



Département COSYS Lettre d'information du laboratoire ESTAS

Septembre 2021

Département COSYS

Composants et Systèmes

Évaluation des
Systèmes de
Transports
Automatisés et de leur
Sécurité

www.estas.ifsttar.fr/

Dans ce numéro

Édito du directeur

Systèmes de Transports
Routiers Automatisés
(STRA)

Ferroviaire :
déploiement des cantons
mobiles et du couplage
virtuel

Actualités

Nouveau chercheur

Événements

Nouveaux projets

Fin de projets

Thèses soutenues

Nouvelles thèses

Édito du directeur

Depuis ses origines, des chercheurs et experts du laboratoire ESTAS ont accumulé une connaissance et une expérience rare dans le domaine de l'évaluation de la sécurité des systèmes de transport guidé. Au cours de ces quarante dernières années, l'automatisation de la conduite est restée circonscrite aux systèmes de transport guidés comme les métros. Le « nouveau » concept de véhicule autonome désigne le déploiement de cette automatisation aux véhicules routiers qui circuleraient sans intervention humaine sur la voie publique, il s'agit donc d'un déploiement pour un système de transport bien plus ouvert. Ce numéro de notre lettre est l'occasion de mettre en avant notre contribution à la réflexion des différents acteurs de la filière au travers de groupes de travail où ESTAS partage ses compétences et expériences acquises en matière de démonstration de la sécurité sur les systèmes guidés aux cas des véhicules autonomes.

Le déploiement du système de signalisation ferroviaire par canton mobile et de sa variante pour le couplage virtuel de trains est le second thème de ce numéro, le laboratoire ESTAS est un des partenaires d'un projet européen H2020 en cours sur ce sujet.

Vous trouverez aussi dans ce numéro une section d'actualités fournie avec l'arrivée d'un nouveau chercheur, Pierre-Jean Meyer, les projets et thèses qui commencent et se terminent ainsi que les manifestations organisées par le laboratoire.

Il me reste à vous souhaiter une bonne lecture.

Joaquín Rodriguez, Directeur d'ESTAS

ESTAS et la réglementation autour des Systèmes de Transports Routiers Automatisés (STRA)

Les STRA font leur apparition, pour l'instant à titre expérimental, dans quelques sites en France. Le déploiement plus conséquent de ces systèmes autonomes sur le territoire français doit être accompagné du respect d'obligations de sécurité qui seront fixées par un nouveau décret en cours de rédaction. Pour compléter divers aspects pratiques de sa mise

en œuvre, le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés (STRMTG) qui est un service du ministère en charge des transports a mis en place des groupes de travail autour de diverses thématiques liées à ces véhicules autonomes, nouveaux dans le paysage de la mobilité. ESTAS, avec d'autres laboratoires de l'Université Gustave Eiffel, participe avec les principaux acteurs de la filière transport (constructeurs, opérateurs, ...) aux réflexions et à la rédaction de guides pratiques complétant le décret STRA.

[Décret n°2021-873 du 29 juin 2021](#)

Contact : [François Baranowski](#)

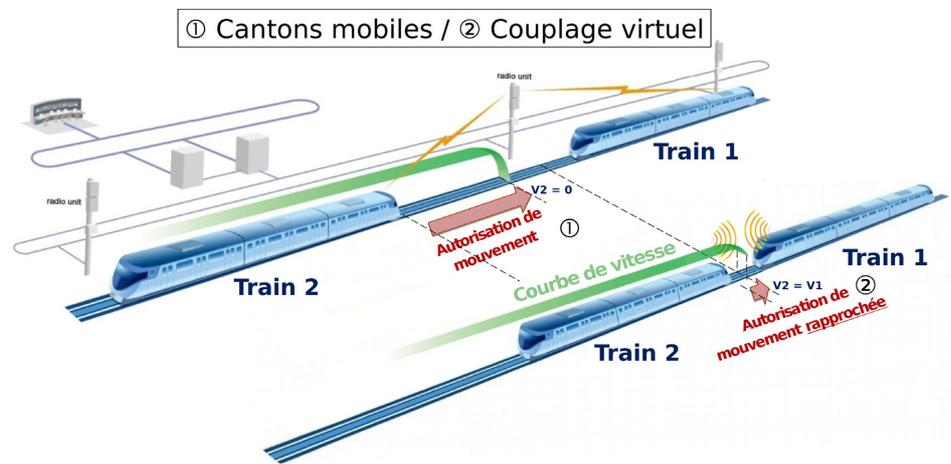
Vers le déploiement des cantons mobiles et du couplage virtuel pour les lignes à grande vitesse et conventionnelles

De nombreuses lignes de métro s'appuient depuis plus de deux décennies, sur le concept de « cantons mobiles » pour gérer efficacement l'espacement entre trains en vue d'améliorer la capacité des réseaux. Ceci est rendu possible grâce aux technologies de contrôle-commande des systèmes CBTC (Communication Based Train Control). Utiliser ce concept pour les lignes ferroviaires conventionnelles et grande vitesse s'avère très intéressant mais beaucoup plus complexe que pour les lignes de métro généralement caractérisées par des topologies de voies simples, des distances de freinage courtes et une homogénéité des circulations. À cette complexité s'ajoute la nécessité de s'inscrire dans le cadre européen harmonisé de l'ERTMS (European Rail Traffic Management System). Le troisième niveau d'implémentation d'ERTMS permet l'utilisation des cantons mobiles. Cependant, les travaux restent aujourd'hui au stade des spécifications en raison du manque de technologies et de méthodes permettant de gérer en sécurité les configurations de voies complexes et les circulations hétérogènes.

C'est dans ce contexte que le projet PERFORMINGRAIL* a démarré en décembre 2020, pour une durée de 2,5 ans avec la participation des équipes « Approche Système de la Sécurité » et « Gestion de Trafic » d'ESTAS (cf. ci-dessous nouvelle thèse de Nina Versluis). Il repose sur la mise en œuvre d'une approche système pour l'implémentation en sécurité du concept de canton mobile en s'intéressant, à la fois, à sa déclinaison classique et à son adaptation pour le couplage virtuel. Ce dernier permet d'optimiser la capacité de la ligne puisqu'un train adapte sa vitesse à celle du train de devant, par l'intermédiaire d'un lien radio entre eux, pour s'en rapprocher au maximum.

Le projet a pour objectif de définir des spécifications et des principes d'exploitation sûrs liés à un système avancé de contrôle-commande utilisant les cantons mobiles. L'approche système évoquée s'appuiera sur l'emploi de technologies fiables et avancées de contrôle d'intégrité et de positionnement des trains, ainsi que sur l'utilisation de modèles et techniques de vérification formels et d'algorithmes optimisés de gestion du trafic.

*[PERformance-based Formal modelling and Optimal tRaffic Management for movING-block RAILway signaling](#) (Projet soutenu par Shif2Rail dans le cadre du programme européen H2020 et réunissant 8 partenaires).



Trafic plus performant - Concepts avancés en contrôle-commande ferroviaire
(inspiré de ©Meepi.com)

Contact : [Julie Beugin](#)

Actualités

ESTAS accueille un nouveau chercheur

L'équipe « Approche Système de la Sécurité » d'ESTAS accueille depuis le 1er mars 2021 un nouveau chercheur, Pierre-Jean Meyer. Sa thématique de recherche porte sur des méthodes où l'analyse et le contrôle d'un système complexe sont réalisés via la création d'un modèle simplifié plus facile à manipuler et analyser. Suite à son recrutement, ses objectifs sont l'adaptation de ces approches et le développement de nouvelles méthodes formelles pour l'évaluation de la sécurité des véhicules autonomes comportant des modules d'intelligence artificielle.

IFAC Symposium on Control in Transportation Systems (CTS'2021) - 8 au 10 juin 2021

Le Symposium CTS'2021 s'est tenu à Lille du 8 au 10 juin 2021 sous une forme virtuelle. Ce 16ème numéro a été organisé par le laboratoire ESTAS.

Au total, 55 articles rédigés par 175 auteurs de 22 pays ont été présentés au cours des 12 sessions régulières du symposium, couvrant de nombreux aspects liés au vaste domaine de l'analyse, de la supervision, de la gestion, de la planification et du contrôle des systèmes de transport. Environ 120 personnes ont rejoint les différentes sessions du symposium avec une interaction intense entre les présentateurs et l'audience.

Outre les sessions régulières, trois sessions plénières ont été organisées :

- Luc Julia - CTO et Senior Vice Président Innovation pour Samsung Electronics : « There is no such thing as Artificial Intelligence »,
- Rob M.P. Goverde, Professeur à l'Université technique de Delft, Pays-Bas : « An integrated control approach to resilient railway traffic systems »,
- Nikolas Geroliminis, Professeur à l'EPFL Lausanne, Suisse : « Large-scale perimeter control for heterogeneously congested transport networks ».

Un « Prix IFAC du jeune auteur » a été attribué. Les finalistes sont Raffaele Soloperto (Univ. de Stuttgart, Allemagne), Joost Jeschke (TU Delft, Pays-Bas) et Ouail Himrane (Univ. Gustave Eiffel, France). Le lauréat est Raffaele Soloperto pour son article intitulé « A Control Framework for Autonomous E-Scooters ».

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

Webinaire « Gestion du trafic ferroviaire » du Contrat d'Objectif et de Performance 2017-2021 entre l'État et l'IFSTTAR - 20 mai 2021

Le laboratoire ESTAS a organisé un séminaire de restitution du COP entre l'IFSTTAR (aujourd'hui Université Gustave Eiffel) et l'État sur les problèmes de planification et pilotage des circulations ferroviaires. Six interventions et une table ronde étaient au programme. Nous avons enregistré un total de 140 inscrits et la participation moyenne durant les trois heures de webinaire était de 85 connexions.

Si vous n'avez pas pu assister à ce webinaire ou vous en avez manqué une partie, vous trouverez les planches et les vidéos sur ce [lien](#). N'hésitez pas à le transmettre à toute personne qui pourrait être intéressée.

Participation à l'événement « Révolutions fret ferroviaire » i-TRANS / RAILENIUM – table ronde sur « les ports optimisés » - 1er juin 2021

Pierre Hosteins a participé le 1er Juin 2021 à une table ronde organisée par i-TRANS en collaboration avec RAILENIUM sur « les ports optimisés » lors de l'évènement « Révolutions fret ferroviaire » qui a eu lieu sur le port fluvial de Lille et a été retransmis en direct par internet.

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

Nouveaux projets

Développement d'un outil de génération de grilles horaires cadencées pour l'ensemble du réseau ferroviaire norvégien

Les laboratoires LEOST (Paola Pellegrini) et ESTAS (Joaquin Rodriguez) ont été associés comme partenaires académiques avec la société Treno-Lab pour la réponse au marché lancé par l'autorité organisatrice des transports norvégienne sur le développement d'un outil de génération de grilles horaires cadencées pour l'ensemble de leur réseau ferroviaire. Leur participation à ce projet qui a démarré en décembre 2020 porte sur la conception de l'algorithme d'optimisation.

Contact : [Joaquin Rodriguez](#)

SORTEDMOBILITY

SORTEDMOBILITY (Self-Organized Rail Traffic for the Evolution of Decentralized MOBILITY) est un projet en réponse à l'appel ERA-NET Cofund Urban Accessibility and Connectivity (ENUAC) de la JPI Urban Europe, sa durée est de 3 ans. Ce projet est porté par le LEOST (Paola Pellegrini) avec l'implication de l'équipe « Gestion de Trafic » du laboratoire ESTAS. Les autres partenaires sont SNCF (France), DTU (Danemark), BDK (Danemark), ISTC-CNR (Italie), RFI (Italie) et TU Delft (Pays-Bas).

SORTEDMOBILITY propose une approche holistique pour la gestion décentralisée de l'exploitation des transports publics dans les zones urbaines et interurbaines, en se concentrant spécifiquement sur le transport ferroviaire. Dans cette approche, le fonctionnement des trains intelligents repose sur un principe « d'auto-organisation » afin de fournir un haut niveau de service dans le contexte du transport public multimodal. Le système de transport ferroviaire sera plus résilient, capable de s'adapter à un environnement en évolution en ce qui concerne la demande et en cas de perturbations. Une évaluation par simulation

permettra de comparer l'approche auto-organisée avec l'approche centralisée traditionnelle. Il intégrera de nouvelles méthodes avancées pour la prévision de la demande des passagers et la modélisation du trafic ferroviaire, y compris de nouveaux principes d'exploitation tels que les pelotons de trains assemblés par couplage virtuel.

Contact : [Joaquin Rodriguez](#)

Fin de projet

Simulation de l'exploitation des lignes RER B et D avec une régulation optimisée

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet de modernisation des lignes B et D du RER en phase avec les interconnexions du Grand Paris Express et les augmentations de trafic voyageurs sur le RER D sud. L'objectif de l'étude était d'estimer, à l'aide de simulations, le gain apporté par la signalisation CBTC - NexTEO (canton mobile et pilotage automatique) dans différentes configurations de régulation.

Les résultats de ce projet seront présentés dans une future lettre d'information du laboratoire.

Partenaire : SNCF Réseau.

Contact : [Grégory Marlière](#)

Thèses soutenues

Kenza KRAIBI a soutenu sa thèse intitulée « **Vers une Architecture Modulaire de Modélisation Formelle : Décomposition Système/Sous-systèmes en B Événementiel** » le 21 janvier 2021.

Les activités d'analyse et de modélisation des systèmes critiques, tels que les systèmes ferroviaires, constituent des tâches d'envergure nécessitant des mécanismes rigoureux. Fondées sur des bases mathématiques, les méthodes formelles peuvent aider à mener rigoureusement ces activités et à réduire l'ambiguïté des spécificités de ces systèmes. La méthode B événementiel fait partie des méthodes les plus utilisées et recommandées pour la modélisation système. Le mécanisme central d'une modélisation système en B événementiel est le raffinement. En effet, le raffinement consiste à détailler des spécifications abstraites afin d'obtenir des spécifications plus concrètes. En outre, le processus de raffinement doit être prouvé afin d'assurer la cohérence et la correction de la modélisation du système entre deux niveaux de raffinement. Bien que la méthode B événementiel dispose d'un mécanisme de raffinement permettant de passer d'un niveau abstrait à un niveau de granularité plus fine, les modèles formels pour de tels systèmes sont souvent complexes et volumineux. En outre, il est difficile de communiquer autour de ces modèles entre les différents corps de métier (les experts métier du domaine, les ingénieurs système, les ingénieurs sous-systèmes, etc.) et de gérer les différentes briques du système fournies. Ceci nécessite, dans la majorité des cas, une intervention manuelle assurant la synergie entre ces acteurs.

Dans le but d'avoir une meilleure communication et gestion, la décomposition est apparue comme technique qui complète le raffinement. Ce mécanisme a pour but de diminuer la complexité du modèle initial en le partitionnant en sous-modèles, et de faciliter par conséquent les activités de vérification formelle. Les approches de décomposition proposées dans la littérature ont quelques limitations au vu des besoins industriels exprimés dans le cadre des systèmes critiques, entre autres, le raisonnement système/sous-systèmes. L'application de

ces approches sur de tels systèmes est particulièrement difficile et exige des étapes intermédiaires de raffinement. En effet, ces méthodes de décomposition peuvent entraîner une perte de quelques propriétés du système comme les propriétés de sécurité ou une incohérence du comportement exprimé dans les sous-modèles avec celui du modèle initial.

Sur la base de cette problématique, le sujet de thèse est focalisé sur la définition d'une nouvelle approche modulaire de modélisation des systèmes critiques basée sur la décomposition en B événementiel. Cette approche porte sur la décomposition d'un système en plusieurs sous-systèmes en préservant le comportement du système global. Cela est assuré par la définition de nouveaux liens sémantiques ainsi que de nouvelles règles pour la génération des obligations de preuve associées. La correction de l'approche proposée est assurée en démontrant que l'ensemble des composants résultants, après la décomposition, constitue un raffinement du système initial décomposé. Cette méthodologie est illustrée par un cas d'étude concret issu du secteur ferroviaire.

Contact : [Philippe Bon](#)

Frank Kamenga a soutenu sa thèse intitulée « **Optimisation combinatoire intégrée de la gestion du matériel roulant et de la circulation ferroviaire dans les gares de passagers** » le 20 novembre 2020.

Les gares ferroviaires concentrant les fins et les débuts de trajets des trains structurent l'essentiel de l'exploitation de lignes pour passagers. En effet, on y programme des opérations de préparation du matériel roulant (nettoyage, accouplement des trains. . .) dites de « produit train » indispensables à la qualité de service. Ces opérations imposent des manœuvres et nécessitent de garer des trains. Cette thèse aborde de manière intégrée la planification des opérations de produit train et la gestion de la capacité en gare. Elle introduit pour cela le Generalized Train Unit Shunting Problem (G-TUSP). Il s'agit plus précisément d'affecter des trains arrivant dans une gare à des départs et des voies de garage et d'ordonner leur maintenance et leurs manœuvres. Ces décisions sont prises afin de minimiser les retards au départ, les accouplements et désaccouplements de trains et les annulations de départ ou de maintenance. Le G-TUSP possède des contraintes liées à des caractéristiques techniques du matériel roulant et de l'infrastructure ainsi qu'à la nature des opérations réalisées. Le G-TUSP comporte quatre sous-problèmes, souvent traités indépendamment dans la littérature. Cette thèse propose des algorithmes d'optimisation comme outils d'aide à la décision pour les planificateurs du produit train. Une formulation en programme linéaire à variables mixtes est établie en considérant une représentation détaillée des aspects du G-TUSP. La formulation est testée sur des instances réelles de la gare Metz-Ville et des résultats pertinents sont obtenus en une heure de calcul. Nous proposons ensuite des algorithmes dans lesquels nous considérons différentes combinaisons d'approches séquentielles ou intégrées pour les sous-problèmes du G-TUSP. Dans une analyse expérimentale détaillée basée sur des instances de la gare de Metz-Ville, nous étudions la contribution de chaque sous-problème à la difficulté du G-TUSP et nous identifions le meilleur algorithme. Cet algorithme donne des résultats très satisfaisants en moins de vingt minutes.

Contact : [Joaquin Rodriguez](#)

Nouvelles thèses

Début de la thèse de Fateh Boudardara en septembre 2020 sur la vérification et l'évaluation de fonctions intégrant de l'intelligence artificielle pour l'opération des trains autonomes, l'équipe encadrante étant Mohamed Ghazel, directeur de thèse, co-encadrement d'Abderraouf Boussif de Railenium.

Contact : [Mohamed Ghazel](#)

Début de la thèse de Mohammed Chelouati en octobre 2020 sur le développement d'une démarche d'aide à l'assurance sécurité des trains autonomes, l'équipe encadrante étant El-Miloudi El-Koursi, directeur de thèse, co-encadrement de Julie Beugin et d'Abderraouf Boussif (Railenium).

Contact : [El-Miloudi El-Koursi](#)

Début de la thèse de Reza Shahin au 1er novembre 2020, sur le thème « Optimisation de la gestion d'une flotte de véhicules autonomes pour un transport public à la demande », l'équipe encadrante étant Paola Pellegrini (LEOST), Pierre-Olivier Vandanjon (AME) et Pierre Hosteins.

Contact : [Pierre Hosteins](#)

Début de la thèse de Nina Versluis en février 2021 au laboratoire Digital Rail Traffic Lab de l'Université de technologie de Delft et financée dans le cadre du projet européen PerformingRail. Le sujet porte sur l'optimisation du trafic ferroviaire dans le contexte d'une signalisation avec canton mobile. Cette thèse est co-encadrée par Paola Pellegrini (LEOST) et Joaquin Rodriguez.

Contact : [Joaquin Rodriguez](#)

Parution d'articles

De Almeida Pereira D. I., Himrane O., Bon P., Beugin J., From French National Signalling Systems to ERTMS: Considering the Evolution of Trackside Systems. ICCSIT 2020 - 13th International Conference on Computer Science and Information Technology, virtual conference, 2020 October 14-16, The Netherlands.

Himrane O., Beugin J., Ghazel M., [Towards a Model-Based Safety Assessment of Railway Operation Using GNSS Localization](#). ESREL 2020 & PSAM 15 - 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, 2020 November 1-5, virtual attendance, Venice, Italy.

Sassi I., **Beugin J.**, Sallak M., Ait Tmazirte N., [Allocating imprecise safety targets in satellite-based localization systems used in railway signaling operations](#). ESREL 2020 & PSAM 15 - 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, 2020 November 1-5, virtual attendance, Venice, Italy.

Himrane O., Beugin J., Ghazel M., Proposition d'une approche orientée modèles pour évaluer la sécurité des systèmes de signalisation ferroviaire utilisant les GNSS. 22ème congrès Lambda-Mu, e-congrès, 2020, France.

Boussif A., **Collart-Dutilleul S.**, **Baranowski F.**, **Beugin J.**, Schön W., Démonstration de la sécurité opérationnelle de la téléconduite des trains : contexte, méthodologie et défis. 22ème congrès Lambda-Mu, e-congrès, 2020, France.

Kamenga F., **Pellegrini P.**, **Rodriguez J.**, Merabet B., [Solution algorithms for the generalized train unit shunting problem](#), EURO Journal on Transportation and Logistics, Volume 10, 2021, 100042, ISSN 2192-4376

Cuvelier M., Uster G., [Transition vers une mobilité quotidienne bas carbone en périurbain](#), Construction 21, 29 mars 2021.

Tajvar P., **Meyer P.-J.** and Tumova J., [Closed-loop incremental stability for efficient symbolic control of non-linear systems](#). 7th IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems, Brussel, Belgium, 2021.

Himrane O., **Beugin J.**, **Ghazel M.**, Toward Formal Safety and Performance Evaluation of GNSS-based Railway Localisation Function. CTS 2021, 16th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, 2021 June 8-10, Lille, France.

Verma S., **Ghazel M.**, Berbineau M., Model-Based Dependability Evaluation of a Wireless Communication System in a Virtually Coupled Train Set, 16th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, 2021 June 8-10, Lille, France.

Tonk A., Boussif A., **Beugin J.**, **Collart-Dutilleul S.**, Towards a Specified Operational Design Domain for a Safe Remote Driving of Trains. ESREL 2021 - 31st European Safety and Reliability Conference, 2021 September 19-23, Angers, France.

Boussif A., **Ghazel M.**, [Tuning the Diagnoser-based Approach for Diagnosability Analysis of Finite Automata](#), International Journal of Control, Automation and Systems, 2021, Springer.

Jerbi N., **Collart-Dutilleul S.**, [Decision Tools Regarding Time Constraints Violation in Manufacturing Workshops](#), International Journal of Computers Communications & Control, Vol 16 No 3, june 2021.