



# POLYTECH.NEWS

Le journal de la Faculté Polytechnique de Mons



**DOSSIER**  
Ingénieurs  
et transports

Une deuxième bourse ERC  
accordée en Polytech !

Témoignage d'un étudiant  
au Portugal



**POLYTECH  
MONS**

## Éditeur Responsable

Pierre Dehombreux  
Doyen de la FPMs

## Comité de Rédaction

Georges Kouroussis  
Rédacteur en chef

François Vallée  
Secrétaire de rédaction

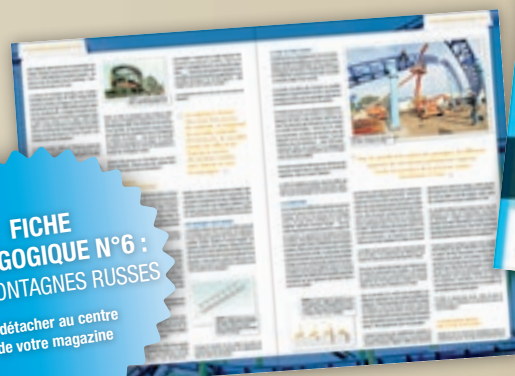
Joël Hancq  
Éditeur invité

Zacharie De Grève, Fanny Descamps,  
François Ducobu, Maxime Duménil,  
Eric Dumont, Mathilde Goemaere,  
Saïd Mahmoudi, Christine Martens,  
Marie-Aude Rousseau, Sébastien  
Svenssek, Dominique Wynsberghe  
Comité de Rédaction

Ekaterina Alekseeva, Philippe Ancia,  
Jean-Marc Baele, Michel Bagein,  
Sébastien Bette, Sandrine Brognaux,  
Hüseyin Cakmak, Christophe Caucheteur,  
Olivier Deblecker, Yves Deblic, Maxime  
Decrucq, Jérémy Delcourt, Dominique  
Derestiat, Fanny Descamps, François  
Ducobu, Nicolas Dupont, Clément Dutoit,  
Guillaume Fleurquin, Nicolas Gillis,  
Jean-Marc Godart, Jean-Marc Godart,  
Pascal Goderniaux, Mathilde Goemaere,  
Nicolas Gonze, Charles Grimonprez,  
Massimo Gurrieri, Joël Hancq, Michel  
Hennebert, He Hongyang, Alessio Iscaro,  
Olivier Kaufmann, Georges Kouroussis,  
Christophe Letot, Jacques Lobry,  
Pierre Manneback, Sébastien Mercier,  
Mohand Mezmaz, Véronique Moeyaert,  
Christophe Nachtergaele, Jean-François  
Piche, Nicolas Point, Benoit Quevrin,  
Xavier Ricco, Diane Thomas,  
Jean-Louis Truffaut, P. Kabeya  
Tshibamba, Jean-Pierre Tshibangu,  
Daniel Tuyttens, François Vallée, Thierry  
Vanherck, Christopher Wawrzyniak  
Rédacteurs invités

# SOMMAIRE

**FICHE  
PÉDAGOGIQUE N°6 :  
LES MONTAGNES RUSSES**  
à détacher au centre  
de votre magazine



- 3 **ÉDITORIAL**
- 3 **LE MOT DU DOYEN**
- 4 **DOSSIER | Ingénieurs et transports**
  - 7 GreenRail 2 : Optimisation multicritère des horaires de trains
  - 8 INOGRAMS : un portefeuille de projets en vue d'un système global de gestion du rail
  - 10 Convertisseurs auxiliaires pour applications ferroviaires : bilan d'une collaboration de longue date
  - 11 Les techniques de transmission par courants porteurs en ligne : du réseau électrique au réseau ferroviaire
  - 12 Vibrations induites par les lignes ferroviaires : comprendre les mécanismes et proposer des solutions préventives
  - 14 MULTITEL, centre de certification pour le ferroviaire européen
  - 16 Connaître en sécurité la position d'un train : de nouvelles solutions technologiques
  - 18 La maintenance dans le monde ferroviaire : un pari d'avenir...
  - 19 Quelles alternatives au système GSM-R ?
  - 20 Quand les transports impactent l'architecture ...
  - 21 Le transport dans les mines et carrières
  - 22 ShareABike : Un système innovant pour le partage de vélos
  - 23 ECOLOGISTICS, une meilleure visibilité des flux à la portée des PME
  - 24 Le banc moteur, un outil indispensable pour les étudiants participant au concours Shell Eco-marathon
  - 24 Un Ingénieur de la FPMs dans l'écurie Ferrari en F1
  - 25 Le char Polytech, quand transport rime avec folklore
  - 26 Le transport de substances dangereuses : Quels risques ?
- 27 **FPMS À L'INTERNATIONAL**
  - 28 **POLYTECH DOCT' NEWS**
    - 28 Benchmarks, Reduction Techniques and Rule-Based Learning for Label Ranking
    - 28 Modeling, Dynamics and Control of the Anaconda in-line polycycle
    - 28 Impact de la maintenance sur les risques industriels majeurs
    - 29 Expressive speech synthesis: research and system design with hidden Markov models
    - 29 Audiovisual Laughter Synthesis – A Statistical Parametric Approach
    - 29 VISION : Video and Image Saliency Detection
- 30 **NOS CHERCHEURS SE DISTINGUENT**
- 31 **NOS ÉTUDIANTS SE DISTINGUENT**
- 32 **LIAISONS**
- 34 **PÊLE-MÊLE**

# ÉDITORIAL

✉ Prof. Georges Kouroussis



« Décrire la Faculté Polytechnique de Mons ; entrer dans ses activités d'enseignement et de recherche ; vivre sa vie de tous les jours dans le monde des étudiants, du personnel, des anciens ; parler de son rayonnement international et de son aide à la collectivité ; réfléchir au profil de l'ingénieur civil du XXI<sup>e</sup> siècle ; voici quelques objectifs du Polytech News ». C'est à travers cette phrase que l'ancien Recteur C. Bouquegneau de la Faculté Polytechnique de Mons définissait le Polytech News dans son premier éditorial. Force est de constater que cette définition est toujours d'actualité. Et ce nouveau numéro ne déroge pas à la règle, avec un dossier portant sur le transport et l'implication des Ingénieurs Civils montois dans les nouvelles technologies et les recherches associées. Notre collègue Joël Hancq, par ailleurs membre du conseil d'administration de Logistics In Wallonia (pôle de compétitivité wallon pour le secteur du Transport, de la Logistique et de la Mobilité), est venu nous prêter main forte dans l'élaboration de ce dossier. Plusieurs articles composent celui-ci, montrant toutes les facettes de la contribution de l'Ingénieur Civil dans ce secteur. Certes, une part importante est dédiée au ferroviaire, mais d'autres moyens de locomotion sont aussi mis

en avant, même dans les domaines de recherche les moins soupçonnés. Le transport, qu'il soit routier, ferroviaire ou aérien, reste vraisemblablement un défi au cœur de grands enjeux transversaux et l'ingénieur doit pouvoir combiner innovation, développements technologiques et gestion durable de la mobilité, des biens et des personnes.

Le PN53 couvre également d'autres rubriques : Doct'News qui nous donne une information détaillée sur les diverses thèses made in FPMs (est-il encore utile de signaler l'évolution croissante du nombre de thèses défendues en Polytech, preuve évidente de notre vitalité scientifique), les diverses manifestations nationales et internationales organisées dans nos murs, ou les prix et distinctions obtenus par nos collègues et nos étudiants (je ne peux m'empêcher de féliciter encore une fois mon collègue Nicolas Gillis pour sa bourse ERC, la deuxième FPMs et UMONS !).

Je vous invite donc à prendre autant de plaisir à lire ces articles que l'ensemble du comité de rédaction à les avoir élaborés !

## LE MOT DU DOYEN

### LE MOT DU DOYEN

✉ Prof. Pierre Dehombreux



Lorsque vous lisez en ces pages que les ingénieurs sont tous animés d'un transport en commun, c'est « passion » qu'il faudra prendre comme acception du terme « transport » au sujet de leur thématique de recherche. Quoi de plus motivant en effet, à défaut de pouvoir contrôler le temps, que de développer des technologies permettant de réduire les contraintes des distances et de les parcourir de la manière la plus confortable, la plus sûre et la plus respectueuse de l'environnement qui soit ? Que de chemin parcouru depuis la production de rails destinés à la première ligne européenne publique de train à vapeur exploitée entre Bruxelles-Malines en 1835, issus des laminoirs Dupont fondés dans notre région du Centre !

Je ne résiste pas à reprendre la citation mise en exergue dans cette même rubrique du dernier Polytech News : chacun de nous qui a lu le Lotus Bleu se souviendra de cette citation prêtée à Lao Tseu : « Il faut trouver la voie ! ».

Qu'il s'agisse de conception, de production, de maintenance ou de logistique, de véhicules ou d'infrastructures fixes, toutes les formations d'ingénieur sont utiles et nécessaires pour relever les défis du secteur du transport. Celui-ci s'inscrit d'ailleurs dans le peloton de tête des entreprises qui recrutent le plus. Parmi les vingt entreprises qui emploient le plus grand nombre de diplômés de notre Faculté, cinq lui sont directement liées.

Ce numéro de Polytech News, remarquablement introduit par l'article de synthèse du Prof. Joël Hancq, illustre la variété des contributions de nos enseignants, chercheurs et étudiants qui ont chacun trouvé leur voie au service de la société. Merci à leurs rédacteurs de nous offrir un libre parcours entre des points d'intérêt aussi diversifiés que la prédiction des nuisances vibratoires liées au trafic, l'optimisation énergétique des horaires ferroviaires ou les contraintes de transport des produits miniers ou de substances dangereuses.



# INGÉNIEURS ET TRANSPORTS



✉ Prof. Joël Hancq



**Les transports constituent un secteur économique clé au niveau des 28 pays de l'Union européenne représentant en 2014 quelques 548 milliards d'euros de valeur ajoutée ainsi que 11 millions d'emplois. De nombreux défis subsistent dans le futur proche pour un transport durable et intelligent : accroissement de la densité du trafic, dépendance vis-à-vis des sources d'énergie en particulier du pétrole, émission des gaz à effet de serre, sécurité, ...**

## LES MODES DE DÉPLACEMENT DE L'HOMME ONT TOUJOURS ÉTÉ INTIMEMENT LIÉS À SON DEGRÉ D'AVANCÉE TECHNOLOGIQUE

De tout temps, les ingénieurs ont largement contribué au développement du transport qu'il s'agisse de personnes ou de biens et ceci sous des formes diverses liées à la création des infrastructures, à la conception et la mise en œuvre de moyens de déplacement et à leur gestion mais bien d'autres y sont confrontés vu les interactions existantes entre ce secteur et des activités connexes. Ne citons à titre d'exemple que la logistique pour laquelle le Gouvernement wallon a décidé au niveau du plan Marshall d'y consacrer un pôle de compétitivité nommé « Logistics In Wallonia », reprenant les activités de logistique, de transports et même au niveau de l'innovation, les aspects liés à la mobilité de manière plus générale.

Toutes nos spécialisations d'ingénieurs s'y retrouvent impliquées à des degrés divers qu'il s'agisse :

- d'un ingénieur architecte confronté à des problèmes d'aménagements urbains,

- d'un ingénieur chimiste dans le déplacement de matières dangereuses,
- d'un ingénieur électricien confronté à l'alimentation électrique de systèmes de traction,
- d'un ingénieur mécanicien vis-à-vis de problèmes de maintenance de matériel roulant,
- d'un ingénieur en informatique et gestion face à l'optimisation de ressources de transport
- ou d'un ingénieur des mines dans le cadre de l'exploitation des carrières.

Au travers ce dossier, nous tenterons de vous faire partager ces diverses approches par le biais d'activités menées dans différents services d'enseignement et de recherche de la Faculté mais aussi d'entités créées par celle-ci. Nos étudiants sont également sensibilisés à ce secteur d'activités par le biais de la participation ouverte à divers concours nationaux ou internationaux comme l'Eco Shell Marathon, le Smartest Trainbrain.

Dès son origine, la Faculté Polytechnique a toujours maintenu d'étroites collaborations avec le secteur du transport ; ainsi, en 1874, le diplôme d'ingénieur des chemins de fer y fut organisé.

Comme on le notera au travers des différents articles proposés, cette affinité avec le ferroviaire s'est largement maintenue. En particulier, dans le cadre du plan Marshall et de son pôle de compétitivité « Logistics In Wallonia », la Faculté participe activement aux évolutions du ferroviaire par le biais de divers grands projets régionaux initiés par Alstom Transport dont le centre de compétences en ERTMS (European Railway Traffic Management System) est situé, par ailleurs, à Charleroi.

Dans ce cadre, on retrouve plusieurs services actifs au sein de l'institut INFORTECH (Sciences et Technologies de l'Information) de l'UMONS qui, d'une manière plus générale, sont largement impliqués dans des recherches liées au transport qu'il s'agisse de personnes ou de biens ainsi qu'à des domaines connexes comme la logistique par le biais de technologies numériques.

## LES TRANSPORTS ET LE NUMÉRIQUE

La révolution numérique impacte largement l'ensemble des activités humaines, le transport n'y échappe pas. Après avoir changé nos habitudes en termes de communication, de travail, de loi-

sirs, voire de santé, les technologies du numérique s'invitent dans le monde du transport depuis plusieurs années. Comme fruits de ces avancées, les ITS (Intelligent Transport Systems ou systèmes et services de transport intelligents) sont apparus et révolutionnent progressivement la manière de nous déplacer.

Deux éléments essentiels y sont associés : primo, le développement des communications sans fils, secundo, la récolte des données et les traitements associés pour les transformer en informations utiles. Avec ces solutions de mobilité intelligentes, il nous est désormais possible de mieux connaître notre environnement et d'interagir avec lui. Cette intelligence du numérique doit profiter à tous les bénéficiaires du transport qu'il s'agisse des conducteurs individuels, usagers des transports publics, exploitants de véhicules commerciaux, gestionnaires d'infrastructure et autorités publiques, se voulant rendre la mobilité plus efficace, plus sûre, plus économe et plus écologique.

« Depuis 2007, la moitié de la population mondiale vit en milieu urbain avec, comme moyennes pour les villes françaises, 27% des gaz à effets de serre et 17% de la consommation énergétique liés aux activités de transport. »

Les attentes de ces autorités publiques sont élevées comme on peut le noter dans les propos de la commissaire européenne Violeta BULC lors de l'ouverture du 22<sup>e</sup> congrès mondial des systèmes de transport intelligents (Bordeaux, octobre 2015) : « *En optimisant l'usage des infrastructures de transport, les systèmes de transport intelligents contribuent aux objectifs de décarbonisation de la Commission européenne. Ils fournissent de l'activité économique et des opportunités d'exportation aux entreprises européennes, ce qui crée de l'emploi et renforce la compétitivité de l'Union européenne.* »

Comme cité dans le livre vert « *Mobilité 3.0 : Ensemble pour une mobilité intelligente* » de l'ATEC-ITS (organisation française pour le développement des transports, de l'environnement et de la circulation), ce virage numérique impacte et impactera fortement nos modes de vie avec, des ITS qui doivent :

#### Vis-à-vis des acteurs :

- Rendre l'expérience du voyageur plus confortable
- Rendre les moyens de transport plus accessibles, plus fiables et plus attractifs

- Réduire les risques liés au transport
- Réduire l'impact sur la mobilité et l'environnement
- Créer de nouveaux modèles économiques et d'usage

#### Vis-à-vis de l'infrastructure :

- Optimiser la capacité des réseaux existants tant dans l'espace que dans le temps, les connectant les uns aux autres pour en favoriser les synergies.
- Eviter de construire de nouvelles infrastructures vu les contraintes actuelles tant économiques, environnementales, d'occupation de l'espace.

Vis-à-vis des acteurs, les supports numériques mobiles doivent apporter une facilité à planifier un déplacement, à le réorganiser en temps réel. L'utilisateur doit pouvoir poser un choix informé sur ses modes de déplacement potentiels parmi la multitude d'offres. A ce stade, une forte attente existe pour les plateformes intermodales combinant nos modes de transport traditionnels avec des approches de type « mobilité douce ».

Les supports numériques doivent également permettre la prévention, l'alerte ou la dissuasion en renforçant la sécurité autour des déplacements. Ces caractéristiques sont, par ailleurs, étendues aux systèmes embarqués à bord des véhicules pour l'aide à la conduite voire, dans un futur proche, à la conduite assistée.

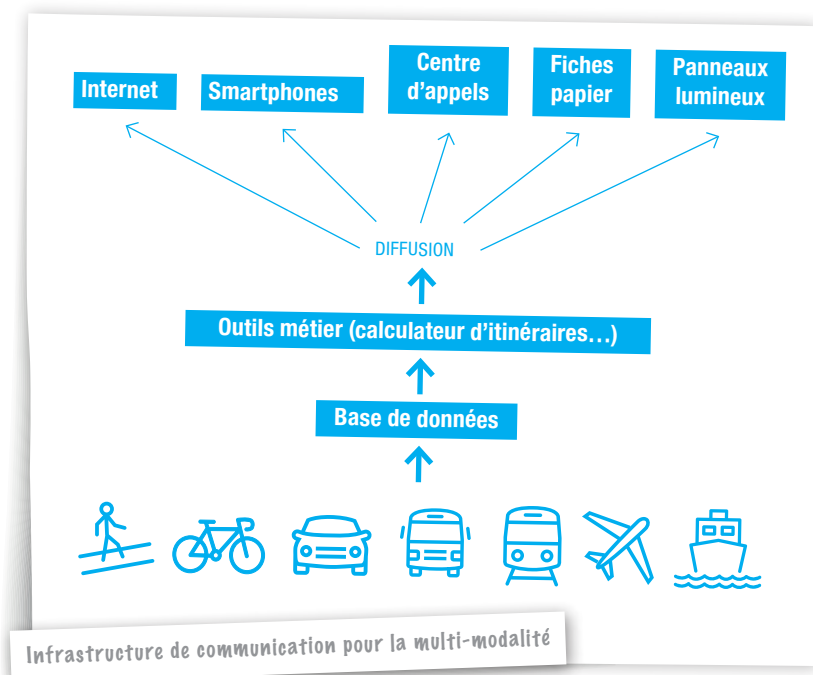
Le partage des ressources de transport doit également s'y intégrer conduisant à de nouveaux modèles d'usage comme l'économie collaborative avec les plateformes et services de covoiturage, de partage mais aussi de nouveaux modèles économiques comme les plateformes et services actuels d'alternatives aux taxis lesquels commencent à s'étendre aux livraisons de colis pouvant, à terme, modifier les métiers du transport des personnes et des biens.

De nombreux éléments technologiques sont essentiels pour contribuer à ces développements : outre les

réseaux de communications et les supports mobiles associés, on notera la géolocalisation, l'internet des objets, le « big data », les données ouvertes (en particulier, celles du secteur public), le cloud mais aussi d'autres aspects comme la cybersécurité.

Cette nouvelle gestion de nos modes de mobilité va impacter d'autres domaines économiques connexes comme la logistique qui, à terme, devra prendre en compte dans sa planification des contraintes provenant des transports. Ainsi, si, aujourd'hui, les WMS (Warehouse Management Systems) constituent l'élément clé pour la gestion d'un entrepôt de stockage, les TMS (Transport Management Systems) assurent, quant à elles, la gestion de toutes les opérations de transport, leur interconnexion ou l'intégration de l'un dans l'autre. Cette dernière étape s'avère cruciale dans un futur proche si on veut utiliser au mieux les ressources de chacun. En effet, la gestion d'un entrepôt ne se limite pas à gérer au mieux son espace de stockage dans le temps mais également ses quais de chargement/déchargement en fonction d'informations temps réel sur le flux des véhicules devant y accéder.

L'un des champs les plus emblématiques du transport et de la mobilité est la ville intelligente (smart city). On se limitera à rappeler ici que, depuis 2007, la moitié de la population mondiale vit en milieu urbain avec, comme moyennes pour les villes françaises, 27% des gaz à effets de serre et 17% de la consommation énergétique liés aux activités de transport. Les solutions technologiques y apparaissent plus comme des outils mis à disposition pour mieux répondre à des changements de paradigmes liés à l'organisationnel, le partenariat, la mutualisation, le partage. Vu la rapidité de l'urbanisation, les risques liés à la pollution et à la congestion du trafic, la notion de « ville intelligente » y trouve un large impact des activités liées au transport. Des problématiques comme le stationnement pour tout type de véhicule ou le dernier kilomètre en distribution urbaine s'avèrent cruciaux. Des projections pour 2020 montrent que le marché des



villes intelligentes s'élèvera à quelque 400 milliards de dollars dont un quart pour le seul secteur des transports. Disposant a priori d'une connectivité très forte (réseaux de télécommunications urbains) ainsi que de nombreuses sources de données (big data, open data), de nombreuses applications se développent et se développeront dans les prochaines années à destination de l'utilisateur (préparation et adaptation d'un déplacement en temps réel selon une approche multimodale, monétique associée), du gestionnaire d'infrastructures (anticipation de la demande, alignement des capacités, réadaptation modale), des planificateurs (stratégie de réadaptation de l'espace urbain) et des autorités ; le tout visant à y améliorer et renforcer la capacité, la sécurité, la sûreté et l'efficacité des déplacements.

Deux sujets apparaissent comme importants dans le futur du transport numérique.

### LE RAIL : UN ENJEU DE TAILLE

En 2013, le Parlement européen votait une nouvelle loi d'orientation liée aux transports et visant à développer les RTE (réseaux transeuropéens) planifiant les corridors prioritaires à l'horizon 2030. Ceux-ci visent à relier les principaux centres d'activités et les nœuds européens du transport, y compris aéroports et ports, par 9 corridors prioritaires qui structurent un « core network ». D'importants moyens y sont apportés pour le financement des infrastructures durant la période 2014-2020.

Dans le report modal envisagé, le ferroviaire doit y prendre une part importante. Toutefois, force est de constater que, dans le chef des clients, des interrogations importantes subsistent telles que leur prix, leur ponctualité, leur fiabilité. Tous ces éléments sont largement influencés par l'interopérabilité entre les différents réseaux des pays membres.

Parmi les points essentiels, on retrouve la signalisation ferroviaire. A ce niveau, l'ERTMS (European Rail Traffic Management System) est un point de passage obligé pour l'ensemble des grands corridors de fret européens. Des déploiements importants y sont donc envisagés.

L'ERTMS comporte deux composantes : l'ETCS (European Train Control System) assurant « l'auto-

risation de mouvement » et le GSM-R prenant en charge les aspects « communications ».

Des évolutions importantes sont encore prévues. Ainsi, défini à l'origine sur 3 niveaux de fonctionnalités, les déploiements actuels de l'ETCS correspondent aux niveaux 1 (en parallèle sur les systèmes nationaux, transmission ponctuelle des informations de signalisation via balise) et 2 (transmission continue des informations de signalisation via GSM-R) ; le niveau 3 (le train détermine son autorisation de mouvement en fonction de son environnement et des autres trains grâce à une communication continue avec le sol via GSM-R) autorisant une large réduction de l'infrastructure sol reste toujours en cours de développement, les premiers essais demeurant peu significatifs.

Quant à la composante « communications », le système GSM-R « vieillissant » (spécifications publiées en 2000) représente un coût de déploiement considéré comme prohibitif et les études portent actuellement sur comment utiliser les nouveaux et futurs réseaux de communication (4G, LTE, réseaux informatiques sans fils) comme substitution au GSM-R tout en assurant ses performances vis-à-vis des aspects sécuritaires.

En outre, ceci doit être envisagé avec le déploiement de nouveaux services qu'il est souhaitable d'offrir au voyageur : connexions Internet haut débit, Wi-Fi sécurisé, vidéo à la demande et autres services tels qu'informations personnalisées.

### LA VOITURE AU CENTRE DE L'ÉVOLUTION NUMÉRIQUE

Au cours de ces dernières années, des innovations importantes ont été présentées au niveau de la conduite des véhicules autoroutiers. Les concepts de véhicules connectés pouvant informer ou réagir avec leur environnement ainsi que les concepts de véhicules autonomes (le conducteur déléguant au

véhicule partiellement voire totalement les tâches de conduite) se sont ainsi largement diffusés.

En pratique, cette transition vers les véhicules autonomes s'effectuera progressivement, un consensus entre fabricants nécessitant, en effet, une évolution de la législation. Cette approche progressive est, en outre, rendue nécessaire pour être en mesure de garantir la robustesse et la sûreté de fonctionnement des systèmes qui seront proposés en série.

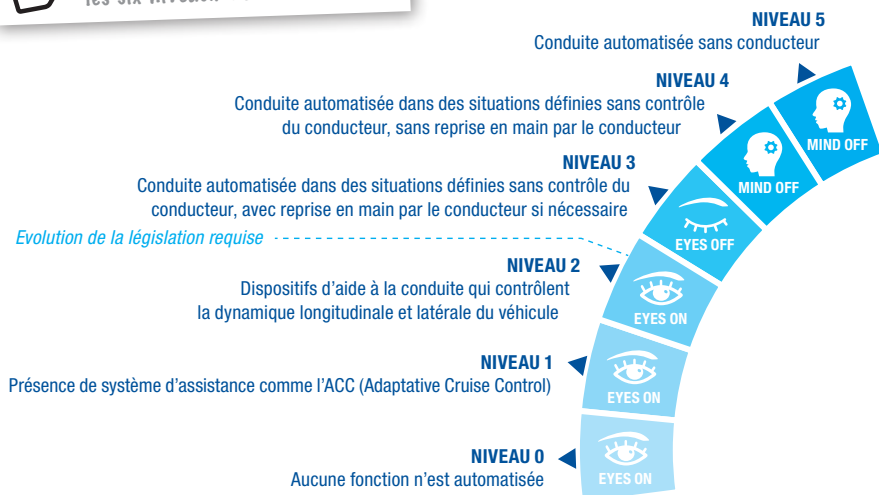
Au niveau technique, la conduite automatisée s'appuie sur une série de capteurs que sont les caméras numériques, lasers, scanners, radars, lidars, solutions GNSS (Global Navigation Satellite System), systèmes inertiels aidés de cartographies augmentées permettant d'identifier aussi bien les éléments statiques (glissière de sécurité, panneau de signalisation, lignes au sol, infrastructures, ...) que dynamiques (véhicule ou autre objet en mouvement) qui entourent le véhicule. Ces données analysées, traitées, fusionnées et complétées éventuellement par des communications entre véhicules ou avec l'environnement servent à prendre les décisions de conduite.

Les approches technologiques nécessaires à l'exploitation de ces capteurs se rencontrent partiellement dans d'autres domaines du transport. Ainsi, les solutions GNSS sont largement investiguées en aéronautique, dans les domaines fluvial et maritime ainsi que dans le ferroviaire. Les contraintes rencontrées varient selon les applications et la sûreté de fonctionnement envisagées.

D'autres cadres d'applications existent : à titre d'exemple, dans le cadre du projet SECURE\_WMS, financé dans le plan Marshall, Pôle de compétitivité Logistics in Wallonia, une gestion sécuritaire d'entrepôts logistiques aussi bien en interne aux bâtiments (« indoor ») que dans la périphérie de ceux-ci (avec prise en compte des quais de chargement/déchargement) est investiguée par le service de TCTS en collaboration avec MULTITEL. Dans ce contexte, ceux-ci ont développé et testé des solutions multicapteurs pour le positionnement et le mouvement de clarks dans leur environnement de travail.



Vers le véhicule autonome :  
les six niveaux d'évolution prévus





# GREENRAIL 2 :

## Optimisation multicritère des horaires de trains

☒ Prof. Daniel Tuytens, Dr Mohand Mezmas, Dr Jean-Marc Godart, Service de Mathématique et Recherche opérationnelle

L'amélioration de l'efficacité énergétique est un des enjeux majeurs des politiques de développement durable visant à concilier croissance économique et diminution des gaz à effet de serre. Le transport ferroviaire, en tant que grand consommateur d'énergie, est donc tout particulièrement visé par cette problématique. Cependant, cette amélioration ne doit pas s'opérer au détriment d'une utilisation efficace des infrastructures existantes et d'une amélioration de la qualité de service. L'optimisation des tables horaires, la gestion des conflits et la fluidification du trafic au sein d'un réseau ferroviaire offrent un potentiel d'autant plus important qu'aucun outil de gestion intégré n'existe sur le marché.

Dans un contexte de demande croissante de transport par rail en Europe, il est évident que les réseaux vont atteindre un niveau d'occupation difficilement gérable comme c'est le cas en Belgique. Cette saturation n'est pas sans causer des problèmes de ponctualité et de diminution de la qualité de service fournie aux usagers. Une optimisation multicritère et la mise en place d'outils d'aide à la décision doit donc permettre une efficacité énergétique, une gestion fluidifiée du trafic, une amélioration significative de la ponctualité, une optimisation de la qualité de service et, en complément, un accroissement de la capacité du réseau.

GreenRail 2 s'inscrit à la suite du projet GreenRail. Ce projet, relatif à un partenariat d'innovation technologique, est mis en œuvre par le pôle de compétitivité Logistics in Wallonia. GreenRail 2 met notamment l'accent sur une gestion intégrée du trafic ferroviaire. Il s'agit d'une collaboration entre le service MARO (MATHématiques et Recherche Opérationnelle) de l'UMONS, Alstom, Multitel, Infrabel, UCL-MONS et Logiplus. Le rôle de MARO dans le projet GreenRail 2 consiste en le développement des algorithmes d'optimisation multicritère. Ce développement est, bien entendu, précédé d'une étude globale du problème, d'un état de l'art et d'une modélisation de la structure de consommation énergétique. Les différentes caractéristiques du problème étant définies, les objectifs visés et les contraintes à respecter ciblées, MARO développe des algorithmes d'optimisation les mieux adaptés au problème posé.

Une table horaire peut être vue comme un ensemble de trains qui desservent un certain nombre de stations le long de leur parcours. Chaque train démarre son voyage à partir d'une première station à un certain « temps de départ », et le termine à une station terminus à un certain « temps d'arrivée ». Entre la première station et le terminus, un train



dessert un certain nombre de stations. À chaque station desservie, un train doit s'arrêter à un certain « temps d'arrêt » et redémarrer à un certain « temps de redémarrage ». Entre deux stations successives desservies, ce train doit passer à certaines positions de la voie à des instants précis appelés « temps de passage ».

L'objectif de GreenRail 2 n'est pas de générer une nouvelle table horaire mais d'améliorer la table horaire actuelle. L'amélioration de cette table se fait selon trois critères : la consommation d'énergie des trains, la robustesse de la table horaire et la capacité du réseau ferroviaire. La robustesse mesure la sensibilité d'une table horaire aux perturbations. La capacité du réseau ferroviaire mesure le nombre de sillons disponibles dans une table horaire.

Dans GreenRail 2, l'amélioration d'une table horaire est faite en respectant quatre contraintes : les écarts de sécurité, les correspondances entre les trains, les cadences, et les symétries. Les écarts de sécurité entre les trains en circulation s'expriment en termes de distance et de temps. Ces écarts doivent être définis pour chaque voie, bifurcation ou station. Par exemple, l'écart n'est pas le même pour une voie urbaine et une voie de campagne. Pour les contraintes de correspondance, certains trains sont censés démarrer un temps donné après l'arrivée d'un ou plusieurs autres trains. La cadence est la contrainte qui impose que le même train desserve une station toutes les heures. La symétrie est la contrainte qui impose que, si un train part à l'heure H plus X minutes dans un sens, il y a alors souvent un autre train qui part à l'heure H moins X minutes dans l'autre sens. Pour la cadence et la symétrie, l'opérateur ferroviaire suppose un certain degré de liberté pour le respect de ces contraintes.

En effet, celles-ci peuvent être respectées avec des différences de quelques minutes.

Les travaux effectués dans le projet ont permis d'identifier trois problèmes d'optimisation. Le premier problème concerne l'amélioration des temps de passage. Dans ce problème, les autres temps de départ, d'arrivée, d'arrêt et de redémarrage restent donc inchangés. Le deuxième problème porte sur l'amélioration des temps de passage, d'arrêt et de redémarrage dans les stations. Pour ce problème, les autres temps de départ et d'arrivée, au début et à la fin du trajet, restent inchangés ou peuvent changer avec un certain degré de liberté. Le troisième problème suppose qu'aucun temps ne change ; il s'agit alors d'insérer le parcours d'un nouveau train dans la table horaire actuelle pour un parcours exceptionnel. Le nouveau train peut être, par exemple, un train de fret.

En plus de l'optimisation de la table horaire, le projet se focalise également sur l'optimisation de la gestion des perturbations. Cette gestion peut être vue comme un processus en trois étapes. La première étape est la détection de la perturbation. Dans notre travail, nous supposons qu'un autre système s'occupe de la détection du conflit. Ensuite, une décision est prise pour gérer ce conflit. À titre d'exemple de décision, on peut citer : la suppression d'un train, la déviation d'un train, le ralentissement, l'arrêt d'un train, ... La prise de décision est un processus compliqué. Par conséquent, il est difficile de l'automatiser. Enfin, le rôle de la troisième étape est la mise en œuvre de la décision prise. La solution logicielle, développée dans GreenRail 2, permet donc d'implémenter cette décision de telle sorte à optimiser un certain nombre de critères tout en respectant les contraintes d'une table horaire.

# INOGRAMS : un portefeuille de projets en vue

☒ Prof. Véronique Moeyaert, Service d'Electromagnétisme et Télécommunications

**Pour faire face à la concurrence de l'avion et de la route, l'interopérabilité entre opérateurs et infrastructure sur les axes internationaux est indispensable. Cinq services de la FPMs participent à cet effort de grande ampleur dans le cadre du projet INOGRAMS mis en œuvre par le pôle de compétitivité Logistics in Wallonia de la Région wallonne.**



Le projet INOGRAMS (INNOvations for a Global Rail Management System) est financé par la Région wallonne suite au 9<sup>e</sup> appel du pôle de compétitivité Logistics in Wallonia dans le cadre du plan Marshall 2. vert. C'est un projet de recherche industrielle de 3 ans (mars 2014-mars 2017) qui vise à explorer de nouveaux axes technologiques pour répondre aux besoins du marché non-européen de l'ERTMS (European Rail Traffic Management System). En effet, si ce standard initialement développé pour l'Europe, veut perdurer et s'imposer comme le seul système standardisé international garantissant l'interopérabilité entre constructeurs, il doit s'adapter aux exigences de ces nouveaux marchés en y apportant de nouvelles fonctionnalités via l'utilisation de nouvelles technologies et une réduction significative du coût des solutions développées.

INOGRAMS s'inscrit dans cette logique et fédère autour d'Alstom Transport, porteur du projet, treize partenaires : sept entreprises (ACIC, CET, INFRABEL, M3SYSTEMS, Q3S, TRANSURB, TRASYS), deux centres de recherche (CETIC, MULTITEL) et quatre universités (FUNDP, ULg, UCL, UMONS). Les activités de recherche et développement menées dans INOGRAMS s'articulent autour de 7 sous-projets (work-packages ou WPs) regroupés en 3 axes thématiques : l'ingénierie et le traitement de l'information, le système de contrôle commande infrastructure et le système de contrôle commande embarqué. Plus particulièrement, à l'UMONS, cinq laboratoires de la Faculté Polytechnique apportent leurs

compétences à ce projet ambitieux dans quatre des sept sous-projets.

Le service d'Informatique met ses capacités d'optimisation et de parallélisation d'algorithmes sous contraintes au service du sous-projet WP1 ('Optimisation de l'ingénierie liée à l'application d'un enclenchement') dont l'objectif est de développer, sur base d'un plan de voie et de spécifications de haut niveau, un algorithme original permettant de lier les sorties aux entrées de manière à respecter les contraintes de sécurité. Le service de Génie Electrique propose ses compétences en simulation de moyens de production décentralisée et en modélisation statistique du productible au WP3 (Alimentation autonome le long de la voie – Energy harvesting) consistant à tirer parti de ressources externes d'énergie présentes dans l'environnement (solaire, vibratoire, éolienne, ...) en petites quantités, énergie généralement stockée en raison de l'intermittence de la source primaire, pour servir au fonctionnement autonome d'appareils le long des voies. Le service d'Electromagnétisme et de Télécommunications et le service Mécanique Rationnelle, Dynamique et Vibrations offrent respectivement leur savoir-faire en matière de capteurs à fibres optiques et de modélisation du comportement en contrainte et vibratoire des voies de chemin de fer au WP5 ('Surveillance passive des voies ferroviaires par capteurs multipoints à fibres optiques') afin de développer un système de contrôle du trafic uniquement basé sur une concaténation de capteurs optiques utilisés comme capteurs de vibration. Le service de Mathématique et de Recherche Opérationnelle propose sa maîtrise de l'optimisation combinatoire multi-objectif au sous-projet WP7 ('Fonctionnalité de conduite automatique – ATO') dont le but est de développer un système de conduite automatique, avec auto-apprentissage, généralisé à tout type de traction.

Les détails de chaque recherche particulière se trouvent dans les quatre articles connexes à celui-ci. Bonne lecture !

## L'enclenchement ou comment router les convois ferroviaires avec une efficacité et sécurité maximales

☒ Michel Bagein, Prof. Pierre Manneback, Service d'Informatique

La régulation du trafic ferroviaire, assurée par les signaux le long des voies, repose sur la détection réelle de trains sur les portions de voies. Etant donné les masses des trains et leurs vitesses, les conséquences des accidents sont extrêmement lourdes. Pour maîtriser les risques, les systèmes d'enclenchement (*interlocking*), automatismes de gestion des aiguillages et des signaux, doivent être conçus avec une fiabilité maximale : on parle ici de SIL 4 (probabilité de collision par heure inférieure à  $10^{-8}$ , soit moins d'une collision tous les dix ans). Des méthodes de calcul formel permettent de prouver a priori la fiabilité d'un code d'enclenchement. Néanmoins, la complexité du réseau ferré est souvent trop élevée et l'établissement de la preuve formelle complète demeure inextricable.

L'objectif du service d'Informatique dans le cadre du projet INOGRAMS est de proposer de nouveaux processus systématiques pour produire des systèmes d'enclenchements sûrs, en tenant compte non seulement des règles d'anti-collision, mais aussi des spécificités et usages nationaux et de la typologie des réseaux ferroviaires. Pour ce faire, les méthodes formelles sont épaulées par des simulateurs à événements discrets.

Pour approcher au mieux les exigences de fiabilité, il est nécessaire de maximiser la couverture des tests en réalisant de très nombreuses simulations. La parallélisation du simulateur sur des centaines ou milliers de cœurs de calcul est essentielle pour démultiplier ses performances en termes de vitesse de calcul et donc de nombre de simulations, ce qui permet d'élever le taux de fiabilité du design du système d'enclenchement dans un temps raisonnable, ou d'en détecter plus rapidement ses défaillances.

L'UMONS, l'UCL et le CETIC, en collaboration avec ALSTOM, conçoivent et mettent au point ce système. Le CETIC est en charge du design de la partie formelle, l'UCL est en charge du design du simulateur et l'UMONS est en charge de la parallélisation de ce simulateur. Des premiers résultats montrent l'intérêt pratique de cette approche hybride. Le cas concret de la gare et du trafic de Braine-L'Alleud a ainsi été simulé et analysé. En attendant d'autres gares, et, qui sait, la jonction Nord-Midi ?





# d'un système global de gestion du rail

## L'Energy Harvesting et le rail: un défi technologique!

☒ Thierry Vanherck, Prof. Jacques Lobry, Service de Génie électrique

L'*Energy harvesting* (récolte d'énergie) consiste à exploiter des sources d'énergie primaire présentes en petites quantités dans l'environnement afin de servir au fonctionnement autonome d'appareils de petite taille. L'intégration de ce principe dans le projet INOGRAMS a pour but l'alimentation des équipements de contrôle-commande distribués le long des voies, l'objectif principal étant de limiter drastiquement le déploiement de câbles de puissance.

Le défi scientifique et technique est de mettre au point de tels systèmes, tout en maintenant une disponibilité totale des équipements. Les sources d'énergie envisageables sont l'éolien, le photovoltaïque, la déformation des rails au passage du train, ... Certaines sont déterminées par le passage des convois, d'autres présentent un aspect stochastique.

La récolte d'énergie à partir de la déformation des rails ne permet de produire que de très faibles puissances uniquement disponibles pendant de brefs instants. Par contre, l'utilisation de micro-éoliennes ou de panneaux photovoltaïques permet de récolter la puissance moyenne nécessaire, par un dimensionnement correct de la puissance installée de chacune des sources. L'inconvénient de ces sources est leur intermittence. Il est alors nécessaire de stocker l'énergie sous une forme ou une autre.

Le dimensionnement du trio éolien-photovoltaïque-stockage est basé sur l'évaluation de la production et du stockage d'énergie au cours du temps dans un scénario de consommation sous la contrainte de charge sans interruption. Combiner l'éolien et le photovoltaïque donne le plus souvent la solution à coût d'installation minimal. Les cas où la solution avec source unique est la plus avantageuse sont soit quand un grand déséquilibre existe entre la disponibilité de vent et de soleil, soit lorsque une source est beaucoup plus onéreuse que l'autre.

## Des capteurs à fibres optiques pour détecter le passage des trains

☒ Prof. Georges Kouroussis, Service de Mécanique rationnelle, Dynamique et Vibrations, Dr Christophe Caucheteur, Service d'Electromagnétisme et Télécommunications

L'optimisation de la surveillance ferroviaire (*railway monitoring*) passe par la conception de nouveaux capteurs offrant des informations pertinentes quant à la position, la vitesse, l'accélération et la charge d'un train. Actuellement, les systèmes de surveillance traditionnels intègrent ce qu'on appelle des compteurs d'essieux ou des circuits de voie, mais se limitant à fournir une partie de l'information voulue.

L'idée de ce WP5 est d'étudier la possibilité d'utiliser des capteurs optiques passifs FBG (Fiber Bragg Gratings), en redondance ou en remplacement des systèmes traditionnels dont les inconvénients techniques majeurs sont la longueur de rail couverte et la consommation électrique. Un capteur FBG permet de mesurer une déformation, compte tenu que celle-ci modifie ses paramètres physiques, induisant une modification caractéristique de la réponse spectrale. Les avantages de tels capteurs sont indéniables : immunité face aux interférences électromagnétiques, bonne tenue mécanique, tolérance aux hautes températures et à la corrosion chimique, faible encombrement, mesures (quasi-)distribuées, ...

Cette mesure dynamique de déformation permet ainsi de retirer plusieurs informations utiles quant à l'état de la voie soumise à une charge mobile dynamique. Grâce à une étude par la méthode aux éléments finis, il a été possible de reproduire les phénomènes réels lors du passage d'un train et d'étudier numériquement le comportement d'un rail soumis à diverses sollicitations dynamiques, pour en déduire la meilleure position des capteurs FBG à coller sur la structure. Des mesures sur site sont actuellement en cours, afin de vérifier l'applicabilité de ces observations théoriques et de valider l'opérabilité et la robustesse des capteurs FBG pour une application à grande échelle.

Le succès de ce projet se base sur la multidisciplinarité du concept *new railway monitoring solutions*, largement couverte et maîtrisée par les deux services de l'UMONS.

## Identification des paramètres du train

☒ Prof. Daniel Tuytens, Dr Mohand Mezma, Dr Ekaterina Alekseeva, Service de Mathématique et Recherche opérationnelle

Comparé aux autres moyens de transport, le transport ferroviaire reste le moins énergivore. Cependant, le coût de l'énergie utilisée pour la traction reste élevé. En effet, pour les trains de voyageurs, il est estimé à environ 100 millions d'euros en 2006 pour la Belgique, et à environ 850 millions d'euros en 2008 pour la France. Des études montrent que, sur un même trajet et dans les mêmes conditions de conduite, un train peut consommer jusqu'à 50% d'énergie de plus qu'un autre train. Par conséquent, le déploiement d'un système de pilotage automatique de train (ATO), tel que celui développé dans le projet GreenRail, aura un impact significatif sur la consommation de l'énergie. Des tests menés sur simulateurs démontrent que ce système permet d'économiser de 15% à 25% d'énergie par rapport aux conducteurs ferroviaires. Ces résultats prometteurs permettent d'envisager la commercialisation de ce système dans un avenir proche.

Cependant, le système développé ne peut être déployé que sur des trains dont tous les paramètres sont parfaitement connus. Ces paramètres (plus d'une centaine) sont importants pour permettre au système de pilotage de simuler parfaitement les différentes stratégies de conduite. Par conséquent, l'objectif dans le projet INOGRAMS est de permettre à notre système de pilotage de déduire ces paramètres en observant uniquement le comportement du train. Le train est donc vu comme un système qui reçoit en entrée des commandes telles que la traction, le freinage ou la roue libre, c'est-à-dire, sans traction ni freinage. Ces commandes changent l'état du train, qui est défini par sa position, sa vitesse, et son accélération. La connaissance de ces commandes et des changements de l'état du train permettent de calculer les valeurs de ces paramètres. Ce calcul est un problème relativement difficile en raison notamment de l'incertitude sur les valeurs des états successifs du train, de l'impact de la topologie de la voie et de certains phénomènes externes. Dans nos travaux, le calcul de ces paramètres est vu comme un problème d'optimisation dont le but est de chercher parmi toutes les valeurs possibles des paramètres celles qui permettent une simulation qui soit la plus proche possible du comportement réel du train.

# CONVERTISSEURS AUXILIAIRES POUR APPLICATIONS FERROVIAIRES : BILAN D'UNE COLLABORATION DE LONGUE DATE



☒ Prof. Olivier Deblecker, Service de Génie électrique

Le contexte ferroviaire européen se distingue par la diversité de ses réseaux d'électrification. Ainsi, selon le pays considéré, voire au sein d'un même pays, la tension de la caténaire présente des caractéristiques variables. Si la plupart des lignes de l'infrastructure ferroviaire belge sont électrifiées en 3 kV continu, il n'en est pas de même chez nos voisins allemands où la tension utilisée est alternative monophasée (15 kV), de fréquence 16 Hz 2/3 ! Les chaînes de puissance installées dans les trains assurant des liaisons internationales doivent donc être reconfigurables pour éviter le changement d'engin de traction au passage de frontière. C'est ainsi qu'aujourd'hui, des locomotives bi-, tri- et même quadri-tension circulent sur le réseau ferroviaire européen.

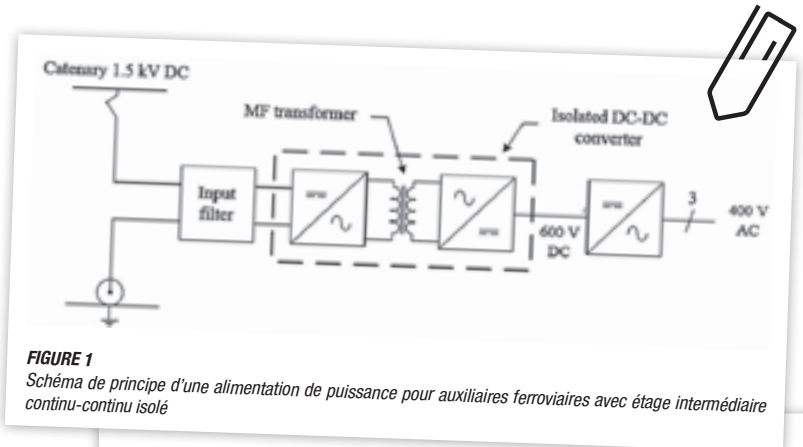
Outre les difficultés de conception liées aux différentes tensions de caténaire, les équipements de puissance embarqués à bord du train doivent aussi être conçus pour fonctionner dans les limites admissibles de variation de tension de la caténaire (par exemple, entre 2 kV et 3,6 kV permanent pour le réseau belge). De plus, d'autres aspects doivent être pris en compte comme l'éventualité de surtensions (consécutives à des impacts de foudre sur ligne), le respect des normes de compatibilité électromagnétique du matériel roulant vis-à-vis de l'environnement extérieur, ...

Parmi les équipements embarqués, des convertisseurs électroniques de puissance auxiliaires permettent d'alimenter en basse tension les systèmes tels que l'éclairage, la climatisation, les systèmes d'ouverture et fermeture de portes, les chargeurs de batterie, ... Bien entendu, ils ne doivent pas être confondus avec les convertisseurs de traction qui sont eux associés à la chaîne de motorisation du train.

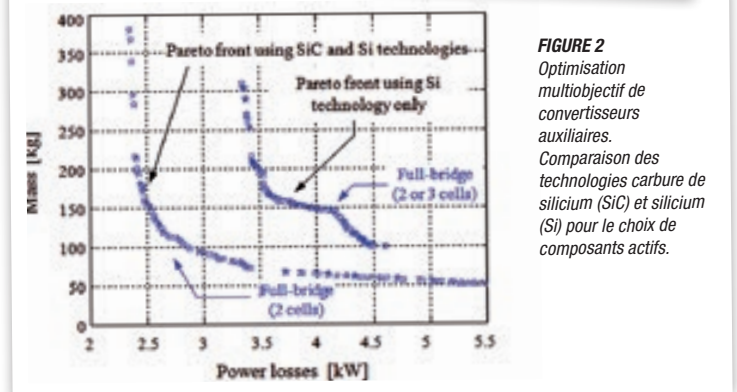
C'est dans ce contexte que le service de Génie électrique de la Faculté Polytechnique mène depuis une quinzaine d'années différentes recherches appliquées au domaine des convertisseurs auxiliaires pour applications ferroviaires. Ces recherches résultent d'une étroite collaboration avec la division « matériel roulant » d'Alstom Transport Charleroi (cette société est reconnue comme centre d'excellence d'Alstom – au niveau mondial – pour la conception et la construction des convertisseurs auxiliaires).

Des travaux de recherche sont consacrés aux techniques de commutation douce qui permettent de diminuer les sollicitations sur les interrupteurs à semi-conducteur de puissance utilisés dans ces convertisseurs. La fréquence de commutation peut être augmentée sans pénaliser le rendement, ce qui permet de réduire avantageusement le poids des composants magnétiques, et donc la masse embarquée. Parmi d'autres sujets traités, citons l'étude d'impact de surtensions de caténaire sur le fonctionnement d'onduleurs auxiliaires, la compensation active de perturbation à l'entrée de chaîne de puissance auxiliaire ou encore la recherche de solutions innovantes pour chargeurs de batterie réversibles.

La thèse de doctorat de C. Versèle, défendue en 2012, est un autre témoin de la collaboration du service de Génie électrique avec Alstom Transport Charleroi alors impliqué dans le projet ATAC-Concept. Dans son travail, il s'est notamment intéressé à l'optimisation multiobjectif de convertisseurs continu-continu isolés – à transformateur moyenne fréquence (quelques kHz à quelques dizaines de kHz) – utilisés pour l'alimentation de systèmes auxiliaires embarqués dans le domaine ferroviaire. Les résultats de cette étude ont permis de mettre en évidence une diminution importante des pertes, masse et volume lors du



**FIGURE 1**  
Schéma de principe d'une alimentation de puissance pour auxiliaires ferroviaires avec étage intermédiaire continu-continu isolé



**FIGURE 2**  
Optimisation multiobjectif de convertisseurs auxiliaires. Comparaison des technologies carbure de silicium (SiC) et silicium (Si) pour le choix de composants actifs.

“ Outre les difficultés de conception liées aux différentes tensions de caténaire, les équipements de puissance embarqués à bord du train doivent aussi être conçus pour fonctionner dans les limites admissibles de variation de tension de la caténaire. ”

dimensionnement de convertisseurs auxiliaires, diminution rendue possible par l'utilisation de nouveaux composants actifs fondés sur une technologie émergente au carbure de silicium (plutôt que relevant de la technologie classique au silicium).

A ce jour, les recherches effectuées dans le service de Génie électrique sur la thématique des convertisseurs auxiliaires dans le domaine ferroviaire ont donné lieu à 12 travaux de fin d'études, 2 études industrielles, 14 publications dans les actes de conférences internationales, 10 articles de journaux référencés et 1 chapitre d'ouvrage.

Au côté d'autres partenaires industriels et universitaires, le service de Génie électrique poursuit aujourd'hui ses activités dans la thématique précitée au sein du Groupe de Recherche en Electronique de Puissance pour Environnement Sévère (GREPES) avec le support du pôle MecaTech.



# Les techniques de transmission par courants porteurs en ligne : du réseau électrique au réseau ferroviaire



☒ Prof. Véronique Moeyaert, Christopher Wawrzyniak, Prof. Sébastien Bette, Service d'Electromagnétisme et Télécommunications

**Les techniques de transmission par courants porteurs en ligne sont connues dans le domaine des réseaux électriques pour les transmissions domestiques à haut débit ou pour la récolte des données des compteurs électriques intelligents dans le cadre du *Smart Grid*. Le service d'Electromagnétisme et de Télécommunications de la Faculté Polytechnique prend part, au côté d'acteurs impliqués dans les activités du Pôle de compétitivité Logistics in Wallonia, au développement d'une application novatrice de ces technologies : la communication avec des objets de voie intelligents afin de réaliser les fonctions d'enclenchement ferroviaire.**

La technique de transmission par courants porteurs en ligne (PLC – *Power Line Communication*), c'est-à-dire la superposition d'un signal de données au courant alternatif à 50Hz du réseau électrique, n'est pas récente dans son principe puisqu'un brevet (*Power lines signalling electricity meters* – British patent 24833) en définit déjà les concepts en 1897. Son véritable essor est survenu après la seconde guerre mondiale en étant utilisée dans des applications liées aux réseaux de distribution électriques, unidirectionnelles (éclairage public, télécommande de relais) ou bidirectionnelles (télé-relèves ou domotique). Plus récemment, l'avènement des technologies d'accès à plus haut débit a favorisé le développement de PLC afin de proposer des services intégrant des mécanismes robustes et fiables de transmission de données sur des canaux de transmission réputés difficiles car non blindés et non adaptés électriquement.

A l'heure actuelle, les technologies PLC présentent deux classifications. La première les différencie selon le type de réseaux électriques sur lesquels les équipements sont installés (à l'intérieur des habitations – *indoor*, ou sur les réseaux de distribution électrique haute, moyenne ou basse tension HT/MT/BT – *outdoor*), tandis que la seconde se base sur la capacité en débit de données du réseau PLC (bas débit – *narrowband NB-PLC* ou haut débit – *broadband BB-PLC*).

Depuis une petite dizaine d'années, les technologies PLC sont devenues des alternatives crédibles pour le déploiement de réseaux de grande ampleur. Le service d'Electromagnétisme et de Télécommunications s'est donc engagé dans des recherches se focalisant notamment sur le relevé de compteurs électriques intelligents selon le standard G3-PLC, dans le cadre de ses activités dans la Chaire ORES (<http://hosting.umons.ac.be/aspnet/chaireores/index.aspx>).

Néanmoins, les transmissions par courants porteurs en ligne ne sont pas restreintes au domaine des transmissions sur les réseaux de distribution électrique. On les voit également apparaître pour l'automatisation de l'éclairage public ou pour des applications niches maritimes et avioniques. Dans le cadre de cette diversité d'applications, le Service d'Electromagnétisme et de Télécommunications participe depuis 2011 aux côtés de la société Alstom Transport, au développement d'une application novatrice des technologies PLC : la communication avec des objets de voie intelligents pour réaliser les fonctions d'enclenchement ferroviaire.

En effet, à l'heure actuelle, la commande et le contrôle des objets de voie (feux de signalisation, aiguillage, circuit de voie, ...) d'un réseau ferroviaire nécessitent des câbles de puissance électrique à plusieurs paires. Ils relient ces objets à des contrôleurs électroniques situés dans des loges réparties le long des voies. A titre d'exemple, dans le cas

d'un feu de signalisation typique belge, jusqu'à 8 paires sont utilisées pour le pilotage de toutes ses lampes. Il est, dès lors, évident que la mise en œuvre du câblage à l'échelle d'un réseau ferroviaire est complexe et que la masse de cuivre totale est importante. Les câbles en cuivre sont régulièrement dérobés sur les voies et la tendance au développement d'objets intelligents et connectés s'accroît. L'utilisation des techniques PLC permettrait donc de développer une nouvelle génération de couples de contrôleurs/objets de voie apportant de nouvelles fonctionnalités tout en réduisant fortement la quantité de cuivre nécessaire aux connexions.

La démonstration de ce concept innovant a été réalisée par le développement d'une maquette en laboratoire financée par la Région Wallonne (Plan Marshall – pôle de compétitivité Logistics in Wallonia) dans le cadre d'un workpackage du projet LOCOTRAC (*LOW COst TRain Automatic Control*) rassemblant les compétences des sociétés Alpha Technologies, ALSTOM Transport, SEE-Telecom et de l'UMONS. Ces développements prometteurs nécessitent maintenant de se confronter à la réalité du terrain, connu pour induire de fortes perturbations. A ces fins, un nouveau projet de financement dénommé DIGITRANS (*DIGital rail TRANSport*) a été déposé à la Région Wallonne en décembre 2015 avec un consortium élargi. Les résultats de la procédure d'expertise devraient être connus au printemps 2016.





# VIBRATIONS INDUITES PAR LES LIGNES FERROVIAIRES : COMPRENDRE LES MÉCANISMES ET PROPOSER DES SOLUTIONS PRÉVENTIVES



☒ Prof. Georges Kouroussis, Service de Mécanique rationnelle, Dynamique et Vibrations

**Le train représente de nos jours un transfert modal intéressant face au trafic routier et aérien. Cependant, il soulève chez les riverains des réticences grandissantes face au développement de nouvelles lignes ferroviaires ou face à une croissance du flux ferroviaire à proximité de leur habitation. Le Service de Mécanique rationnelle, Dynamique et Vibrations étudie ce problème depuis plusieurs années en développant des outils d'aide à la conception de véhicules ou de prédiction des nuisances vibratoires.**

## UNE PROBLÉMATIQUE GRANDISSANTE

Vibrations et bruit de fond associés sont principalement les deux effets indésirables qui engendrent de réelles préoccupations environnementales. Elles peuvent conduire à des problèmes d'inconfort et/ou immobiliers (risque économique de perte de valeur). Ceci est particulièrement vrai pour des bâtiments dits sensibles (par exemple, les studios d'enregistrement) et les zones résidentielles densément habitées. Les chemins de fer fédéraux suisses ont récemment estimé que 1200 millions d'euros ont été nécessaires pour résoudre les problèmes de vibrations au travers du réseau suisse. Cependant, une croissance mondiale en infrastructure ferroviaire est appelée à se poursuivre dans le domaine des lignes à grande vitesse, l'Europe voulant ainsi se doter d'un réseau rapide, large et dense permettant de relier des villes de différents pays européens. Néanmoins, les impacts environnementaux négatifs de ces lignes dus aux vibrations et l'augmentation de la sensibilisation du public vont de pair, couplés à des normes nationales et internationales, régissant les limites admissibles de plus en plus strictes. Par conséquent, il est devenu impératif de développer des efforts importants sur la prévision des vibrations, et sur la compréhension de la perception humaine face aux vibrations.

Certes, les mesures sur sites peuvent apporter leur lot d'informations mais elles restent limitées et contraignantes à plusieurs points de vue :

- Des contraintes temporelles et budgétaires limitent généralement l'analyse in situ. En outre, la complexité des vibrations se propageant dans le sol est due à un grand nombre de paramètres, qui influencent la génération et la propagation des ondes de sol. L'analyse simultanée de tous ces paramètres reste difficile.

- L'analyse est souvent limitée à un cas simple où un seul phénomène peut être souligné. Cependant, il est très difficile de trouver LE site où les objectifs de la recherche correspondent à la réalité (par exemple, les phénomènes dits critiques – voir plus loin).
- Dans certains cas, le site d'analyse n'existe pas encore (nouveau site). Les études préliminaires et études d'impact sont donc limitées à d'autres sites de composition plus ou moins similaire.

## DE L'EFFET D'UNE MASSE SE DÉPLAÇANT LE LONG D'UNE VOIE ...

Le cas des trains à grande vitesse fut le premier sujet d'étude dans la communauté scientifique, poussé par une particularité observée sur certains sites, au nord de l'Europe. Comme dans le cas des phénomènes aéroacoustiques se produisant lorsqu'un objet se déplace dans l'air à une vitesse supérieure à celle du son (vitesse supersonique), un train se déplaçant plus vite que les ondes vibratoires qu'il génère dans le sol induit des niveaux vibratoires excessifs qui sont encore mal connus à l'heure actuelle. D'un point de vue pratique, ce phénomène critique pousse les chercheurs des différents pays à se focaliser sur ce problème, étudiant l'effet d'une masse mobile, en l'occurrence le train, considérée comme faisant un tout indéformable circulant à vitesse élevée. Dans ce contexte, le Royaume-Uni fait face à cette recherche puisqu'il a entrepris la construction de nouvelles lignes à grande vitesse pour pallier son retard par rapport aux autres pays européens. Afin de se préserver des éventuels problèmes vibratoires, diverses recherches ont été entreprises aux quatre coins du pays. On peut citer la collaboration entre la Faculté Polytechnique de l'UMONS, Heriot-Watt et l'Université

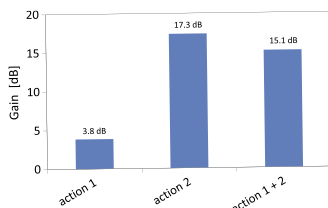
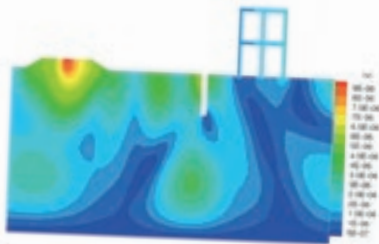
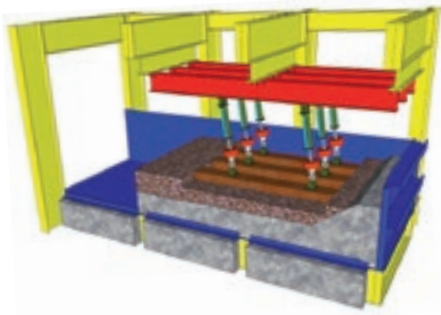
d'Édimbourg, analysant expérimentalement l'effet des Thalys, Eurostar et TGV sur des lignes belges (LGV1 au niveau de Leuze-en-Hainaut) tout en développant des modèles prédictifs précis et accessibles applicables au Royaume-Uni.

## ... À L'IMPACT DES DÉFAUTS DE VOIE ET DE ROUE

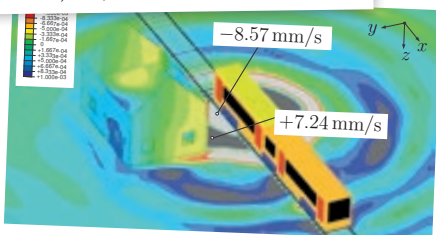
Les trains à grande vitesse ne sont pas les seuls concernés ; ils restent même anecdotiques face aux nombreuses nuisances intervenant dans les villes. Quelle que soit la forme sous laquelle il se présente (métro, tram, InterCity, train fret, corail, ...), le matériel roulant ne peut plus être considéré comme un ensemble totalement rigide. Les impacts environnementaux négatifs de lignes de chemin de fer peuvent être dus à une multitude de raisons, telles que la construction d'une nouvelle ligne, la mise à niveau d'une ligne existante, les changements de matériel roulant ou de nouveaux commutateurs et appareillages de voie (aiguillages ou branchement) ou des défauts survenant à la roue (méplat naissant de roue) ou sur la surface du rail (joint de rail abimé). La vitesse du véhicule ainsi que son chargement sont également des facteurs importants. Comprendre l'effet de ces types de « défauts » est un challenge extrêmement important car le véhicule (de par sa disposition massique et ses différentes suspensions) interagit fortement avec la voie. Des solutions antivibratoires, telles que des tapis sous voie ou des dalles flottantes, ne peuvent être conçues efficacement que si des analyses poussées permettant de caractériser le véhicule et la voie sont entreprises. Les dernières analyses pour le métro d'Athènes, en collaboration avec l'Université de Thessalie (Grèce), ont conduit à une diminution notable de l'effet vibratoire néfaste dû au passage de véhicules aux connections de voies.

## UN PROTOTYPE VIRTUEL PERMETTANT UNE AIDE À LA CONCEPTION

Un outil numérique prédictif est nécessaire ! Depuis plus de 10 ans, l'Institut Risques de l'UMONS s'est doté d'un tel outil en développant sa propre méthodologie de calcul originale. Pratiquement, il s'agit d'interfacer les méthodologies classiques de simulation de véhicules, qui s'appuient sur la théorie des



Exemples de résultats obtenus en analysant différentes solutions antivibratoires (issu de 'Kouroussis, G.; Pauwels, N.; Brux, P.; Conti, C. & Verlinden, O. A numerical analysis of the influence of tram characteristics and rail profile on railway traffic ground-borne noise and vibration in the Brussels Region, Science of the Total Environment, 2014, 482-483, 452-460')



Exemples de résultats produits lorsqu'un tram roule sur un défaut de voie proche d'une habitation (issu de 'Kouroussis, G.; Van Parys, L.; Conti, C. & Verlinden, O. Using three-dimensional finite element analysis in time domain to model railway-induced ground vibrations, Advances in Engineering Software, 2014, 70, 63-76')

systèmes multicorps, et les techniques de modélisation des voies et du sol. La modélisation de ce dernier est ardue et les méthodes analytiques ou semi-analytiques ont montré d'emblée leurs limitations. L'emploi de méthodes numériques s'est donc avéré être une nécessité. Tous les résultats produits vont dans le même sens : ils montrent l'influence importante de l'interaction véhicule/voie et la nécessité d'un modèle complet dans la problématique de la gestion des vibrations dues au trafic ferroviaire dès le stade de conception du véhicule.

In the United Kingdom, there is growing interest in high speed railways, especially with the construction of the High Speed 2 line. At Heriot-Watt University in Edinburgh, the Railway Research team is actively involved in various activities dealing with issues for modern rail. This includes the needs to cope with more traffic, heavier loads and higher speeds. When a train passes over a railway track, the interaction between wheel and the rail causes vibration. This vibration propagates within the track, and also to structures further away. When it propagates further, it is known as ground-borne vibration, and causes real estate losses and annoyance to local residents. It is a growing problem due to increases in railway line construction, urbanisation and more aggressive train timetabling. It is important to predict ground vibration levels before a new track is constructed; to do so, researchers from Mons, Heriot Watt and Edinburgh Universities undertook field measurements on high speed rail lines across Europe. They then combined these with a larger group of Universities to develop one of the largest ground vibration databases in the world. They combined these results with new computer algorithms to develop a method that can predict ground vibration levels very quickly and accurately, for a wide range of scenarios. This new scoping assessment tool is now able to predict vibration levels for entire lines very quickly. This research offers new insights into the mitigation of negative environmental side

effect from high speed rail. It can be applied directly at the planning stage of new high-speed lines, especially in UK. In addition to various numerical tools developed at Heriot-Watt University in Edinburgh, the Railway Research team uses state of the art experimental facilities which enables accelerated testing of existing and new railway products. Both research teams from Heriot-Watt University and the University of Mons are working together to advance research in this interesting field.

Dr. David Connolly is an assistant professor at Heriot Watt University (Edinburgh), where he focuses on the development of new, high impact technology with commercial potential. His research fields span Geotechnical Engineering, Geomechanics and Railway Engineering, for which he has won numerous awards. Similarly, he manages an international team of lecturers and teaching staff in "Geotechnical Engineering" and "Engineering Surveying" degree modules. He coordinates the delivery of these courses at campuses in Dubai and Malaysia, while physically delivering each course in the UK.

Prof. Omar Laghrouche is a professor at Heriot Watt University (Edinburgh), where he focuses on wave propagation modelling. He has made new advancements in finite element theory, and developed new algorithms which offer very significant performance benefits.



The Laboratory of Transportation Environmental Acoustics (LTEA), directed by the Prof. Konstantinos Vogiatzis, aims to support the educational and research activities of students and researchers at the Department of Civil Engineering of the University of Thessaly (Greece). LTEA assists the creation of new inquiring directions, as well as for the aid of collaboration between all laboratories of the Department of Civil Engineers and all other laboratories in the University. One of the main scientific sectors of the research and educational activities of the LTEA is the metrology of ground-borne noise and vibration, anti-vibration mitigation measures for light rail transit systems, and their design and effectiveness evaluation (floating slab, anti-vibration elastomers, elastic encapsulation of rails, squealing noise abatement systems, environmental noise absorption, ...). Recently, LTEA has acquired a significant experience in Athens and Thessaloniki metro vibration control

introducing a series of floating slab implementation for the protection of high sensitive archaeological sites, theatres, museums and dwellings in the city centre. Especially regarding the latest two extensions of the Athens metro, the study and evaluation of the appropriate mitigation measures have been undertaken, guaranteeing the allowable ground-borne noise and vibration levels, especially in crossover locations, through a detailed noise and vibration study. Floating slab track solutions were then evaluated at crossover locations ensuring a complete ground-borne vibration attenuation with an insertion loss of 20 dB with respect to the predominant excitation (40 to 125 Hz). The relevant in situ measurement campaign regarding both the dynamic characteristics of floating slab and the vibration velocity at the relevant receptors, proves that the ground borne-noise in the nearest – to floating slab – receptors at all crossover locations was significantly lower than the maximum allowable limits proving the high efficiency of the mitigation measures.



# MULTITEL, centre de certification pour le ferroviaire européen



✉ Xavier Ricco, Responsable groupe « Software board », Multitel asbl, Dominique Derestiat, Directeur, Multitel asbl

**La réalisation de l'interopérabilité de l'espace ferroviaire européen conditionne la « circulation sûre et sans rupture » des trains en contribuant à lever tous les obstacles qui maintiennent le système ferroviaire dans un mode de fonctionnement fort contraint, peu flexible et trop coûteux.**

## UN SYSTÈME DE SIGNALISATION FERROVIAIRE UNIQUE POUR L'EUROPE

L'ERTMS (European Rail Traffic Management System) a été développé pour remplacer les 27 systèmes de signalisation ferroviaire en service dans les différents pays européens, permettant à un train de circuler dans l'ensemble de ces derniers. Il assure un contrôle de vitesse des trains en sécurité grâce à un échange d'informations entre le sol et le train. La Communauté Européenne encourage ce système commun en contribuant à la phase de migration des différents réseaux nationaux vers l'ERTMS ; ainsi, un taux de cofinancement de 50% a été assuré sur les différents projets de la période 2007-2013, représentant un investissement estimé à 500 millions d'euros.

L'ERA (European Railway Agency), agence communautaire créée en 2004 a une double mission dans les domaines de la sécurité et de l'interopérabilité ferroviaires. Elle édicte les normes auxquelles doivent répondre les différentes composantes du système afin d'en assurer l'interopérabilité. Celles-ci sont traduites dans des « baselines » qui représentent les spécifications et les performances attendues.

Les équipements produits par les différents fabricants doivent répondre à ces normes pour s'assurer que l'interopérabilité sera opérationnelle. Historiquement, les équipements de voie ainsi que les trains étaient mis en service et homologués ensemble et sur les mêmes portions de voie. Dès que la mise en circulation d'un nouvel équipement était effectuée, de nouveaux problèmes d'interopérabilité apparaissaient. Afin de veiller à ce que ces problèmes d'interopérabilité soient analysés dans l'anonymat (et pour ne pas divulguer éventuellement des problèmes d'implémentation entre les constructeurs) tout en permettant de consolider la norme et de réduire les cas dégradés menant à des problèmes sur la voie, des laboratoires indépendants ont vu le jour et permettent d'assurer l'ensemble des tests requis pour garantir le respect de ces normes.

MULTITEL, centre de recherche agréé de la Région Wallonne et créé à l'initiative de la Faculté Polytechnique de Mons sur base des fonds FEDER 1995-2000 est l'un de ceux-ci.

## L'ERTMS, C'EST QUOI ?

L'ERTMS est composé :

- De l'ETCS (European Train Control System) qui assure le contrôle des trains.
- Du GSM-R qui sert de support radio à ce dernier.

Trois niveaux techniques ont été définis, complétés par deux niveaux décrivant le pré-existant ; ils se traduisent par les caractéristiques principales reprises dans le tableau ci-dessous.

Niveau d'ERTMS ETCS	Mode de transmission sol-train	Mode d'acquisition de la position du train
Niveau 0	Aucun	Aucun
Niveau NTC	Ponctuel par eurobalise	Aucun
Niveau 1	Ponctuel par eurobalise	Détection par le sol
Niveau 2	Continu par GSM-R	Détection par le sol
Niveau 3	Continu par GSM-R	Auto-localisation

- **Au niveau 0**, il n'y a pas d'ERTMS. Ce niveau doit, cependant, être géré par l'ordinateur de bord afin de laisser la conduite sous la responsabilité du conducteur. Dans ce niveau, la vitesse maximum est toutefois gérée ainsi que la lecture des eurobalises qui vont induire un changement de niveau plus approprié.
- **Au niveau NTC**, c'est le niveau national. De la même façon qu'en niveau 0, la lecture des eurobalises est permise et induit un changement de niveau si nécessaire.
- **Au niveau 1**, l'ERTMS complète les systèmes de signalisations latérales. Au sol, il est implanté en superposition avec la signalisation latérale grâce à des eurobalises qui retransmettent l'information de signalisation liée aux circuits de voie (découpage en cantons fixes) et codée au format ERTMS via des codeurs appelés LEU (Line-side Electronic Unit). A bord, une antenne et un module de réception dit BTM (Balise Transmission Module) assurent la réception de ces informations qui permettent le recalage (positionnement absolu) de l'odométrie embarquée ainsi que la réception des données de signalisation (vitesse limite, état de la signalisation latérale).
- **Au niveau 2**, les BTM sont principalement utilisés pour le recalage de l'odométrie tandis que les données de signalisation sont gérées par un centre de gestion du trafic dénommé RBC (Radio Block Center) et communiquées en continu via le GSM-R. Ce dernier permet également la transmission régulière de la position du train.
- **Au niveau 3**, les circuits de voie et les signalisations latérales associées ne sont d'aucune utilité. La communication continue via le GSM-R et les RBC permet au train de s'attribuer un canton mobile lié à sa position et défini sur base du trafic pour assurer un freinage dans des conditions de sécurité. Les eurobalises ne sont plus strictement nécessaires mais peuvent toujours être utilisées si disponibles pour le recalage de l'odométrie embarquée. Un élément important vis-à-vis du niveau 2 est la nécessité d'embarquer un dispositif de contrôle de l'intégrité du train.

Vis-à-vis de la description faite ci-dessus, des éléments additionnels doivent être embarqués comme l'EVC (European Vital Computer), un calculateur embarqué, une odométrie, une unité d'interface avec le conducteur appelée DMI (Driver Machine Interface), un TIU (Train Interface Unit) assurant les fonctions auxiliaires comme le freinage d'urgence, le pilotage du pantographe, l'ouverture des portes, ...

En complément, des STM (Specific Transmission Module) peuvent être connectés pour interfacier différents systèmes nationaux.

Idéalement, les divers éléments qui viennent d'être introduits doivent être interopérables, point critique pour la circulation sûre et sans rupture des trains dans l'espace européen.





Robot pilotant un DMI



Nouveau banc de test Eurobalise (bâtiment Multitel)



Système de mesure associé au banc de test

## MULTITEL DANS LE FERROVIAIRE

MULTITEL est un centre pluridisciplinaire dans le domaine du traitement du signal et des télécommunications. Issu des laboratoires SET et TCTS de la Faculté Polytechnique auxquels s'est associé, en 2001, le laboratoire TELE de l'UCL, il offre des compétences en électronique, en télécommunications et en traitement du signal et de l'image à destination des entreprises pour des activités de recherche et développement.

Compte tenu des activités menées dans le ferroviaire par les services initiateurs, la proximité du centre de compétence ERTMS du groupe ALSTOM (Charleroi) et de l'ERA (Valenciennes), on comprend aisément l'orientation de MULTITEL vers ce domaine.

Outre des activités de recherche et développement en collaboration avec des entreprises du secteur comme dans le cadre du Plan Marshall (en particulier, dans le contexte du Pôle de compétitivité Logistic In Wallonia), MULTITEL s'est orienté vers des activités de tests en vue de la certification des équipements de l'ERTMS.

Outre MULTITEL, deux autres centres indépendants (des équipementiers) existent. Il s'agit du CEDEX en Espagne et du DLR en Allemagne ; leur but essentiel est de vérifier la conformité des équipements aux normes émises par l'ERA. Actuellement, MULTITEL dispose de deux laboratoires : un premier est dédié aux tests des EVC tandis que le second est destiné aux tests des eurobalises et BTM. Le point fort de MULTITEL est la présence d'équipes multidisciplinaires qui assurent une automatisation poussée des tests, ce qui a conduit à une réduction considérable du temps nécessaire à leur réalisation.

Ainsi, dans le cadre du laboratoire dédié aux EVC, l'équipement testé doit être placé dans un environnement reprenant les divers modules qui y sont connectés en pratique (TIU pour la transmission des signaux tels que les commandes de freins, le contrôle du pantographe ou l'ouverture des portes; Radio pour gérer la communication entre le bord et la voie selon le standard GSM-R; ODO pour la transmission des informations provenant initialement des senseurs de roues ou de radar doppler informant le bord quant à sa vitesse et son sens de déplacement; BTM pour la transmission d'informations ERTMS depuis la voie vers le bord; DMI pour l'affichage et la saisie des instructions relatives au conducteur de train; JRU pour l'enregistrement des informations d'ordre juridique telles que les actions que le conducteur a effectuées, la vitesse du train à des moments précis, le mode opératoire du train, ...). A cette fin, une unité d'adaptation appelée EIU pour ETCS Interface Unit a été élaborée permettant de connecter facilement ces divers équipements quel que soit leur protocole de communication pour autant qu'il reste compatible avec les normes UNISIG (Union Industry of Signalling).

Un robot permettant de manipuler le DMI a également été développé. Grâce à un traitement d'images sophistiqué, il peut se substituer à un opérateur humain réagissant en temps réel aux informations apparaissant sur l'écran du DMI. Le robot est programmé selon l'ordonnement prévu par les séquences de test de la norme. Chaque instruction correspond à une macro-instruction que le robot va décomposer en mouvements précis (exemple: paramétrer la longueur du train contraindra le robot à aller sélectionner le bon menu dans le DMI puis de sélectionner le bon champ du menu pour entrer la longueur du train).

Lors des essais, le laboratoire MultiRailLab qui a à charge d'orchestrer les différentes interactions entre le train simulé et l'EVC va en quelque sorte enregistrer toutes ces activités et centraliser ces informations dans une base de données comprenant les vidéos du DMI, le contenu du JRU, les communications entre le banc de test et l'ordinateur de bord. Suite à ces enregistrements, un outil d'analyse semi-automatique (SA-TAV) permet la validation de toutes les séquences de tests en conformité avec les normes et va établir le lien entre les erreurs trouvées lors des tests et les spécifications imposées selon un niveau élevé d'interprétation des standards ERTMS.

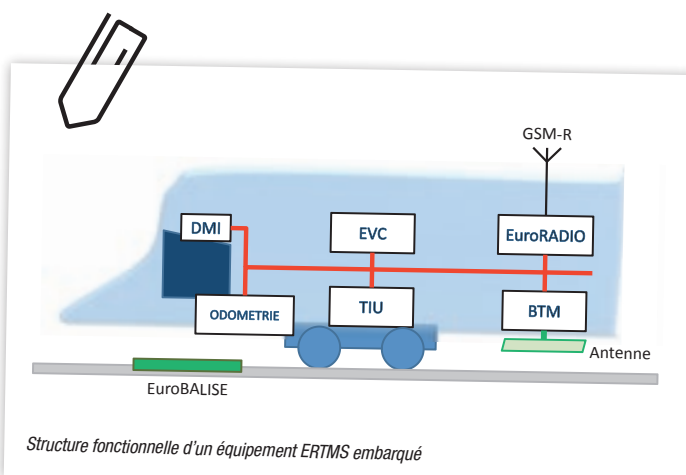
Pour les tests d'eurobalises/BTM, un banc robotisé a été également développé. Via une interface simple, il permet la réalisation de l'ensemble des tests nécessaires. De plus, MULTITEL a développé un mini banc d'essai permettant d'appliquer les tests les plus significatifs pour la conformité à une eurobalise et de disposer des résultats en moins de 20 minutes. Ce dernier est capable de mesurer les paramètres fondamentaux selon la norme Subset-085. Il mesure les caractéristiques d'entrée/sortie des balises, la fréquence centrale, la fréquence de déviation, le taux moyen de données, le décodage des télégrammes, l'amplitude du jitter (ndlr : phénomène de fluctuation d'un signal en télécommunication), l'erreur d'intervalle de temps maximum et bien plus...

## UNE EXTENSION MONDIALE

Dans le futur, MULTITEL, premier laboratoire accrédité ISO17025 dans le domaine, envisage le test automatisé d'autres composantes de l'ERTMS. On peut ainsi citer les aspects communications autour du GSM-R.

D'autre part, le système ERTMS continue son évolution et se développe à l'instar du GSM, devenant une référence mondiale pour les réseaux ferroviaires. Dans cette optique, des déploiements sont en cours en Asie et en évaluation sur d'autres continents.

Dès lors, pour ces laboratoires indépendants, de larges potentialités d'extension se présentent et le futur s'annonce plus que prometteur !



# CONNAÎTRE EN SÉCURITÉ LA POSITION D'UN TRAIN : DE NOUVELLES SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES



☒ Prof. Joël Hancq, Service de Théorie des Circuits et de Traitement du Signal  
He Hongyang, ingénieur chercheur, Multitel asbl

**Depuis 2003 le service TCTS traite, dans le cadre de divers projets soutenus par la Région wallonne en collaboration ou avec le parrainage d'ALSTOM, de la problématique du positionnement sécuritaire de mobiles en visant comme application cible le domaine ferroviaire. Il s'agit ici de définir en temps réel la position précise d'un mobile avec un taux de fiabilité élevé.**

## UNE ÉVOLUTION DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE

Une solution à cette problématique s'avère cruciale dans l'évolution des systèmes de signalisation ferroviaire. Ainsi, l'évolution du système de signalisation européen ERTMS (European Railway Traffic Management System) et, plus particulièrement, de sa composante ETCS (European Train Control System) vers son niveau 3 nécessite une connaissance sûre et précise de la position de chaque train. Dans le cadre du niveau 3, les circuits de voie ne sont plus utilisés avec, comme conséquence, la disparition de l'appareillage joint. Néanmoins, chaque train se voit associé une « bulle de protection » se déplaçant avec lui. La détermination de celle-ci est liée à des intervalles de confiance à la fois sur sa position, sa vitesse voire son accélération définis sur base de capteurs embarqués comme les odomètres de roue, les radars, les accéléromètres, les centrales inertielles... et également les systèmes de navigation satellitaire (GNSS).

L'analyse de la sécurité de ces systèmes détermine un niveau de risque appelé SIL (niveau d'intégrité de la sécurité) dont le niveau SIL4 est le plus élevé et est requis dans les applications ferroviaires, en particulier, lorsqu'il s'agit du transport de personnes.

Cela signifie que les systèmes mis en œuvre pour définir ces intervalles de position et vitesse doivent pouvoir garantir une probabilité de défaillance inférieure à 10<sup>-8</sup> par heure dans leur fonctionnement et les informations qu'ils transmettent.

Pour arriver à garantir de tels niveaux de fiabilité à partir des capteurs précités, des solutions originales s'avèrent nécessaires avec mise en œuvre d'approches diverses étudiées dans une série de projets de recherche auxquels le service TCTS a participé. Quelques-uns sont repris dans les encadrés ci-après.

## DES NOUVELLES APPROCHES

Parmi les diverses approches complémentaires nécessaires, on peut citer :

- L'étude des performances des capteurs utilisés, ce qui est particulièrement le cas pour les nou-

veaux capteurs disponibles telles que les solutions GNSS (Global Navigation Satellite System). Sur ce sujet, Galileo est le premier système satellitaire à fournir une information temps réel sur son niveau de service garanti.

- L'étude d'algorithmes de positionnement ce qui se traduit par des méthodes d'estimation d'état prenant en compte des modèles plus ou moins complexes liés à la connaissance du système modélisé telles qu'abordées par le service d'Automatique de la Faculté (thèse de doctorat « Exploration of robust software sensor techniques with applications in vehicle positioning and bioprocess state estimation » M. GOFFAUX, 2010) ou par des approches statistiques utilisant des technologies de fusion de données telles qu'abordées par le service TCTS en collaboration avec MULTITEL.
- La mise en évidence de fautes sur les informations fournies par les capteurs, ce qui conduit à des notions de capteurs intelligents capables de transmettre en complément une information sur la confiance des données qu'ils fournissent ou l'introduction de modules additionnels capables de mettre en évidence la défaillance d'un capteur.
- La définition d'une architecture efficiente pour l'assemblage de ces différentes technologies tant sous les aspects logiciel que matériel. Ainsi, l'incertitude liée aux comportements complexes des capteurs nécessite l'introduction d'un mécanisme de détection des fautes et pannes des capteurs. Idéalement, ce module de détection vient se greffer en amont des techniques de localisation sécuritaire.

Ces diverses approches ont été abordées dans le cadre du projet PIST (encadré).

De l'apport des systèmes de navigation satellitaires Il faut toutefois noter que bon nombre des capteurs embarqués précités fournissent des informations de vitesse (cas du radar, des odomètres de roue) voire d'accélération (centrale inertielle) ; ce qui conduit à voir la zone d'incertitude de position s'accroître au cours du temps d'où la nécessité de recadrage périodique assuré, par exemple, par des balises permettant un positionnement absolu. En cela,

l'utilisation de systèmes satellitaires permet de s'affranchir de telles contraintes.

L'amélioration des performances de ces systèmes satellitaires est généralement obtenue par des solutions d'hybridation avec diverses approches possibles comme :

- L'utilisation de systèmes d'améliorations comme le D-GPS ou système européen EGNOS,
- L'utilisation de capteurs additionnels comme accéléromètres, gyroscopes
- L'utilisation de la cartographie,
- Dans le futur, un mixage de satellites appartenant à des constellations différentes (GPS, Glonass, Galileo, ...)

Sur le principe, la visibilité de 4 satellites est nécessaire pour déterminer la position et s'affranchir de certaines erreurs. La précision de la mesure réalisée dépend de nombreux facteurs.

En pratique, on peut constater la visibilité d'un plus grand nombre de satellites d'où une possibilité de tri des combinaisons possibles de 4 satellites. Divers algorithmes de tri ont été évalués. Cette méthode générale permet d'améliorer la précision des intervalles de vitesse et est applicable à toutes les constellations de satellites.

Ces diverses approches ont été abordées dans le cadre du projet SAPHYRS (encadré).

## QUAND LES SYSTÈMES DE NAVIGATION SATELLITAIRES NE SONT PAS ACCESSIBLES

Des solutions d'hybridation avec des capteurs additionnels comme accéléromètres et gyroscopes permettent de s'affranchir transitoirement d'une perte des signaux satellites mais ces modes dégradés conduisent rapidement à des incertitudes sur la position peu compatibles avec les applications visées.

Dans certaines zones où la réception des signaux satellites est impossible comme, par exemple, les tunnels, il convient de définir des solutions alternatives.



Les deux approches rencontrées sont la répétition des signaux GNSS et l'utilisation de pseudolites.

Ces diverses approches ont été abordées dans le cadre du projet LOCOTRAC (encadré), typiquement pour le cas des tunnels ferroviaires. Une solution originale proposée est basée sur l'utilisation d'un câble rayonnant placé dans le tunnel et alimenté à ses extrémités par des signaux issus de satellites ou de pseudolites.

## D'AUTRES APPLICATIONS

Toutes les techniques présentées ici voient leur cadre potentiel d'application s'étendre largement avec les développements autour des véhicules connectés et, plus récemment, autonomes. Dans ces domaines, si les niveaux d'intégrité des mesures actuellement demandés restent moindres, les précisions sur la position (intervalle de confiance) s'avèrent plus importantes.

## PIST, comment combiner l'information des différents capteurs pour garantir un haut niveau d'intégrité

Dans le cadre du projet PIST (« Positionnement Intelligent et Sécuritaire en Transport », 2004-2007), les méthodes basées sur les intervalles de confiance ont été étudiées et la notion d'intégrité de la mesure a été reliée à ces intervalles. Une méthode originale dite du « K-meilleur » a été développée conduisant au dépôt d'un brevet commun Faculté Polytechnique – Multitel intitulé "A device for and a method of designing a sensor arrangement for a safe automated system, an automated system, a program element and a computer-readable medium" (European Patent application 06 008 296.3).

Sur le principe, l'intégrité associée à une mesure et garantie par les caractéristiques techniques d'un capteur, est la probabilité a priori de trouver

la valeur réelle de la variable dans l'intervalle, lorsqu'on ne connaît aucune autre information sur la valeur réelle de cette variable, c'est-à-dire en l'absence de toute autre mesure.

Lorsqu'on observe plusieurs mesures, l'intégrité associée à l'intervalle d'une mesure est modifiée : elle augmente si les mesures sont cohérentes (large intersection) et diminue quand les mesures divergent (intersection vide par exemple).

Des opérations élémentaires réalisables à partir d'intervalles (figure) ont été étudiées en détail afin de disposer d'une base solide pour développer une nouvelle méthode d'estimation, les résultats obtenus après combinaison étant évalués en termes de précision et d'intégrité.

## LOCOTRAC, que faire dans les zones où les satellites ne sont pas visibles

Dans le cadre du projet LOCOTRAC (« Low Cost Train Automatic Control », 2011-2015), l'un des axes de recherches développés était d'assurer un positionnement sûr dans des zones où les signaux satellitaires ne sont naturellement pas accessibles, typiquement dans les tunnels. Ces signaux ne peuvent alors qu'y être répétés ou simulés.

Le point crucial de la répétition des signaux GNSS est que la solution fournie par les algorithmes classiques est alors la position de l'antenne servant à capter les signaux à répéter. D'autres algorithmes doivent être envisagés.

Une solution originale développée à l'UMONS est basée sur l'utilisation d'un câble rayonnant alimenté à ses extrémités par des signaux issus de satellites ou de pseudolites. L'algorithme développé détermine une position d'un récepteur le long du câble rayonnant sur base des « pseu-

do-range » mesurés pour un couple de satellites où chacun n'alimente que l'une des extrémités du câble.

Ainsi, le dispositif de capture des signaux GNSS retransmis sur le câble doit assurer une partition de l'ensemble des satellites en 2 sous-ensembles distincts alimentant chacun une extrémité du câble. On parle de « masquage spatial » de l'ensemble des satellites visibles. Les études menées montrent la forte sensibilité de la méthode élaborée à l'efficacité de ce filtrage spatial.

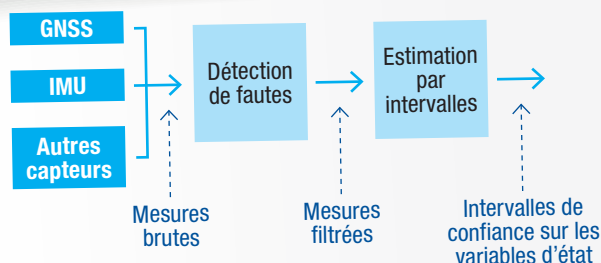
Une alternative consiste alors à simuler les signaux satellitaires (pseudolites). Dans ce cas, les pseudolites utilisés peuvent disposer d'une horloge commune qui peut, d'ailleurs, être synchronisée sur l'horloge de la constellation de satellites, ce qui en réduit les coûts par rapport à des solutions commerciales actuellement disponibles.

## SAPHYRS, comment combiner l'information des différents satellites pour garantir un haut niveau d'intégrité

Dans la pratique, un récepteur GNSS est un capteur particulièrement efficace étant donné sa capacité à fournir une mesure de position absolue dans un référentiel lié à la Terre (ce qu'aucun autre capteur existant ne peut faire) ainsi qu'une mesure de vitesse de grande précision. Cependant, il souffre d'un problème majeur, à savoir que ses performances dépendent fortement de l'environnement dans lequel il est utilisé. Sa précision peut, en effet, varier d'un facteur 1 à 1000 voire plus si les satellites visibles sont peu nombreux et mal situés les uns par rapport aux autres. Il peut également être fréquemment indisponible dans les milieux dits « masqués » (milieux fortement urbains ou boisés). De plus, certaines erreurs liées à la propagation des ondes électromagnétiques se maîtrisent très difficilement.

Strictement, la visibilité de 4 satellites est nécessaire pour déterminer la position du récepteur. Or, en pratique, un plus grand nombre de satellites sont généralement disponibles.

Un des points largement développé dans le projet SAPHYRS (« SAfe Positioning using a Hybrid and Robust System », 2007 à 2011) fut comment combiner les informations des différents satellites pour s'assurer d'un positionnement sûr et précis. Divers algorithmes de tri sélectionnant les combinaisons de 4 satellites qui permettent d'assurer les meilleures performances ont été évalués. La prise en compte du positionnement géographique des satellites et d'autres facteurs comme le DOP (dilution of precision) sont à la base de ces algorithmes.







# LA MAINTENANCE DANS LE MONDE FERROVIAIRE : UN PARI D'AVENIR...

☒ Guillaume Fleurquin, Dr Christophe Letot, Service de Génie Mécanique



## ... EN BELGIQUE

Occupant une position stratégique en Europe, la Belgique possède un réseau de transport dense, aussi bien routier que ferroviaire. L'entretien des voies ferrées, des systèmes de communication ou d'alimentation électrique représente un défi majeur. La Faculté Polytechnique, et plus particulièrement le service de Génie Mécanique, apporte régulièrement son expertise dans le cadre de collaborations avec les acteurs concernés.

De 2006 à 2009, le service a participé au projet TransLogisTIC (plan Marshall), dirigé par ALSTOM Belgium S.A., qui visait le développement d'un transport combiné complet et performant en Wallonie, et qui a réuni un consortium de 10 entreprises et 5 universités dont plusieurs services de la Faculté. Le Génie Mécanique a apporté sa contribution dans le développement des systèmes de contrôle-commande appliqués au fret ferroviaire. La disponibilité des équipements impliqués est cruciale car toute perte de fonction peut impliquer un accident. En conséquence, il convient de prévoir le comportement des systèmes élaborés. Cela passe par une analyse de la fiabilité des composants qui les constituent afin de pouvoir simuler leurs comportements en exploitation tout en intégrant la maintenance et ses contraintes inhérentes (localisation des équipes, disponibilité des pièces de rechange, ...). L'emploi de simula-

tions (de type Monte-Carlo) permet d'évaluer les valeurs moyennes et écarts-types des caractéristiques d'intérêt des systèmes : disponibilité et coûts de maintenance en particulier. De surcroît, les applications requérant une forte sécurité amènent souvent à mettre en redondance les composants. Cela pose des problèmes de détectabilité des pertes de fonctions. Il convient alors d'établir des inspections régulières. Les outils de simulation développés au cours de ce projet ont, au final, intégré toutes ces fonctionnalités afin de fournir un outil d'aide à la décision aux gestionnaires d'équipements à destination du réseau ferroviaire.

## ... EN FRANCE ET EN ITALIE

À la suite de ce projet, d'autres collaborations ont été menées avec le département RAM (fiabilité, disponibilité, maintenabilité) d'Alstom Transport, localisé en région parisienne. La problématique de la dégradation des aiguillages fait ainsi l'objet d'une expertise encore en cours au sein du service. L'objectif est de mettre en évidence les phénomènes participant à l'altération des aiguillages au cours de leur utilisation : usure, mais aussi chocs liés au ballast, conditions météorologiques, ... Pour ce faire, des tests réalisés en Italie ont permis d'évaluer l'impact des différents modes de dégradation et de créer des indicateurs spécifiques permettant d'émettre des alertes en cas d'usure prononcée. De telles alertes doivent apparaître dans un délai

suffisamment long avant la perte de fonctionnalité pour laisser le temps aux gestionnaires de mettre en place une maintenance préventive. Il s'est avéré que la puissance active fournie par le moteur de l'aiguillage fournissait l'information utile pour la construction d'un indicateur représentatif de la dégradation du mécanisme.

## ... ET AUSSI EN SUÈDE !

Christophe Letot a réalisé un séjour scientifique de trois mois à l'Université de Technologie de Luleå dans le Nord de la Suède où il a rejoint le département « Operation and Maintenance ». Ce département est renommé pour ses travaux liés au monde ferroviaire et bénéficie en plus du Centre de Recherche Ferroviaire de Luleå dont la mission est de faciliter les échanges interdisciplinaires entre les universités, les industries et les autorités locales. Christophe a ainsi eu l'opportunité de contribuer sur des thèmes de recherche spécifiques qui concernent, entre autres, la modélisation des dégradations de défaut de géométrie de voie, l'optimisation de la périodicité d'inspection du ballast ferroviaire, la modélisation de l'efficacité des actions de bourrage du ballast afin d'optimiser les activités de maintenance en minimisant les coûts ainsi que les périodes d'interruption. Cette collaboration scientifique permettra de faciliter les échanges avec l'Université de Technologie de Luleå afin de participer à la définition de futurs projets européens.

# QUELLES ALTERNATIVES AU SYSTÈME GSM-R ?



✉ Prof. Joël Hancq, Service de Théorie des Circuits et de Traitement du Signal  
Nicolas Point, responsable du département networking, Multitel asbl

**Le GSM-R (Global System for Mobile communications – Railways) est un standard de communication sans fil basé sur le GSM, développé spécifiquement pour les applications et les communications ferroviaires mais actuellement dépassé.**

## LE GSM-R, POURQUOI ?

Signalons immédiatement que cette technologie est dédiée aux communications internes et n'est en aucun cas destinée à fournir des services aux utilisateurs. Elle permet aux trains de communiquer avec les postes de régulation du trafic ferroviaire, aux agents de conduite, de circulation et de maintenance de communiquer entre eux en mode-conférence (appels de groupe), et il autorise le support d'applications utilisant des données comme l'ETCS (European Train Control System). Le GSM-R répond également aux projets d'interopérabilité entre les différents pays et est l'un des éléments supports de l'ERTMS (European Rail Traffic Management System), système unifié de sécurité, de signalisation et de supervision des transports ferroviaires en Europe.

Le GSM-R a été choisi en 1997 par la Commission Européenne pour les communications ferroviaires et le système est déjà fortement implanté dans des nombreux pays en Europe.

Ce standard qui est le résultat de plus de dix ans de collaboration entre les nombreuses compagnies ferroviaires européennes finalise l'interopérabilité par l'utilisation d'une plateforme de communication unique. Le GSM-R permet dans les cas de l'ETCS de niveau 2 et 3, de transporter des informations de signalisation ferroviaire directement jusqu'au conducteur, facilitant ainsi une vitesse de circulation du train plus élevée ainsi qu'un trafic plus dense, tout en maintenant un haut niveau de sécurité.

Ses spécifications finalisées en 2000 sont basées sur le projet européen MORANE (Mobile Radio for Railways Networks in Europe) et sont maintenues par le projet ERTMS de l'Union internationale des chemins de fer.

Le GSM-R a également été choisi par 38 pays à travers le monde incluant, outre tous les états membres de l'Union Européenne, des pays d'Asie, d'Eurasie et d'Afrique du Nord.

En plus de la fonction classique du « simple appel téléphonique », l'implantation du GSM-R en milieu ferroviaire implique un certain nombre de procédures complémentaires normalisées, étant donné les exigences élevées des opérations ferroviaires en termes de sécurité.

## LE GSM-R, SES LIMITES

Le GSM-R utilise en général des tours relais (Base Transceiver Station, ou BTS) dédiées, proches de la voie ferrée. La distance entre chaque BTS varie de trois à quatre km. Cette technologie étant strictement réservée aux usages ferroviaires, cela implique donc un investissement non négligeable pour sa mise en place.

En outre, ce protocole mis au point dans les années 90 est limité en termes de capacité de transmission de données (en kb/s) et, dans une moindre mesure, en termes de nombre de communications téléphoniques en parallèle (dans les gares importantes).

Une évolution de ce protocole permet d'atteindre des débits plus élevés sans toutefois répondre aux débits auxquels nous sommes actuellement habitués afin d'assurer de nouveaux services aux usagers.

Ce sont les raisons pour lesquelles de nombreuses discussions se portent actuellement sur les alternatives à ce protocole bien qu'il possède de nombreux avantages, particulièrement, en termes de garantie de services (qui lui ont permis d'être actuellement normalisé pour une utilisation dans le cadre de l'ETCS).

## QUELLES ALTERNATIVES ?

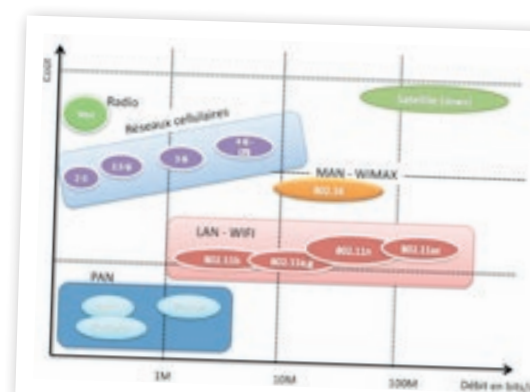
De nouveaux protocoles de communications sont actuellement disponibles ou en devenir ; citons à titre d'exemples le WIFI, le WIMAX, le TETRA, le LTE ou le réseau 4G et les réseaux Mesh inspirés du protocole « Zigbee ». Chacun dispose de caractéristiques propres en termes de performances d'infrastructure et de fiabilité.

Dans le cadre du projet LOCOTRAC (« Low Cost Train Automatic Control », 2011-2015, Plan MARSHALL) subventionné par la Région wallonne, une étude a été menée quant à leur adaptation pour répondre aux applications ferroviaires et à leur robustesse dans ce cadre.

Il en a résulté que deux alternatives (TETRA et LTE) semblent ressortir de la liste des réseaux étudiés mais, avec à chaque fois, un certain nombre de difficultés.

Une mixité des réseaux apparaît actuellement comme la plus appropriée. Pour répondre à celle-ci, deux solutions semblent convenir pour réaliser une utilisation conjointe de plusieurs réseaux.

« Le GSM-R permet de transporter des informations de signalisation ferroviaire directement jusqu'au conducteur, facilitant ainsi une vitesse de circulation du train plus élevée ainsi qu'un trafic plus dense, tout en maintenant un haut niveau de sécurité. »



- Le protocole **MPTCP (Multipath TCP)** qui permet l'utilisation en parallèle de plusieurs canaux de transmission en fonction de leur disponibilité.
- L'installation d'un procédé de « **Vertical Roaming** » (ou « **Vertical Handover** ») qui sélectionne le « meilleur » canal de transmission en effectuant une analyse permanente de sa disponibilité.

L'étude de ces solutions a montré que le « vertical roaming » semble être prometteur. Dans ce cadre, un point important consiste à déterminer le « meilleur » canal de transmission à un instant donné. Divers algorithmes ont pu être testés et, un d'entre eux, être sélectionné compte tenu des applications ferroviaires visées.

Dans le cadre du projet, les résultats majeurs sont actuellement un protocole de tests des réseaux vis-à-vis des applications ferroviaires ainsi qu'un premier démonstrateur basé sur le « vertical roaming ».



# Quand les transports impactent l'architecture ...



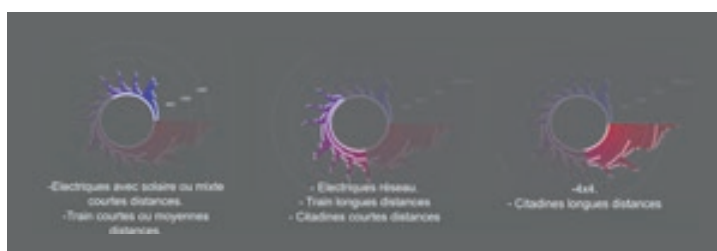
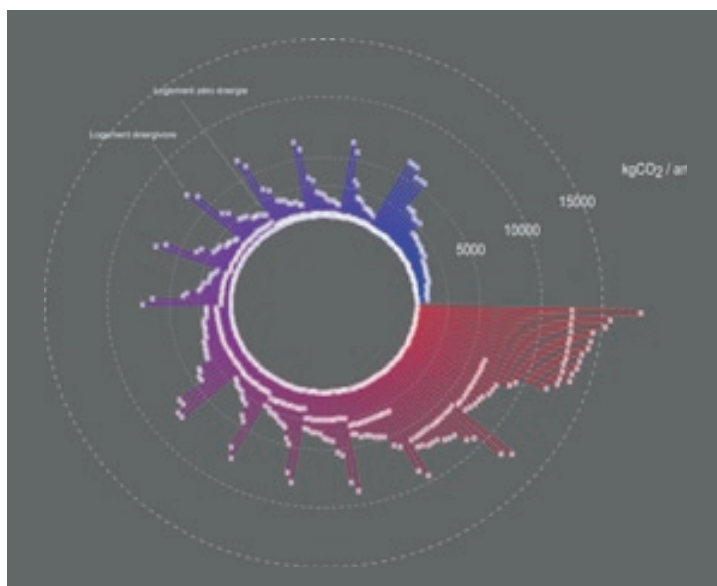
✉ Mathilde Goemaere, Service de Génie Architectural et Urbain

Quel lien existe-t-il entre transport et architecture ? Telle est la question que de nombreux se posent ? Celle-ci est pourtant de plus en plus mise en exergue dans le milieu étant notamment abordée lors de la conception d'un projet et plus spécifiquement, de l'étude de son bilan environnemental.

En effet, les transports jouent un rôle clé dans le monde de la « construction » que ce soit en amont de celle-ci, pour l'acheminement des matériaux et l'évacuation des déchets, ou en aval, pour tout ce qui concerne la mobilité des habitants. Mais que représente leur impact sur le bilan ?

## Mot de l'expert : Habitat et mobilité, de nouvelles cartes en main

✉ Benoit Quevrin



Les graphiques ci-contre présentent la synthèse d'une analyse de 126 comportements différents de personnes suivant une série de variantes : le choix du moyen de transport (véhicule individuel électrique, citadine diesel, 4x4, train), la distance parcourue par an (de 1.500 à 50.000 km/an), le type de logement (zéro énergie à mauvais) et le type de combustible utilisé pour le chauffage et la production d'eau chaude (biomasse, gaz, électricité) (étude menée par FAASTsprl).

Si certaines conclusions semblent évidentes comme le fait que les véhicules très émissifs devraient être proscrits ou que les logements inefficaces, quelle que soit leur situation par rapport aux activités des habitants, sont néfastes pour l'environnement, certaines simulations sont à épingle. On remarque par exemple que les véhicules électriques, bien qu'ils soient peu émissifs, sont fortement dépendants de la source de recharge énergétique. En effet, une

« longue » distance parcourue avec une voiture électrique branchée sur le réseau belge représente des émissions supérieures à celles émises par un véhicule tout terrain sur une « très courte » distance. Il est donc important de considérer la manière dont on produit l'électricité (les panneaux solaires étant idéaux). On remarquera également que d'utiliser le train ou une voiture électrique ne dédouane pas la mauvaise performance de l'habitat et que, certes le vecteur est important mais une bonne partie des consommations sont domestiques et donc directement reliées à l'électricité.

Mais outre ces constats, c'est stratégiquement qu'il faut penser. En effet, si les seules solutions qui se présentaient à nos dirigeants il y a encore 5 ans étaient l'utilisation des véhicules peu émissifs et l'isolation des bâtiments, voilà que de nouvelles perspectives s'offrent à nous.

### LE PHOTOVOLTAÏQUE

La pose de panneaux solaires photovoltaïques, dont les prix ont considérablement chuté ces dernières années (les rendant toujours pertinents économiquement malgré la disparition des certificats verts) pourrait désormais alimenter non seulement nos bâtiments mais aussi nos véhicules. Et si les batteries de nos voitures servaient de tampon et/ou de transfert entre différents sites de production locale ? Et si, finalement le réseau électrique belge tenait là une solution de flexibilité ?

### LA MOBILITÉ

La question de la distance à parcourir est également fondamentale et revient à parler de sobriété et d'énergie non consommée comme étant le plus efficace. L'histoire urbaine nous conduit à une centralisation des activités aux sites urbains. Mais au-delà de ce concept, c'est tout le mode de vie qui doit être intégré aux réflexions. Qui peut aujourd'hui dire qu'il ne modifiera pas sa position géographique d'activité professionnelle ? Comment dès lors imaginer un choix d'ancrage pour réduire ses déplacements, si ce n'est par des réflexes de bon sens tel que habiter proche d'une gare, ce qui assurera sans doute des liaisons par la mobilité douce.

Le télétravail devrait (devra) quant à lui être considéré également de son point de vue environnemental. S'il présente des contraintes non négligeables, il reste un moyen radical pour ne pas perdre de temps / d'énergie dans les transports.

Il est temps qu'une étude approfondie puisse être menée et apporte ces quelques nouvelles données dans la complexité de la gestion d'une mobilité régionale, nationale, européenne.





# Le transport dans les mines et carrières

✉ Dr Fanny Descamps, Nicolas Gonze, Prof. Philippe Ancia, Prof. Jean-Pierre Tshibangu, Service de Génie minier



**Dans le domaine des matières minérales, le transport est un maillon essentiel de la production. Amener les matières premières (brutes ou pré-traitées, stériles) depuis les gisements vers les usines de traitement ou les marchés engendre en effet des coûts significatifs, qu'il faut intégrer dans la démarche du projet minier.**

Les moyens employés pour transporter les matières minérales du gisement aux utilisateurs, via les usines de traitement sont très variés : dumpers (tombereaux rigides ou articulés), trains et convoyeurs à courroie dans les exploitations à ciel ouvert ; méthodes avec rail (scrapers, berlines, bandes transporteuses, skips) ou trackless (camions, chargeuses-transporteuses, camions-navettes) dans les mines souterraines, bandes transporteuses ou conduites pour le transport des pulpes en usine, ... Cette diversité de moyens est liée à des facteurs technico-économiques : nature des matières transportées (solides, fluides), tonnages déplacés, distances parcourues, type d'exploitation, approvisionnement massif et régulier des unités de traitement (matériaux concassés et criblés) et des marchés (matières calibrées).

Le choix des moyens de transport fait ainsi partie d'un processus global d'optimisation de l'exploitation, à plusieurs titres. En effet, que ce soit à ciel ouvert ou en souterrain, le transport du tout-venant est en relation directe avec la géométrie de l'exploitation. En particulier, la conception des voies d'accès en mine à ciel ouvert est liée aux pentes permises, aux trajets et au nombre d'engins utilisés pour une gestion efficace de

la flotte. En souterrain, les contraintes dimensionnelles sont parfois sévères et exigent des engins adaptés à la section creusée, capables de manœuvrer dans des espaces exigus.

Le transport est également associé à des coûts opératoires énormes qu'il faut intégrer dans une conception globale de la flotte d'engins. Par exemple, les développements récents de dumpers de très grande capacité (350 tonnes de charge utile) ont permis, en réduisant les coûts opératoires, l'approfondissement des mines à ciel ouvert. Aujourd'hui, certaines exploitations ont dépassé 500 m de profondeur.

Au niveau du traitement des matières minérales, la manutention, la ségrégation et même la dégradation des matières sont autant d'aspects à considérer dans la conception d'un flow-sheet.

Les stages industriels et les travaux de fin d'études sont, dès lors, de belles opportunités pour nos futurs ingénieurs d'appliquer les notions apprises à des cas pratiques. Au cours de ces dernières années, un groupe d'étudiants a, par exemple, eu l'occasion de travailler quelques jours

sur le site de Tenke Fungurume Mining, la plus importante exploitation cupro-cobaltifère de la République Démocratique du Congo. Lors de ce séjour, ils ont pu se rendre compte de l'importance donnée dans ce type d'exploitation à la gestion du trafic des engins miniers. En effet, dans cette mine, plusieurs dizaines de dumpers circulent à chaque instant et il est dès lors primordial d'assurer un suivi optimum de l'ensemble de cette flotte. Pour cela, l'ensemble des engins présents sur le site sont suivis depuis une salle de contrôle où des gestionnaires de trafic peuvent connaître, à chaque instant, leur position et leur situation technique. Cette gestion en temps réel a permis de limiter les temps d'attente au chargement des dumpers et de réagir rapidement en redispachant certains dumpers au cas où une chargeuse rencontrerait un problème technique.

Dans une démarche d'optimisation des exploitations en carrières, beaucoup de cas ont également été traités en Belgique (Carrières du Tournaisis, Carrières de Lessines, ...) par le service de Génie Minier et comportent notamment des aspects liés à la planification de l'exploitation en relation avec la géométrie du site.



Unité de criblage et bandes transporteuses de l'usine de traitement du site minier de Kipoi Project (République Démocratique du Congo)



Chargement d'un dumper sur le site de Tenke Fungurume Mining (République Démocratique du Congo)

# SHAREBIKE : UN SYSTÈME INNOVANT POUR LE PARTAGE DE VÉLOS



☒ Prof. Daniel Tuytens, Dr Jean-Marc Godart, Service de Mathématique et Recherche opérationnelle

**Dans le cadre du projet ShareABike, le Service de Mathématique et Recherche opérationnelle de la Faculté Polytechnique développe un système communautaire et intelligent pour le partage de vélos, en collaboration avec les centres de recherche naXys (Centre namurois des Systèmes complexes) et CeRCLe (Centre de Recherche sur la Consommation et les Loisirs) de l'Université de Namur. Ce projet, financé par la Région wallonne dans le cadre de l'appel Germaine Tillion en innovation sociale, est parrainé par le Groupe TEC, la Ville de Mons et l'A.S.B.L. Pro Velo.**

## SYSTÈMES ACTUELS

Les systèmes de vélos en « libre-service », qui permettent à chacun de louer un vélo pour un trajet déterminé, connaissent actuellement un grand succès et jouent un rôle important en termes de mobilité. De nombreuses villes proposent déjà un tel service et d'autres sont en train de s'équiper. Les vélos servent également de support publicitaire et essentiellement deux grandes sociétés de communication se partagent le marché : JCDecaux (France) et Clear Channel Communications (Etats-Unis). En Wallonie, la Ville de Namur propose le service « Li Bia Vélo » (géré par JCDecaux) depuis 2012.

Néanmoins, les systèmes actuels réclament généralement l'installation de parcs de bornes (stations) auxquelles les vélos doivent être attachés lorsqu'ils ne sont pas utilisés, ce qui présente des inconvénients pour l'utilisateur. La mobilité offerte est également contrainte par la zone couverte par les stations ; si une station n'a plus de borne disponible, les usagers doivent rechercher une autre station pour déposer leur vélo, avec les conséquences qui peuvent en découler (rendez-vous manqué, stress, insatisfaction, ...). Par ailleurs, le coût relatif à l'installation et à l'entretien des bornes pèse lourdement sur la rentabilité du système qui n'est, par conséquent, accessible qu'aux agglomérations d'une certaine taille.

## PROJET SHAREBIKE

L'objectif du projet ShareABike est précisément de développer un système intelligent et communautaire de partage de vélos, affranchi de la contrainte des bornes. Ce système reposera sur une plateforme informatique innovante.

Jusqu'ici, l'installation de bornes semblait être la meilleure solution pour gérer les locations et éviter les vols. Cependant, les nouvelles technologies et, en particulier, la large diffusion des technologies mobiles (smartphones, systèmes embarqués, ...), permettent maintenant d'envisager un système

« décentralisé » qui laissera la flexibilité aux usagers d'utiliser le vélo jusqu'à leur point de destination finale et de ne pas dépendre de la disponibilité de place en station pour redéposer le vélo. Grâce à l'exploitation des technologies mobiles, les vélos disponibles pourront être aisément localisés quel que soit leur emplacement, et décadennassés par leur nouvel utilisateur. De plus, un système d'enregistrement (basé, par exemple, sur les cartes de crédit) responsabilisera les usagers et évitera que les vélos empruntés ne soient pas redéposés ou mal, voire pas, cadennassés.

Un système de partage de vélos libéré de l'installation de bornes permettra de l'ouvrir à de plus petites entités (villages, associations, parcs, ...), qui ne peuvent justifier l'investissement actuellement nécessaire, mais également à de plus grandes zones (régions, ...), qui ne peuvent être couvertes, à coût raisonnable, par un réseau de stations. De plus, un tel système, plus économique, favorisera une approche « communautaire », non commerciale, dans laquelle chacun pourra partager son propre vélo.

Le développement de ce système communautaire et intelligent pour le partage de vélos offrira ainsi différents avantages : amélioration de la mobilité (les déplacements seront facilités, sans la contrainte des bornes) ; accroissement du report modal par la souplesse du système ; disponibilité d'un moyen de transport ponctuel pour les couches de la population moins favorisées ; lutte contre l'hyper-consommation (le partage de vélos s'insère dans la mouvance de la consommation collaborative) ; contribution au respect de l'environnement, à la qualité du cadre de vie et à la santé publique...

## DÉROULEMENT DU PROJET

Après une étude approfondie de l'existant, une étude socioéconomique a été réalisée afin notamment de définir le public visé et de mettre en lumière les attentes et les contraintes de celui-ci (concernant la disponibilité des vélos, le coût, la sécurité, l'acceptation des nouvelles technologies mises en œuvre). Sur cette base, les partenaires et parrains du projet ont précisé le mode de fonctionnement envisagé pour le système : modèle économique, logistique, ... Le cahier des charges a alors été établi pour le développement de la plateforme informatique, de manière à répondre aux objectifs et contraintes (par exemple, en termes de sécurité) du système.

Sur base de ce cahier des charges, un prototype est en cours de développement : choix techniques, implémentation des modèles et algorithmes mathématiques, programmation des interfaces, ... Ce prototype, qui constituera le principal livrable du projet, fera l'objet d'une validation, au travers d'une application-pilote en situation réelle, avec l'aide des parrains du projet. L'adoption effective du système par la population sera alors mesurée.

Soulignons que la définition et l'implémentation de modèles et algorithmes mathématiques représentent une part importante du projet dans la mesure où l'aspect logistique, trop souvent négligé, est essentiel au fonctionnement et au succès du système de partage de vélos. En effet, il conviendra d'assurer la disponibilité des vélos, au travers notamment de l'optimisation de la redistribution des vélos, de manière à répondre à la demande, exprimée éventuellement au travers de réservations. La modélisation de la redistribution des vélos constitue le cœur de la plateforme et un véritable challenge en termes de simulation et d'optimisation.





# ECOLOGISTICS, une meilleure visibilité des flux à la portée des PME

✉ Jean-François Piche, Service de Théorie des Circuits et Traitement du Signal  
Yves DeBlic, chef de projet, Multitel asbl



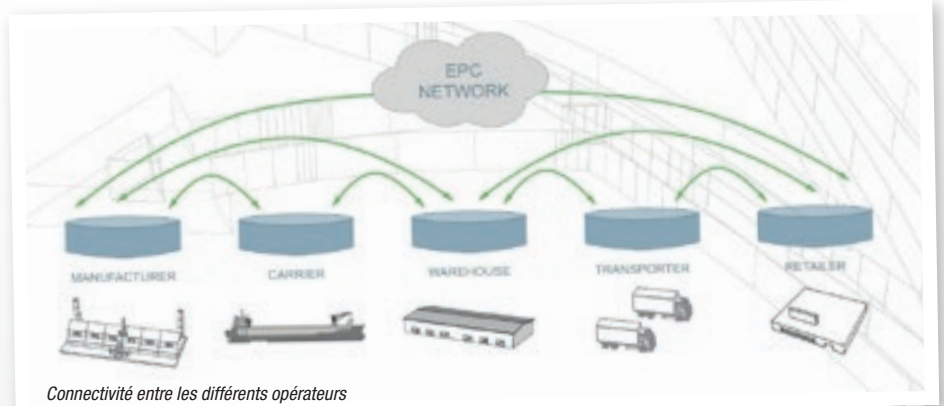
L'UMONS via les services composant son institut INFORTECH a largement contribué au développement des technologies de capture de l'information, de traitement des données et d'exploitation de celles-ci dans le domaine du transport et de la logistique, en particulier par sa participation à divers projets du plan Marshall déposés dans le cadre du pôle de compétitivité Logistics in Wallonia.

Sous l'influence des nouvelles technologies de l'information, l'innovation dans les transports et la logistique représente un enjeu économique important. Fort des compétences acquises et de son expertise dans la logistique, l'UMONS a souhaité prendre la tête de projets visant la diffusion de ces nouvelles technologies dans ce domaine. Ecologistics apparaît comme un premier succès obtenu grâce à cette stratégie.

## « SUPPLY CHAINS » INTERNATIONALES, PROJET EUROPÉEN

Financé dans le cadre du programme Interreg IVB Europe du Nord-Ouest (fonds FEDER de l'Union Européenne), le projet Ecologistics rassemble douze acteurs, issus de cinq pays (Allemagne, Belgique, France, Luxembourg Pays-Bas), ayant des compétences diverses dans le domaine de la logistique. La Wallonie cofinance les partenaires wallons de ce projet : l'UMONS, coordinateur du projet, le centre de recherche Multitel, le pôle Logistics in Wallonia, l'Eurometropolitan e-Campus et le FOREM.

Ecologistics a pour mission de sensibiliser les PME à l'intérêt de partager des données standardisées de traçabilité. Pour atteindre les objectifs de la mission, un démonstrateur technique de partage et d'échanges de données a été développé. Ce démonstrateur a pour vocation de sensibiliser, de former et d'être une première étape pour les entreprises désireuses de déployer ce type de solution. L'UMONS est le coordinateur de ce développement. La standardisation des données a été mise en œuvre selon les standards soutenus par GS1, organisme mondial actif dans la normalisation des méthodes de codage utilisées dans la chaîne logistique (lui-même partenaire du projet) : identification des unités logistiques par code EPC (Electronic Product Code) et accès aux informations dans les bases de données EPCIS (Electronic Product Code Information System, standard GS1).



Connectivité entre les différents opérateurs

De multiples rencontres avec les entreprises, les centres de formations et les collectivités locales ont permis d'élaborer différents scénarios représentatifs rencontrés dans une « supply chain » (chaîne logistique) dans des domaines tels que l'agro-alimentaire, la chimie, la distribution spécialisée ou la logistique urbaine. Ces scénarios ont été implémentés sur le cœur technique du démonstrateur.



Réunion de clôture : membres du consortium Ecologistics

## UMONS AU CŒUR DE LA TECHNOLOGIE

L'UMONS, en particulier son institut INFORTECH, a développé le démonstrateur Ecologistics. Techniquement, le démonstrateur est constitué :

- d'une couche d'acquisition (code à barres, RFID...) : cette couche permet de lire des identifiants EPC (normalisés par GS1). Le choix de plusieurs types de lecteurs illustre l'indépendance entre le partage des données, uniquement lié à la standardisation de l'identification, et le matériel ou la technologie de lecture utilisé.
- d'une couche de gestion de données : UMONS s'est appuyé sur la standardisation de l'accès aux données EPCIS soutenues par GS1. Cette standardisation définie pour une base de données isolée a été étendue pour des données réparties sur plusieurs bases de données. Cette approche a été développée afin d'illustrer l'échange de données multi-sites, multi-serveurs, tout en conservant des mécanismes efficaces de sécurité d'accès.
- d'une couche applicative : les partenaires ont implémenté les scénarios sur le logiciel ODOO (ERP Open source) afin d'avoir une solution intégralement basée sur des logiciels libres. Les entreprises intéressées peuvent implémenter la solution sur leur ERP habituel.

## DES OUTILS DIDACTIQUES ACCESSIBLES AUX PME

Ecologistics, maintenant terminé, a atteint tous ses objectifs principaux :

- Sensibilisation de 1500 personnes, représentant près de 500 entreprises de la zone Europe du Nord-Ouest, sur l'intérêt de partager des données standardisées de traçabilité, afin d'optimiser la gestion de leur « supply chain ».
- Les formations correspondantes sont ou seront prochainement disponibles chez des partenaires des différents pays ; en Wallonie, elles le sont à l'initiative du FOREM.
- Le démonstrateur développé par le projet est accessible en open source sur le site web du projet (sous licence BSD).

A la demande d'entreprises, des démonstrations peuvent encore être effectuées par les partenaires qui ont acquis les équipements nécessaires, voire des évaluations des technologies développées par les entreprises, elles-mêmes, sur base des équipements mis à disposition.

**Pour davantage d'informations, contactez-nous :**  
Coordinateur : Bertrand Tiberghien  
Tél. : 065 34 28 39 – Mail : [info@ecologistics-project.eu](mailto:info@ecologistics-project.eu)  
[www.ecologistics-project.eu](http://www.ecologistics-project.eu)



# Le banc moteur, un outil indispensable pour les étudiants participant au concours Shell Eco-marathon

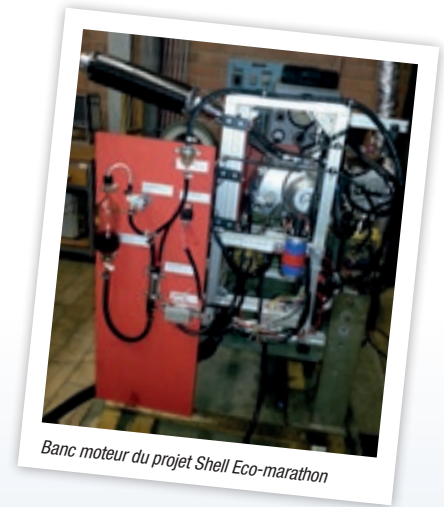
✉ Alessio Iscaro et Jean-Louis Truffaut, étudiants en MA2 Mécanique

*Parcourir la plus grande distance possible avec un seul litre d'essence.* Tel est l'objectif du concours Shell Eco-marathon. Pour cela, plusieurs pistes sont exploitées pour améliorer l'efficacité de la voiture. Ainsi, une des voies explorées est la mise en place et l'exploitation d'un banc moteur, visant l'optimisation du rendement de notre moteur. Un tel banc permet de mettre le moteur dans des conditions de « course » et d'en étudier, mesurer les performances. Il est équipé d'un moteur (identique à celui du véhicule participant au concours), d'un frein, de différents capteurs et d'une carte électronique. Cette dernière gère la quantité d'essence à injecter et le déclenchement de l'étincelle. La puissance et le rendement d'un moteur dépendent de la proportion air/essence du mélange injecté. Ces deux grandeurs, fonctions de la vitesse de rotation, peuvent être mesurées sur le banc moteur.

Nous concourons dans la catégorie « Urban-Concept – motorisation Essence », regroupant des véhicules qui présentent des caractéristiques similaires aux voitures traditionnelles (avoir 4 roues, un coffre, le chauffeur en position assise).

Le moteur choisi pour notre véhicule est de type Honda monocylindre 4 temps de 70 cm<sup>3</sup>. Dans les voitures traditionnelles, on souhaite avoir un bon compromis puissance/rendement alors que, pour le concours, l'objectif est d'obtenir le rendement maximal.

Pour optimiser le rendement, on cherche à obtenir la bonne proportion air/essence du mélange. Ceci est réalisé grâce aux paramètres entrés dans la carte électronique qui gère la quantité d'essence à injecter et le moment du déclenchement de l'étincelle. Ces valeurs sont calculées à partir des mesures des différents capteurs disposés sur le moteur. Parmi les capteurs les plus importants, on peut citer le capteur de vitesse de rotation, le capteur d'ouverture du papillon des gaz, le capteur de pression dans la tubulure d'admission et le capteur de température moteur. Certaines pièces du moteur peuvent également être modifiées pour améliorer le rendement. Par exemple, on peut changer la tubulure d'admission pour diminuer les pertes de charges lors du passage de l'air vers la chambre de combustion.

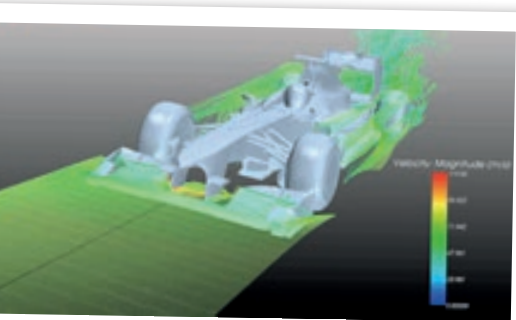


Banc moteur du projet Shell Eco-marathon

Cette étude sur le banc moteur, qui s'inscrit parfaitement dans la dynamique actuelle de diminution de consommation des véhicules, nous permet d'apporter des modifications quant au fonctionnement du moteur, grâce aux connaissances acquises tout au long de notre cursus et aux nombreuses recherches réalisées au préalable. L'optimisation du rendement moteur permettra d'améliorer encore notre autonomie qui est actuellement de 203,7 km/l d'essence (0,49 l/100 km). Rendez-vous début juillet, à Londres, pour le résultat final !

## UN INGÉNIEUR DE LA FPMS DANS L'ÉCURIE FERRARI EN F1

✉ Dr François Ducobu, Service de Génie Mécanique



Simulation numérique de l'écoulement de l'air autour d'une F1 afin d'en étudier l'aérodynamique

**Les amateurs de belles mécaniques cherchent une Ferrari sur le parking... Aucune trace de la bête... Jonas Vidaic nous annoncera avec un grand sourire, avant la séance de questions-réponses clôturant son exposé, qu'il ne roule pas en Ferrari de fonction.**

Chaque année, quatre conférences scientifiques et techniques, ouvertes à tous, sont organisées par le Département de Mécanique pour l'ensemble des étudiants mécaniciens. Il s'agit d'exposés à caractère scientifique et technologique dispensés par des Ingénieurs actifs faisant part de leurs expériences professionnelles. C'est dans ce cadre que Monsieur Jonas Vidaic est venu parler du rôle de l'aérodynamique en Formule 1, le 30 octobre 2015 à l'Amphithéâtre R. Stiévenart.

Jonas Vidaic est entré à la Faculté en 2006. Après avoir choisi la mécanique, le Prof. G. Coussement lui fait découvrir l'aérodynamique, en 1<sup>ère</sup> Master, pour laquelle il se passionne. Il décide alors de poursuivre ses études à l'ISAE-SUPAERO à Toulouse pour y réaliser un échange TIME et obtenir un double diplôme, deux ans plus tard. Son objectif est de travailler pour une grande écurie de Formule 1. Il met un premier pied dans le domaine lors de son travail de fin d'études qu'il effectue à la soufflerie

Toyota de Cologne. Son double diplôme en poche, il est engagé par la prestigieuse écurie Ferrari pour travailler sur l'aérodynamisme des Formule 1.

Au cours de son exposé, Jonas a fait part de son expérience en tant qu'Ingénieur en recherche et développement en aérodynamique chez Ferrari. Depuis l'entrée en vigueur du nouveau règlement, l'aérodynamique de la voiture reste le seul paramètre qui puisse encore être modifié une fois la saison commencée. La difficulté majeure est de trouver le meilleur compromis pour gagner quelques dixièmes de seconde par tour sur tous les circuits alors que certains ont des exigences contradictoires (plus d'appui en virage sur les circuits lents – meilleure vitesse de pointe sur les circuits rapides, par exemple). Il s'agit bien sûr d'un travail prenant qui déborde souvent sur les nuits et les week-ends mais son « rêve d'enfant » vaut bien quelques sacrifices... Nul doute que nous penserons bien à lui lors du prochain Grand Prix quand nous verrons les bolides rouges au cheval cabré !

# Le char Polytech, quand transport rime avec folklore



☒ Christophe Nachtergaele et Charles Grimonprez, étudiants et ... bricoleurs



Chaque année, les étudiants de la Faculté Polytechnique de Mons construisent un char folklorique destiné à parcourir la ville de Mons, le jour du fameux baptême des étudiants. Ce dernier n'est pas motorisé mais est, en réalité, tiré par des étudiants. La Polytech est la seule faculté de Mons à disposer d'un char folklorique et les étudiants Polytech en sont très fiers.

La construction du char est supervisée par le « Cercle Scientifique » de la Faculté. Ce cercle estudiantin est constitué de deux membres actifs de la Fédération des étudiants, un secrétaire et un président, élus pour une période de 1 an. Leur principale tâche sur leur mandat sera la construction du char de bleusaille. Ils doivent donc imaginer un thème, qui sera de préférence inédit, qui pourra être représenté à l'échelle ou en taille réelle par le char de bleusaille. Ainsi, cette année (promotion 177), un château fort mobile fût construit. Lors des années précédentes, le char de bleusaille a respectivement représenté un Hummer (176), un cheval de Troie (175) ou la BatMobile (174), ... Le char est donc construit durant les deux semaines de bleusaille, puis démonté et rangé le lendemain du cortège. Pour que cela soit possible, le char est construit chaque année sur le châssis d'une ancienne fourgonnette VW (ayant plus de 30 ans !) disposant d'un habitacle et d'un poste de pilotage élémentaire. Le

char est donc dirigé depuis l'intérieur mais tracté à l'extérieur par huit courageux étudiants. Le pilote dispose uniquement d'un volant et des freins à main et à pied. Pour garantir une sécurité optimale et, puisque la visibilité du pilote est généralement très réduite voire totalement absente, un orifice est percé dans la structure du char à gauche du chauffeur. Cela permet à un étudiant désigné de guider oralement le pilote et d'avoir accès au frein à main en cas d'urgence.

Le Cercle Scientifique est aidé dans sa tâche par une quarantaine d'étudiants bénévoles nommés les « charistes ». Ceux-ci travaillent donc main dans la main avec le comité pour offrir à la faculté un char qui restera dans les annales. Chaque année, le service de Génie civil et Mécanique des structures nous met à disposition une halle du site du Joncquois pour la construction du char. La halle se transforme alors en un véritable atelier pendant les deux semaines et demi du début de chaque année académique. Nous avons, par ailleurs, la chance de disposer d'un pont roulant permettant de soulever jusqu'à 3 tonnes. Ainsi, les tourelles du château fort ont été soulevées et posées à leur place à l'aide de celui-ci. De même, nous pouvons déplacer des panneaux Unalite (ou tout autre matériau) à l'intérieur de la halle. Tout ceci est généralement effectué dans un souci de sécurité lorsqu'il n'y a

que très peu d'étudiants présents pour qu'aucun d'eux ne puissent être mis en danger.

La totalité des matériaux utilisés pour la construction du char est conservée et recyclée chaque année pour les éditions suivantes. Ainsi, certaines plaques de bois ont servi sur près de 20 chars différents. Nous favorisons, de la sorte, la récupération de matériaux et réduisons, par conséquent, le budget. Les matériaux utilisés sont essentiellement des plaques d'unalite, des chevrons, des vis de toute taille disposant de têtes différentes selon leur utilisation (elles aussi sont récupérées d'année en année) et de barres d'acier provenant du magasin de la faculté pour la structure de base. La plus grosse partie du budget constitue l'achat de peinture puisque celle-ci ne peut être récupérée.

Chaque année, la construction du char constitue un challenge pour les étudiants impliqués. En effet, celui-ci doit être réalisé en seulement 13 jours et doit supporter les chocs subis lors de son parcours à travers la ville. De plus, il doit représenter un thème folklorique amusant et doit resplendir pour épater les autres facultés. Une chose est sûre, un projet d'une telle ampleur n'est pas que ludique et permet aux étudiants de développer leur esprit manuel en apportant un côté pratique en complément de leurs études.



# LE TRANSPORT DE SUBSTANCES DANGEREUSES : QUELS RISQUES ?



Le transport de substances dangereuses : un risque connu mais mal maîtrisé...

✉ Jérémie Delcourt, Service de Génie des procédés chimiques et biochimiques



Fin des années 1970, un camion-citerne transportant près de 25 tonnes de propène explose à proximité d'un camping à Los Alfaquès, en Espagne. Cet accident fit 217 morts et de nombreux blessés (200 grands brûlés). Plus récemment, le déraillement d'un convoi de 72 wagons-citernes contenant du pétrole brut léger à Lac-Mégantic au Québec (Canada) a provoqué plusieurs explosions et un incendie, détruisant la moitié de la ville et tuant 47 personnes. La Belgique n'échappe pas à ce type d'accident : en juillet 2004, l'explosion d'un pipeline de gaz naturel à haute pression dans le zoning de Ghislenghien fait au total 24 morts et 124 blessés par brûlures. Citons également l'accident de Wetteren en mai 2013 durant lequel six des treize wagons-citernes du convoi ont déraillé provoquant une explosion suivie d'une inflammation de plusieurs wagons contenant de l'acrylonitrile et faisant un mort et 33 blessés.

Suite à ces catastrophes, une culture de gestion de crise est apparue en Belgique, mettant en exergue l'importance de la coordination des secours, de la communication entre les autorités, les acteurs de terrain et la population afin de limiter au mieux les conséquences de ces accidents. Le « Major Risk Research Center » (MRRC) du service de Génie des Procédés Chimiques, déjà impliqué dans

les études de risque au sein des sites Seveso, s'est donc intéressé aux risques engendrés par le transport de substances dangereuses.

Différents aspects de la problématique ont ainsi été étudiés au sein du MRRC. Le premier est la quantification de ce risque dans le cadre de l'aménagement du territoire. Force est de constater que les voies de transport principales (routes, voies ferrées, ...) passent à proximité immédiate de zones densément peuplées. Il est ressorti de ces études que si, pour les installations fixes, un cadre de gestion des risques a été défini (Directive Seveso), cet aspect des choses ne prend pas en compte, à l'heure actuelle, le transport de matières dangereuses au niveau de l'aménagement du territoire.

Suite aux nombreuses tragédies déjà survenues, des déficits majeurs en matière de préparation, de coordination ou de mode de communication des différents acteurs de gestion de crise ont été identifiés. Il arrive souvent d'entendre : « l'accident, c'est pour les autres ». Bien qu'il existe des plans d'urgence et d'intervention, ces outils sont très mal connus, limités et surtout peu testés. Les situations de crise permettent très souvent de mettre en exergue le manque de préparation. Un autre problème est le fait qu'un accident majeur engendre l'obligation d'une réaction immédiate de la part des acteurs. Et c'est dans ces cas-là que des déficits en préparation opérationnelle, en préparation organisationnelle, en gestion d'équipe (stress, leadership, communication), ... se font ressentir. De plus, en cas d'accidents, les différentes réglementations internationales ainsi que la planification d'urgence ne donnent pas de directive permettant de gérer des situations d'urgence de type transport de substances dangereuses.

Des sensibilisations à ce type de risque et des améliorations quant à l'intervention des services de secours ont été réalisées via des outils d'aide à la décision en intervention sur des situations d'urgence : identification des substances impliquées, dangers et phénomènes dangereux associés, détermination des distances d'effet pour l'homme et l'environnement, équipements de protection et bien d'autres encore.





# Partir, revenir, c'est votre avenir

Tel est un slogan, repris notamment dans la nouvelle brochure « Partir à l'étranger », éditée par la Commission FPMs International, détaillant comment construire son projet de mobilité.

Il a déjà été souligné, à plusieurs reprises dans le Polytech News, que la FPMs, en parfaite cohérence avec la politique de l'UMONS, développe toute une stratégie d'internationalisation à l'intention de ses étudiants, notamment par la promotion de destinations européennes et mondiales pour des séjours académiques (d'un quadrimestre, d'une année complète, voire de deux ans pour un double diplôme) ou pour la réalisation d'un travail de fin d'études ou d'un stage industriel.

En attendant un prochain dossier illustrant le rayonnement international de la FPMs, voici un exemple d'expérience académique à l'étranger, à Coimbra (Portugal) en particulier, racontée par un étudiant plus qu'enthousiaste !

**Diane Thomas,**  
**Commission FPMs International**



## Mon expérience en Erasmus à Coimbra

Je ne sais pas vraiment mettre de mots sur ce que j'ai vécu pendant mon année universitaire au Portugal... Personnellement, j'adore voyager et rencontrer de nouvelles personnes et, bien évidemment, de nouvelles cultures. Mon expérience Erasmus m'a permis de découvrir de nombreux nouveaux endroits et m'a fait voyager beaucoup plus que ce que je ne le fais d'habitude. Je n'oublierai jamais les « magnifiques » personnes que j'ai rencontrées là-bas, j'espère juste que c'était réciproque. Je suis resté en contact avec nombre d'entre elles et j'ai d'ailleurs prévu d'aller leur rendre visite au cours de cette année. J'ai actuellement déjà revu une dizaine d'Erasmus rencontrés l'année passée !

A propos de la ville, Coimbra est la ville universitaire la plus ancienne du Portugal et fait partie des plus anciennes d'Europe (elle a fêté ses 725 ans en 2015). Bien évidemment, si cette ville est autant prisée des étudiants et des touristes, c'est parce qu'elle offre autre chose à faire qu'étudier (bah non, un étudiant ne fait pas qu'étudier... désolé pour cette révélation!). Au cours de l'année, deux festivals académiques ont lieu, l'un en octobre (Latada, fête de bienvenue pour les nouveaux étudiants de l'université) et l'autre en mai (Queima das fitas, fête pour les étudiants célébrant la fin de leur cycle universitaire). De plus, le centre-ville est très animé, du lundi soir au dimanche très tôt au matin, et ce tout au long de l'année. N'étant pas située tout près de la capitale, les prix restent démocratiques. Par exemple, la bière dans les bars est vendue à 0,8€ et le shot d'absinthe à 1€ (à consommer avec modération bien sûr !).

Au niveau du climat, comme beaucoup de villes du sud de l'Europe, il y fait assez chaud (très chaud même en été) et ensoleillé. Un autre avantage de Coimbra est que, lorsqu'il fait très chaud, il est possible de partir se rafraîchir dans une station balnéaire très proche (à 45 minutes en train) ou encore sur une plage fluviale qui est située à 3 km de la ville.

Avant mon arrivée à Coimbra, on m'avait mis en contact avec une « Buddy » (système de parrainage). Néanmoins, je n'ai pas eu besoin de ma Buddy pour m'intégrer car, dès mon premier jour de cours, j'ai été très chaleureusement accueilli par des élèves de ma classe.

Il n'est pas difficile de trouver un logement car, à Coimbra, un tiers des habitants sont des étudiants ! Il y a donc une multitude de logements disponibles.

A propos des cours... je ne ferai pas de commentaires particuliers hormis que les professeurs sont généralement sympathiques et compréhensifs avec les élèves Erasmus car ils sont conscients que les cours que vous suivez ne sont pas dans votre langue maternelle. Il y a aussi très rarement des cours à 2-3-4 crédits (du moins, dans l'université où j'étais, mon plus petit cours était de 4 ECTS). J'ai eu environ 50% de mes cours en portugais (cours de Bachelier) et le reste en anglais mais j'ai pu passer tous mes examens en anglais (cours de Master). Les cours en portugais n'ont pas posé un trop gros problème car le portugais est très semblable au français... mais uniquement à l'écrit ! On remarque très vite des améliorations dans son niveau de langue, autant en anglais qu'en portugais.

De plus, dans la plupart des villes d'accueil, une organisation d'étudiants appelée ESN (Erasmus Student Network) organise des activités (voyages, visites, sport, soupers, soirées...). Ce sont des gens géniaux qui vous aideront quoi qu'il se passe. D'ailleurs, une section a été ouverte à l'UMONS, l'année passée, et recrute des membres afin d'organiser des événements. Je pense que c'est une bonne idée d'en faire partie et de participer à ses activités afin d'avoir des contacts avec les Erasmus incoming et de les aider à s'intégrer à la vie montoise. Et, qui sait, peut-être que cela vous donnera aussi l'envie de partir en Erasmus !?

Je vous encourage vraiment à partir étudier à l'étranger et vivre cette expérience enrichissante, aussi bien du point de vue humain que culturel. De plus, pour nous, futurs ingénieurs, apprendre une autre langue est un réel atout lors de notre recherche d'emploi !

Une chose m'a manqué au cours de cette année en Erasmus : nos bonnes frites belges. Mais à part cela, ce fût une année parfaite !

**Maxime Decrucq, étudiant en MA2  
Chimie/Science des Matériaux**

## Benchmarks, Reduction Techniques and Rule-Based Learning for Label Ranking



☒ NOM : Dr Massimo Gurrieri  
 SERVICE : Mathématique et Recherche opérationnelle  
 PROMOTEUR : Prof. Philippe Fortemps

... Vous êtes le manager ressources humaines d'une entreprise et vous voudriez créer un lien entre les traits de personnalité d'un collaborateur et ses compétences professionnelles afin de pouvoir dire, par exemple, qu'un collaborateur extraverti et ouvert est plutôt meilleur en management qu'en problem-solving. Ceci est un exemple d'application possible de mes recherches qui ont porté sur un problème particulier du Machine Learning: le Label Ranking. Le plus souvent en Machine Learning, le jeu de données comporte des individus caractérisés par des attributs et affectés à une classe (ou «label») parmi plusieurs. Dans le cadre de cette thèse, il ne s'agissait pas seulement de prédire, pour chaque individu, une classe (la meilleure classe) mais également un rangement sur toutes les classes possibles. En particulier, j'ai développé un modèle de prédiction de type «Glass-Box» ayant la forme de règles logiques SI-ALORS (IF-THEN) qui, contrairement aux modèles «Black-Box» (typiquement développés en Machine Learning), est interprétable par l'utilisateur. Dans une deuxième contribution, j'ai développé un modèle de prédiction qui est également capable de prendre en considération l'incertitude et de fournir une prédiction plus fiable ayant la forme d'un ordre partiel strict. Dans une troisième contribution, j'ai développé plusieurs méthodes de génération de données artificielles spécifiques pour le label Ranking. Last but not least, j'ai appliqué les méthodes développées à un problème réel de ressources humaines dans lequel les traits de personnalité d'un nouvel employé sont utilisés pour prédire un rangement sur un ensemble de compétences professionnelles.

### Label ranking

Given a set of classes/labels:



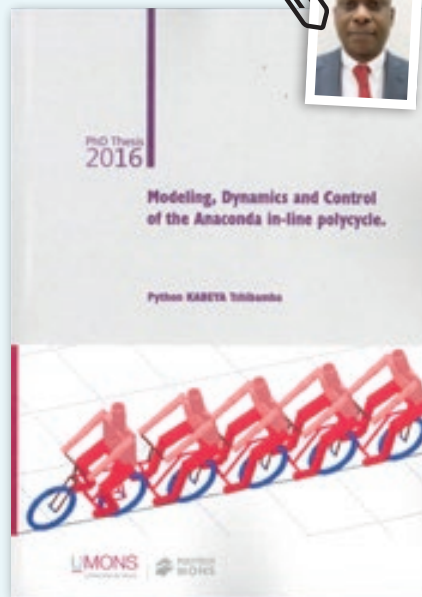
Learn a predictive model that maps instances to FULL RANKINGS:



### Label Ranking: Toy example

- ▶ **Query:** Recommend 3 brands of smartphones to a new customer
- ▶ **Task:** Rank smartphone brands in order of preference

	Customer	Ranking
	music, 95000, 58, 2.9, 15	HTC~ACER~SAMSUNG
	extreme-sports, 989500, 29, 4.9, 3.9	ACER~HTC ^ SAMSUNG~HTC
	climbing, 85000, 35, 0.9, 5.6	HTC~SAMSUNG~ACER
	boxing, 94500, 39, 1.9, 13	ACER~SAMSUNG
	horse-riding, 73500, 39, 119.5, 4.3	SAMSUNG~HTC
	tennis, 89000, 43, 2.2, 5.9	HTC~ACER~SAMSUNG



## Modeling, Dynamics and Control of the Anaconda in-line polycycle

☒ NOM : Dr P. Kabeya Tshibamba  
 SERVICE : Mécanique rationnelle, Dynamique et Vibrations  
 PROMOTEUR : Prof. Olivier Verlinden

L'Anaconda est un véhicule modulaire composé d'un vélo classique suivi de plusieurs modules reliés par des liaisons sphériques. L'Anaconda transporte plusieurs personnes, chacune sur un module. Chaque module ne dispose que d'une seule roue, pouvant être orientée par un guidon si bien que chaque conducteur doit gérer l'équilibre de son propre module. L'équilibre est ainsi géré de façon décentralisée. Au contraire, la propulsion est censée être centralisée : en pédalant, les passagers produisent de l'énergie qui est redistribuée par le pilote aux moteurs de roues. De la même manière, le freinage est géré de façon centralisée par le pilote de tête.

Un modèle numérique, générique et paramétrique de l'Anaconda a été établi en le considérant comme un système multi-corps. Ce modèle est utilisé dans un premier temps pour caractériser les modes du comportement dynamique d'un Anaconda avec un module pédaleur et évaluer la difficulté de conduire un tel véhicule en variant le nombre de modules, la vitesse d'avancement et des paramètres géométriques du module pédaleur. Dans un second temps, l'inclusion dans ce modèle de celui du comportement des conducteurs nous a permis d'investiguer le comportement non linéaire de l'Anaconda parcourant des trajectoires diverses à vitesse constante ou variable. Des mesures expérimentales nous ont permis de valider notre modèle numérique.

Il découle de notre étude que l'Anaconda est plus difficile à conduire que le vélo mais qu'il peut être maîtrisé par des pilotes humains. En effet, les 2 prototypes existants d'Anaconda ont pu être conduits après un peu d'entraînement.



## Impact de la maintenance sur les risques industriels majeurs

☒ NOM : Dr Soumia Hadni  
 SERVICE : Génie mécanique  
 PROMOTEUR : Prof. Pierre Dehombreux

Une maintenance insuffisante des installations industrielles à risque peut entraîner des accidents graves, très coûteux, concernant non seulement le personnel et les équipements mais également la population et les infrastructures voisines et l'environnement. Bien que la maintenance joue un rôle important dans l'entreprise en réduisant les risques d'accidents majeurs en exploitation, elle induit par ailleurs à une exposition supplémentaire durant sa réalisation. C'est dans cette double perspective que nous avons développé une méthodologie d'analyse visant à étudier les risques et à évaluer leurs conséquences ainsi qu'à choisir la politique de maintenance optimale en termes de risques. La méthodologie Maintenance Impact on Safety «MIS» proposée intègre en plus de l'analyse classique du risque associé à l'exploitation ou au process, une analyse complémentaire des risques induits par la maintenance.

Cette méthodologie s'échelonne sur trois étapes :

- délimitation du champ de l'étude : cette étape consiste à définir le système sur lequel porte l'étude pour le risque process et le risque induit par la maintenance ;
- estimation du risque : elle vise à quantifier la probabilité du risque et à estimer les conséquences d'un événement redouté pour le risque process et celui induit par la maintenance ;
- évaluation du risque : elle vise à classer le risque relativement à une matrice de criticité de risque. C'est lors de cette étape qu'une évaluation hybride process et maintenance est réalisée afin d'avoir une vision générale sur le risque dans sa globalité.



Dans chacune de ces trois étapes, le risque est étudié pour un niveau de maintenance donné et une période d'observation définie. L'intérêt de la méthode MIS que nous avons développée, outre le calcul de l'évaluation globale du risque, permet également de choisir le niveau optimal de maintenance. L'apport de cette contribution a été évalué dans différents contextes industriels notamment une station de déchargement d'ammoniac et un four d'une raffinerie marocaine.

## Expressive speech synthesis: research and system design with hidden Markov models



☒ NOM : Dr Sandrine Brognaux  
SERVICE : Théorie des Circuits et Traitement du Signal  
PROMOTEURS : Prof. Thierry Dutoit, Prof. Marco Saerens

While text-to-speech has long been focused on the production of an intelligible message of good quality, interest has recently shifted to the generation of more natural and expressive speech. This comes as an answer to the widespread criticism stating that current speech synthesizers lack fundamental human components. This thesis tackles that issue by considering three fundamental stages of HMM-based speech synthesis: the phonetic and prosodic annotations of the training corpus and their automatic alignment with the speech signal.

We first propose a systematic step-by-step study of HMM-based phonetic alignment in which the models are directly trained on the corpus to align. Based on a detailed analysis of the errors made by this technique, we developed three fully-automatic improvement methods which are shown to significantly improve the alignment of highly variable and expressive corpora.

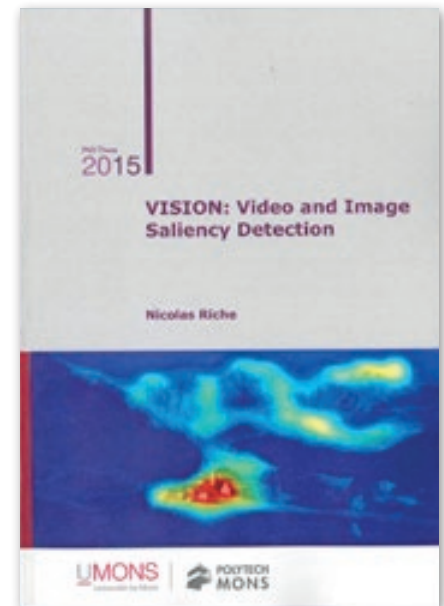
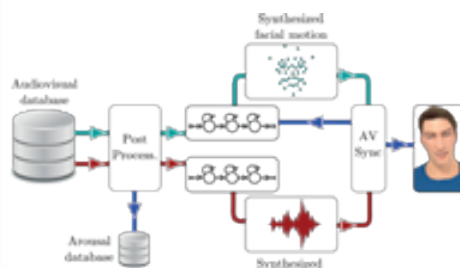
We then define a two-level prosodic annotation of expressive corpora, describing accentual patterns and changes in speaking style. The integration of this manual annotation in the synthesis of sports commentaries positively impacts the naturalness of the expressivity. We also present an automatic annotator of accentual patterns in French and show that its integration in synthesis contributes to the naturalness of the voice.

Finally, our study points out that the choice for phonetic variants in French is influenced by the speaking style and that their consideration in the synthesis of sports commentaries improves the naturalness of the message. It indicates that phonetic changes should be considered, both at training and synthesis stages.

## Audiovisual Laughter Synthesis – A Statistical Parametric Approach

☒ NOM : Dr Hüseyin Cakmak  
SERVICE : Théorie des Circuits et Traitement du Signal  
PROMOTEUR : Prof. Thierry Dutoit

Imagine a computer that can laugh just like you. Yes, I mean with your specific laughing style and with your facial mimics! All it would need is a few samples of your laughter. This is not science-fiction, this is my PhD thesis. In this work, I developed a pipeline that includes the recording of laughter samples from a subject. I then built mathematical models that generate new laughs making a 3D animation look and sound just like the recorded subject when laughing. These models allow to have control over parameters of the laugh such as the duration, which vowels are used to create it or the intensity. This was done using mathematical tools called hidden Markov models and the maximum likelihood parameter generation algorithm. Mathematical models were built for the audio and visual data separately. Then, audiovisual synchronization was performed by finding and exploiting the relationship between the audio and visual laughter. This work also included the development of a 3D avatar that has been used to demonstrate the generated visual expressions of laughter. A tool to predict the perceived laughter intensity using Gaussian mixture models is also among the contributions of this work.



## VISION : Video and Image Saliency Detection

☒ NOM : Dr. Nicolas Riche  
SERVICE : Théorie des Circuits et Traitement du Signal  
PROMOTEUR : Prof. Thierry Dutoit

Human visual system receives 80% of our daily lives information but this amount of visual data physically exceeds the capacity of our brain. The mechanism that overcomes this fundamental issue and determines what part of the incoming ocular information is interesting and must be processed first is called visual attention. Since the early 2000s, modeling visual attention has been a very active research area.

This thesis adds a brick to this crucial endeavor of understanding and modeling human attention: alter presenting several state of the art models, it proposes new methods illustrated through several practical applications. Besides, these algorithms need to be fairly evaluated. This is the scope of the second part of the thesis which develops a new framework to assess saliency models.

*This work was supported by University of Mons and FRIA-FNRS (Grant number: 14776504).*



## LES RÉSUMÉS OFFICIELS SONT DISPONIBLES SUR

<https://portail.umons.ac.be/fr/universite/facultes/fpms/recherche/doctorat/pages/thesesdedoctorat.aspx>

# UNE BOURSE EUROPÉENNE POUR EXPLORER DES SOUS-ESPACES LINÉAIRES

✉ Prof. Nicolas Gillis, Service de Mathématique et Recherche Opérationnelle



Les « Starting Grants » de l'European Research Council (ERC) sont attribuées chaque année à environ 300 jeunes chercheurs européens de tous horizons. Ces bourses, d'une durée de 5 ans et portant sur des montants de 1.5 million d'euros par projet retenu, ont pour objectif de permettre à ces chercheurs de créer une équipe autour d'un projet novateur et ambitieux. Cette année, j'ai été sélectionné pour obtenir ce financement pour mon projet **COLORAMAP**, acronyme pour « **C**onstrained **L**ow-**R**ank **M**atrix **A**pproximations: **T**heoretical and **A**lgorithmic **D**evelopments for **P**ractitioners ».

Chaque année également, les fonds de la recherche scientifique-FNRS attribuent un financement similaire à une dizaine de jeunes chercheurs belges pour une durée de deux ans ; ce sont les mandats d'impulsion scientifique (MIS). Ce financement va également soutenir le projet COLORAMAP. L'ensemble de ces moyens financiers permettra, à partir du mois de septembre 2016, d'engager 2 chercheurs pour réaliser un doctorat et 2 chercheurs pour un post-doctorat.

L'objectif de COLORAMAP est de mieux comprendre et caractériser les techniques de *réduction dimensionnelle linéaire*, qui peuvent être décrites comme suit. Etant donné des points dans un espace à grande dimension, on aimerait trouver un sous-espace linéaire de plus petite dimension approchant cet ensemble de points (cf. Figure 1 : image donnant un exemple pour des points en dimension 3 approchés par un espace linéaire de dimension 2).

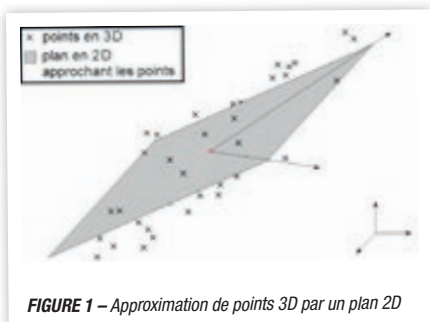


FIGURE 1 – Approximation de points 3D par un plan 2D

Ce problème de réduction dimensionnelle linéaire est équivalent au problème d'approximation d'une matrice par une autre matrice de rang faible, d'où le titre du projet. En pratique, la dimension du sous-espace linéaire est beaucoup plus petite que la dimension de l'espace original et cela permet notamment la compression des données.

Outre la compression, cette réduction de dimension permet d'extraire automatiquement des informations pertinentes. Voici quatre exemples d'application :

1. Etant donné un réseau de personnes (comme, par exemple, le réseau de Facebook ; cf. Figure 2), il est souvent important de détecter automatiquement des *communautés* dans ce réseau, c'est-à-dire des ensembles de personnes qui interagissent beaucoup. Cela peut être utilisé notamment à des fins commerciales (marketing de produits) ou médicales (analyse de la propagation d'une épidémie). La détection de communautés est utile dans d'autres contextes comme, entre autres, pour l'identification des groupes de gènes agissant pour des fonctions biologiques similaires.



FIGURE 2 – Réseau des relations sur Facebook

2. Etant donné un ensemble d'images, on peut vouloir en *extraire automatiquement des caractéristiques communes*. Par exemple, dans l'illustration de la Figure 3, les caractéristiques extraites depuis un grand nombre d'images de visages sont des parties de visages comme les yeux, la bouche, et le nez.

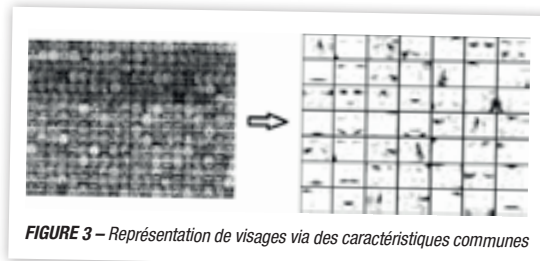


FIGURE 3 – Représentation de visages via des caractéristiques communes

3. Les systèmes de recommandations ont pour objectif de prédire les préférences d'utilisateurs pour des articles (par exemple, des films ou des livres, comme sur Netflix ou Amazon ; cf. Figure 4) à partir des préférences de ces utilisateurs pour d'autres articles.



FIGURE 4 – Systèmes de recommandations, ou comment choisir un film ?

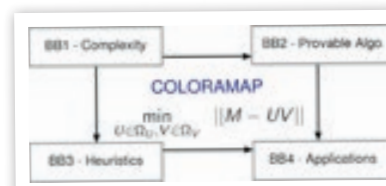
4. Etant donné un ensemble de documents, on peut classer automatiquement ces documents en fonction des sujets qu'ils traitent : chaque document va être une combinaison linéaire de sujets.

*Peut-on trouver le meilleur sous-espace linéaire efficacement ?* Si on utilise les moindres carrés pour évaluer l'erreur (c'est-à-dire, en minimisant la somme des erreurs au carré), le problème est bien compris et peut être résolu efficacement (ceci est étroitement lié à l'analyse en composantes principales). Cependant, dès que des contraintes supplémentaires sont ajoutées, et/ou que la mesure de l'erreur change (pour prendre en compte, par exemple, des données manquantes ou aberrantes), le problème devient difficile et beaucoup de questions sont encore sans réponses.

Ainsi, les objectifs de ce projet sont de :

- Résoudre des questions théoriques afin de mieux comprendre cette classe de problèmes et caractériser leur complexité. Par exemple : est-ce que ces problèmes sont difficiles ? Sous quelles conditions peuvent-ils être résolus efficacement ?
- Analyser les techniques existantes et développer des nouveaux algorithmes basés sur des bases théoriques solides.
- Utiliser ces techniques pour des applications, et mettre au point de nouveaux modèles pour des applications particulières.

La classe de problèmes abordée par COLORAMAP est également au cœur de domaines plus fondamentaux tels que la théorie des graphes, la statistique, l'algèbre linéaire, l'optimisation, la théorie de l'information, et bien d'autres. C'est pourquoi, une meilleure compréhension de ces questions et la proposition de solutions efficaces pourraient avoir un impact important tant en matière de recherche fondamentale que de recherche appliquée.



Pour plus d'informations sur ce projet ou pour ceux qui seraient intéressés à y participer, vous pouvez consulter la page <https://sites.google.com/site/nicolasgillis/coloramap>.



## Best Paper Award pour les travaux de doctorat de Jan Gmys

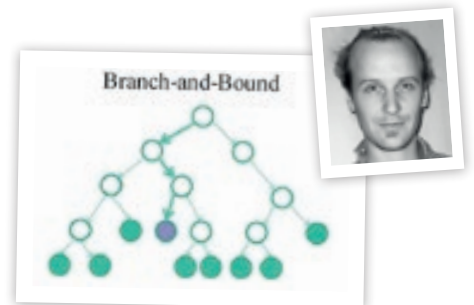
Lors de la conférence internationale « 11<sup>th</sup> International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics » (PPAM'2015 – Krakow, Pologne, du 6 au 9 septembre), un Best Paper Award a été attribué à Jan Gmys, Mohand Mezmaç, Nouredine Melab et Daniel Tuytens pour leur article intitulé « IVM-based Work Stealing for Parallel Branch-and-Bound on GPU ».

Le travail présenté rentre dans le cadre de la thèse de doctorat de Jan Gmys réalisée à l'Université de Mons (Service de Mathématique et Recherche opérationnelle - Promoteur : Professeur Daniel Tuytens) en cotutelle avec l'Université Lille 1 (Professeur Nouredine Melab).

Dans de nombreux domaines d'application, le décideur est confronté au problème de la recherche d'une

permutation optimale dans un ensemble d'éléments. Le Branch-and-Bound (B&B) est un des algorithmes les plus utilisés pour trouver cette permutation optimale. Cet algorithme, très gourmand en temps de calcul, explore un énorme arbre dont la structure est fortement irrégulière. De nos jours, le recours au co-processeur graphique GPU, composé de plusieurs milliers de cœurs de calcul, au lieu du processeur principal CPU, composé de quelques cœurs, est un des moyens utilisés pour paralléliser et donc accélérer les algorithmes. Cependant, le GPU est connu pour son architecture régulière adaptée davantage au calcul graphique dont les opérations de base sont fortement régulières. La contribution de ce papier est le développement d'une nouvelle structure de données, appelée IVM, pour faciliter la parallélisation et donc le déploiement de la structure irrégulière du

B&B sur l'architecture régulière du GPU. Durant la résolution, les cœurs du GPU utilisent la technique du « vol de travail (work stealing) » afin d'équilibrer la charge de travail entre les cœurs de calcul.



## NOS ÉTUDIANTS SE DISTINGUENT

### Prix « recherche et Développement » de la Société Royale Belge des Electriciens

Le « Prix Recherche et Développement 2015 », décerné par la Société Royale Belge des Electriciens, a récemment été octroyé à **Alexis Desmoort** en récompense du travail de fin d'études qu'il a effectué lors de l'année académique 2014-2015 au sein du service de Génie électrique (promoteurs : Prof. O. Deblecker et Dr Z. De Grève). Ce prix gratifie le meilleur mémoire de travail de fin d'études dans le domaine du Génie électrique à l'échelle de l'ensemble des universités belges.

Le travail récompensé aborde l'étude analytique, numérique et expérimentale du transfert d'énergie électrique sans fil et dans l'air. Cette thématique, de grande actualité, fait l'objet de nombreuses applications possibles, aussi bien dans le domaine des petites puissances (recharge de batteries de GSM, tablettes tactile, ...) que pour des applications à puissances plus élevées comme la recharge de batteries de véhicules électriques. L'objectif consistait à créer un laboratoire virtuel de modélisation

numérique de dispositifs de transfert, susceptible d'épargner le coût en temps et en argent lié à l'élaboration de prototypes expérimentaux. Un modèle analytique et un dispositif expérimental ont permis de valider l'outil. Les travaux entamés durant ce travail de fin d'études se poursuivent actuellement dans le cadre d'une thèse de doctorat dont le sujet est la « Modélisation et la réalisation de dispositifs flexibles de transfert de puissance sans fil par couplage inductif résonant ».

### THE SMARTEST TRAINBRAIN

☒ Clément Dutoit et Sébastien Mercier, étudiants en MA2 Mécanique

« The Smartest TrainBrain » est un concours lancé par des ingénieurs des Chemins de Fer. Ce concours met au défi des groupes de deux étudiants ingénieurs.

Le concours s'est déroulé en plusieurs parties. Tout d'abord, il fallait répondre à la question suivante : « Quelle quantité d'énergie utilise un train Desiro entre Bruxelles-Nord et l'aéroport national ? ». La question était accompagnée de données comme le schéma de la vitesse du train en fonction du temps, les propriétés du Desiro, ... (cfr [www.thesmartesttrainbrain.be](http://www.thesmartesttrainbrain.be)). Ayant été informés de ce concours par différents biais, nous avons décidé d'y tenter notre chance...

Les 20 meilleures réponses, c'est-à-dire les 20 équipes ayant la réponse la plus proche de la valeur attendue, ont été invitées à participer à la finale qui s'est tenue au nouveau musée Trainworld, le 7 décembre 2015.

Parmi celles-ci, il y avait 15 équipes issues de la Région flamande pour 5 équipes wallonnes.

Le jour de la finale, un nouveau défi nous a été lancé : « Create a railway timetable and its suitable main station ». Il s'agissait d'un problème où il fallait optimiser un réseau ferroviaire avec différents trajets et des priorités pour certains parcours. Après la résolution de ce défi, et avant l'annonce des résultats, nous avons eu la chance de visiter les différents ateliers de Schaerbeek en compagnie d'un ingénieur. Nous avons ainsi pu voir les installations de maintenance des trains (entretien et nettoyage des véhicules, reprofilage des roues...). Cela nous a permis de mieux cerner « les coulisses de la vie de tous les jours aux Chemins de fer ». Finalement, étant parmi les 6 finalistes sélectionnés, nous avons exposé notre solution à l'aide d'une



présentation PowerPoint. Nous avons terminé à la 4<sup>ème</sup> place sur 41 équipes initialement inscrites, ce qui nous a permis d'être récompensés par des prix vraiment très intéressants (GoPro, batterie externe, chargeur octopus Xoopar...).

Ce défi nous a montré que les tâches à réaliser aux Chemins de fer sont très diversifiées et, donc, qu'il existe une multitude de possibilités de carrière pour les ingénieurs. Enfin, cette aventure nous a permis d'enrichir notre réseau de contacts.

## Congrès SIM 2015 : Mons, carrefour européen de l'industrie minérale et du recyclage

☒ Dr Fanny Descamps, Prof. Philippe Ancia, Prof. Jean-Pierre Tshibangu, Service de Génie minier



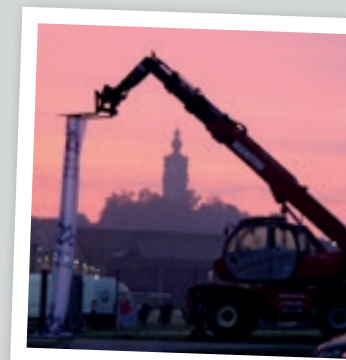
**En octobre dernier, Mons a accueilli le 64<sup>ème</sup> congrès de la Société de l'Industrie Minérale. 8000 m<sup>2</sup> d'exposition, 280 exposants, 3000 visiteurs, 500 congressistes : ce congrès-exposition est un événement majeur pour le secteur minier et carrier en Europe. Grâce à l'effervescence liée à Mons 2015, le congrès, habituellement organisé en France, s'est exceptionnellement déplacé en Belgique.**

Du 20 au 23 octobre 2015, le site de Mons-Expo est devenu le carrefour européen de l'industrie minérale et du recyclage. Les ateliers se sont succédés autour de l'exploitation et la valorisation des matières minérales : approvisionnement en minéraux et impératifs environnementaux, ressources régionales, abattage mécanisé, énergie en carrière, explosifs... Ces ateliers ont été complétés de visites qui ont mis en avant le potentiel du Hainaut dans ces domaines :

usine Caterpillar, bassin carrier du Tournaisis, Centre Terre et Pierre, centre de valorisation des déchets de Thumaide, carrières de porphyre et de pierre bleue, ascenseurs hydrauliques, Recymex, Sol & Val, Comet Traitements, Omya, MD verre.

En complément aux conférences et aux visites, l'exposition est un élément phare du congrès SIM. De nombreux secteurs d'activité y sont représentés : le chargement et le transport, le concassage et le broyage, le criblage, la manutention, la sécurité et l'environnement, la reconnaissance aérienne, les bureaux d'étude, ... mais aussi la formation. Ainsi, plusieurs universités étaient présentes (Lasalle Beauvais, Université d'Orléans) dont l'UMONS avec un stand qui a mis l'accent sur la formation dans le domaine des mines et carrières à la Faculté Polytechnique. Une belle opportunité de renforcer les liens avec les collègues français.

Le congrès a aussi été une occasion de préparer l'avenir en matière de formation. En effet, un forum a été organisé pour les jeunes du secondaire où plusieurs classes ont pu, sur une demi-journée, être sensibilisées à l'importance des matières premières minérales et visiter les carrières de la Pierre Bleue Belge à Neufvilles.



## Journée d'études dans le contexte de la Chaire ORES « Evolution vers les réseaux intelligents : opportunités, synergies et défis »

☒ Prof. François Vallée, Service de Génie électrique



La pénétration de plus en plus importante d'unités de production d'origine renouvelable au sein des réseaux de distribution est source de nombreux challenges techniques et économiques afin de continuer à assurer un fonctionnement de qualité de ces réseaux. Pour ce faire et, en vue de limiter au maximum les coûts de renforcement nécessaires, un déploiement à grande échelle de structures de télécommunications paraît incontournable afin, notamment, de mettre en œuvre de nouveaux modèles de marché dont le consommateur deviendrait un acteur majeur. Dans cette optique, des enjeux tels que la gestion de bases de données de taille conséquente mais également la mise en place de nouvelles stratégies de planification des investissements sont plus que jamais d'actualité.

Ainsi, dans le cadre de la Chaire ORES liant la FPMs au gestionnaire de réseau de distribution wallon, une journée d'études a eu lieu à la Faculté Polytechnique (Bd Dolez – Salle académique), le jeudi 19 novembre 2015. Cet événement a accueilli environ 130 participants venant de Belgique et de France. Ces derniers ont eu l'occasion d'entendre des orateurs issus des milieux académique, socio-économique et politique venus exposer leur vision des opportunités et défis, à échelle locale ou internationale, liés à l'avènement des réseaux électriques dits intelligents. Tout au long du colloque, les débats et échanges d'idées furent nombreux et favorisés par la tenue d'une table ronde (<http://hosting.umons.ac.be/aspnet/journeeores2015/video.aspx>) regroupant divers intervenants du secteur. En apothéose,

la journée fut conclue par la signature officielle d'un accord de collaboration entre ORES et ERDF dans le cadre, entre autres, du prochain déploiement à grande échelle de compteurs électriques intelligents sur le territoire wallon. Toute personne intéressée pourra accéder aux supports de présentation des divers orateurs via le lien suivant : <http://hosting.umons.ac.be/aspnet/journeeores2015/> Par ailleurs, toutes les informations relatives aux activités de la Chaire sont à retrouver à l'adresse : <http://hosting.umons.ac.be/aspnet/chaireores/index.aspx>





# 5<sup>e</sup> CONGRÈS INTERNATIONAL GEOLOGICA BELGICA 2016 À MONS

☒ Prof. Jean-Marc Baele, Nicolas Dupont, Prof. Pascal Goderniaux, Dr Michel Hennebert, Prof. Olivier Kaufmann,  
Service de Géologie fondamentale et appliquée

*Ouverture du 5<sup>ème</sup> Congrès International Geologica Belgica par Michiel Duser, président de Geologica Belgica. Le congrès s'est tenu du 26 au 29 janvier 2016 à la FPMs.*

*Keynote lecture de Jens Gutzmer (HZDR, Germany) lors du 5<sup>ème</sup> Congrès International Geologica Belgica, qui s'est tenu à la FPMs du 26 au 29 janvier 2016.*



Le Congrès international Geologica Belgica rassemble tous les trois ans les scientifiques du domaine des Sciences de la Terre. Cette année, la 5<sup>ème</sup> édition était organisée par le Service de Géologie Fondamentale et Appliquée de la FPMs, avec le soutien de deux organisateurs de l'édition précédente en 2012 à l'IRSCNB. L'événement s'est déroulé du 26 au 29 janvier 2016 sur le site de Houdain. Son thème, *Mother Earth*, encourageait la présentation de travaux liés à l'environnement, aux paléoclimats, aux ressources du sous-sol et à l'apparition et l'évolution de la vie sur Terre.

Plus de 170 participants ont été accueillis lors du congrès. Près de 120 communications orales et 75 posters ont été présentés dans 36 sessions thématiques différentes. Des sujets d'actualité ont été mis à l'honneur par l'intervention de savants internationaux concernant les problèmes de géologie de l'ingénieur dans les formations crayeuses (Rory Mortimore, UBrighton, UK), l'évolution

de la vie aux temps protérozoïques (Frances Westall, CBM-CNRS, France), les processus de terrestrialisation et de retour à la mer des vertébrés au cours de leur évolution (Alexandra Houssaye, MNHN, France), la problématique des gisements de manganèse (Jens Gutzmer, HZDR, Allemagne) et les modèles et mécanismes des changements climatiques pendant les quatre derniers millions d'années (Martin Melles, U-Köln, Allemagne).

La visite scientifique des carrières souterraines de craie phosphatée à Cuesmes, en collaboration avec l'ASBL La Malogne, a rencontré un vif succès en permettant notamment de faire découvrir notre patrimoine géologique et de susciter des collaborations futures. Des prix ont également été décernés lors du congrès. *La Médaille André Dumont*, la plus haute distinction scientifique belge en Géologie, a été remise à Frances Westall, et le Best Student Poster Award, est revenu à Antoine Triantafyllou, doctorant à l'Université de Mons.

## International Summer Courses of Engineering 2016

4 - 9 JULY

Faculty of Engineering  
Mons - Belgium

### Creative Programming

Convert your creative ideas into real-time interactive applications and games with a free software framework specially designed for prototyping and exploration.

### Geological Raw Materials

Understand today's challenges to meet environmental and societal constraints when mining mineral resources. Practice modern techniques in mining engineering and associated activities.

**Accommodation is included for each participant**, as is breakfast, lunch and dinner and cultural visits.

2 ECTS credits will be recognized for each course. The number of places is limited. Apply before 1<sup>st</sup> June 2016



[www.umons.ac.be/polytech/summercourses](http://www.umons.ac.be/polytech/summercourses)  
CONTACT : [summer.polytech@umons.ac.be](mailto:summer.polytech@umons.ac.be)

# PHOTO-REPORTAGES

## JOURNÉES DES ENTREPRISES 2016



## FÊTE FACULTAIRE - SAINTE BARBE 2015





# JOURNÉE PORTES OUVERTES 2016



# INGÉNIEUR CIVIL, CRÉATEUR D'AVENIR

UMONS  
Université de Mons



## DÉCOUVRIR

### ■ PORTES OUVERTES

À MONS

Samedi 23 avril de 9h00 à 12h30

Samedi 25 juin de 9h00 à 12h30

À CHARLEROI

Mercredi 18 mai de 14h00 à 18h00

### ■ STAGES POLYTECH-JEUNES

Stages pratiques de 2 à 3 jours sur  
des thématiques des sciences de l'Ingénieur

DURANT LES VACANCES DE PRINTEMPS

Du 5 au 7 avril 2016

## SE PRÉPARER

### à l'examen d'Admission

#### ■ SESSION DE JUILLET

Les mercredis 13/04, 20/04, 27/04, 4/05 et 11/05

#### ■ SESSION DE JUILLET

La semaine du 16/08

## S'INSCRIRE

### à l'examen d'Admission

#### ■ POUR LA 1<sup>ÈRE</sup> SESSION

Du 3/02 au 25/06

#### ■ POUR LA 2<sup>ÈME</sup> SESSION

Du 12/07 au 19/08



INFOS VIA



Infos au Secrétariat des Études

+32(0)65 37 40 30 à 33 | [info.polytech@umons.ac.be](mailto:info.polytech@umons.ac.be) | [www.umons.ac.be/polytech](http://www.umons.ac.be/polytech)