.

Peres F., Ghazel M., [A proven translation from a UML state machine subset to timed automata](#), ACM Transactions on Embedded Computing Systems, January 2023.

Chelouati M., Boussif A., Beugin J., El-Koursi E.M., [A Graphical safety assurance case using Goal Structuring Notation \(GSN\) - challenges, opportunities and a framework for autonomous trains](#). Journal of Reliability Engineering & System Safety (RESS), vol. 230, February 2023.

Liang C., Ghazel M., [Accident Prediction Modeling Approaches for European Railway Level Crossing Safety](#), In book: New Research on Railway Engineering and Transport, Intechopen, DOI: 10.5772/intechopen.109865, March 2023.

Marlière G., Sobieraj Richard S., Pellegrini P., Rodriguez J., [A conditional time-intervals formulation of the real-time Railway Traffic Management Problem](#). Control Engineering Practice, Volume 133, April 2023.

Himrane O., Beugin J. and Ghazel M., [Implementation of a Model-Oriented Approach for Supporting Safe Integration of GNSS-Based Virtual Balises in ERTMS/ETCS Level 3](#) in IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems, doi: 10.1109/OJITS.2023.3267142, April 2023.

Université Gustave Eiffel - ESTAS 20 rue Elisée Reclus BP 70317 F-59666 Villeneuve d'Ascq Cedex

Lettre coordonnée par Marielle Cuvelier et Sonia Sobieraj Richard

[Inscription](#) / [Désinscription](#) / [Changement d'adresse](#) / [Suggestions-Avis](#)