

Etude de la conception d'un système d'aide à la conduite de trains lors du dysfonctionnement du système de signalisation ERTMS

Sabrine DHAHBI¹, Saïd HAYAT¹, Abdeljalil ABBAS TURKI² et Abdallah El MOUDNI²

¹ INRETS, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
ESTAS, Laboratoire Évaluation des Systèmes de Transports Automatisés et de leur Sécurité
20, rue Elisée Reclus, BP : 317, F-59666 VILLENEUVE d'ASCQ Cedex France.
Phone : (+33) (0) 3 20 43 83 11 E-mail : said.hayat@inrets.fr, sabrine.dhahbi@inrets.fr

² UTBM, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
SeT, Laboratoire Systèmes et Transports – Site de Belfort, 90010 BELFORT Cedex France.
Phone : (+33) (0) 3 84 58 33 45 E-mails : abdeljalil.abbas-turki@utbm.fr, abdellah.elmoudni@utbm.fr

Résumé

Les travaux présentés dans cet article concernent l'assistance des conducteurs de trains lors des dysfonctionnements du système de signalisation ERTMS. Dans ce cas le conducteur ne peut qu'effectuer un arrêt d'urgence du train ou poursuivre la marche du train en admettant une conduite à vue. Ce qui nous ramène à poser la question suivante : Que doit-on faire en cas de dysfonctionnement du système de signalisation ERTMS/ETCS ? Nous essayons de répondre à cette question. La solution que nous proposons est de réaliser un nouveau système d'aide à la conduite. Ce dernier aidera le conducteur à continuer la marche du train tout en garantissant l'optimisation et la sécurité du trafic ferroviaire. Cet article borne notre champ d'action et identifie les étapes à réaliser pour arriver à la conception du système d'aide à la conduite souhaité. En effet, les étapes à suivre commencent par la mise en œuvre de la modélisation d'un corridor du réseau ferroviaire, suivi de la conception fonctionnelle et architecturale du nouveau système. Puis, la simulation des différents scénarios envisageables pour la réalisation des tests indispensables pour la validation du nouveau module.

Abstract

The research work presented in this paper deals with the assistance of train drivers in case of the signaling system ERTMS dysfunction. In this situation the train driver could use an emergency train stop. Or he must decrease the train speed to its limit, which is 30 km/h. Then the question is: What do we could do when the signaling system ERTMS is broken down? We try here to answer to this question. The solution that we propose is to carry out a new system to help the driver. This system must help the driver to continue his task with guaranty of the optimization and the railway traffic safety. This paper shows our application field and gives an idea of the steps to achieve this new system. In fact, the steps are the modeling of railway line, the conception of the system architecture and the simulation of different scenarios for the new system validation.

1. Introduction

L'interopérabilité dans le domaine ferroviaire désigne la possibilité de faire circuler sans entrave des trains sur des réseaux ferroviaires différents, notamment des réseaux situés dans des États différents [Wiki01].

Du fait de l'évolution historique du système ferroviaire, notamment sur le plan technique, les frontières nationales sont souvent des obstacles infranchissables, particulièrement pour le matériel roulant, imposant par exemple des changements de locomotives dans les gares frontières. Le cas du Danemark illustre bien cette évolution. Alors que les pays voisins (Allemagne, Suède, Norvège) avaient choisi dès le début du Xxe siècle d'électrifier leurs réseaux en courant alternatif 15 kV 16 2/3 Hz, le réseau danois continuait son exploitation en traction thermique (d'abord vapeur

puis diesel). Passant à l'électrification plus tardivement, il choisit une solution plus moderne, le courant industriel 25 kV, 50 Hz.

Cette situation concerne particulièrement l'Europe, du fait du morcellement politique de ce continent. L'union européenne s'est souciée depuis de nombreuses années d'améliorer l'interopérabilité ferroviaire afin de faciliter la création d'un grand marché du transport ferroviaire dans lequel la concurrence puisse s'exercer librement. Notre étude a pour objectif d'assister les conducteurs des trains lors du passage d'un mode normal de conduite à un mode dégradé. D'après [Déc860] il existe dans les pays de l'union européenne vingt trois systèmes de signalisation différents (Figure 1). Dans le but de garantir une circulation sûre et sans rupture des trains grande vitesse au niveau européen et conforté par la directive 96/48/CE du conseil du 23 juillet 1996 relative à l'interopérabilité du système

ferroviaire transeuropéen à grande vitesse [Dir96], est née la volonté d'unifier ces systèmes, d'où la mise en œuvre du système de signalisation ERTMS/ETCS acronyme pour European Rail Traffic Management System/European Train Control System.

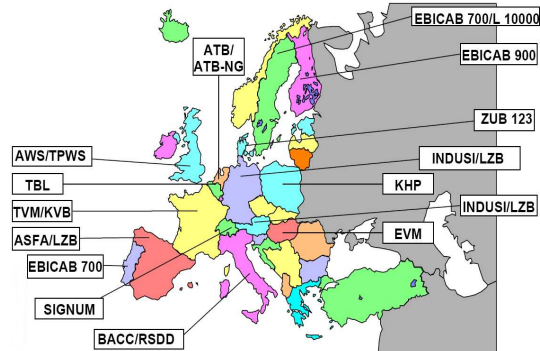


FIG. 1 : Les systèmes de signalisation européens [Déc860]

Plusieurs lignes à grande vitesse ont été équipées par le système de signalisation ERTMS/ETCS au niveau européen. On cite la ligne « Mattstetten-Rothrist » en Suisse, la ligne « Est européenne » en France et bien d'autres lignes réparties dans différents pays de l'union européenne. Ce nouveau concept européen (ERTMS/ETCS) a pour but de diminuer les coûts de fonctionnement et améliorer l'efficacité du système ferroviaire. Mais que doit faire le conducteur du train quand ce système tombe en panne ou quand il ne reçoit pas momentanément les données indispensables à la conduite ? Nous allons répondre à cette question dans le deuxième paragraphe. Suivi d'une description au troisième paragraphe du système européen de contrôle des trains ETCS, y compris le système latéral de signalisation et le poste de contrôle, plus spécialement la console ERTMS/ETCS, ses composantes et son rôle dans la régulation du trafic ferroviaire. Puis, nous allons expliquer dans le quatrième paragraphe les trois niveaux du système de signalisation ERTMS/ETCS. Dans le cinquième paragraphe nous nous intéresserons à une classification des différents incidents et accidents qui peuvent surgir lors de la marche du train. Avant de conclure nous expliquerons en détail les étapes qui permettent d'arriver à la réalisation du système d'aide à la conduite.

2. Objectif de l'étude

Comme nous l'avons mentionné au paragraphe ci-dessus, la réponse à la question posée constitue l'objectif de nos travaux de recherche. En effet, en cas de passage du mode de fonctionnement normal au mode dégradé du système ERTMS/ETCS, le conducteur du train a besoin d'aide afin d'éviter le freinage d'urgence ou une conduite à vue. Il est fortement souhaitable de l'assister à l'aide d'un

nouveau module d'aide à la conduite qui pourrait jouer le rôle d'un relais en attendant la reprise du mode normal de fonctionnement. Nous pouvons citer le cas le plus probable du changement de modes de fonctionnement : Le conducteur peut, par exemple, perdre la communication avec le poste de contrôle (RBC). Dans ce cas de dysfonctionnement le nouveau module d'aide à la conduite pourra se substituer au système de signalisation ERTMS/ETCS. Ainsi, nous proposons de mettre en place ce nouveau module qui permettra au conducteur de pallier aux problèmes du mode dégradé en réduisant au maximum son impact. Cela doit être effectué tout en optimisant le trafic ferroviaire et en garantissant la sécurité des voyageurs.

Afin d'expliquer le système de signalisation ERTMS/ETCS nous allons introduire brièvement ses différents composants et ses différents niveaux dans les paragraphes suivants.

3. Description du système de contrôle des trains ETCS [Sub026-3-08] [Mt.Dt]

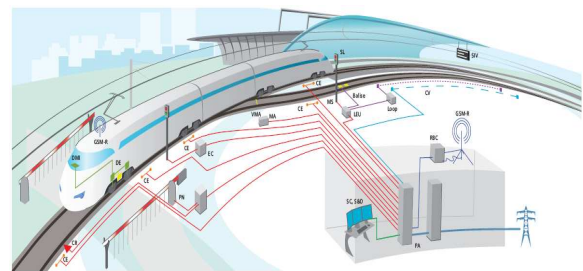


FIG. 2 : Zone du corridor muni du système de signalisation ERTMS/ETCS [TFSTS-2006]

En raison de la nature des fonctions exigées, le système ERTMS/ETCS est en partie sur l'infrastructure et en partie à bord des trains, comme le montre la figure ci-dessous (Figure 3).

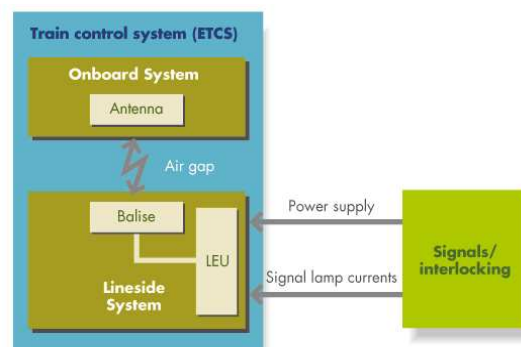


FIG. 3 : Les sous-systèmes du système européen de contrôle des trains (ETCS) [Mt.Dt]

3.1. Système latéral de signalisation : Lineside system

Les automatismes ferroviaires garantissent le bon fonctionnement du service ferroviaire et contribuent largement à la sécurité et à la rentabilité de l'ensemble des transports ferroviaires. L'environnement du système de signalisation ERTMS/ETCS est composé de deux sous-systèmes. On traitera dans ce paragraphe le sous système lié à l'infrastructure (Figure 4),

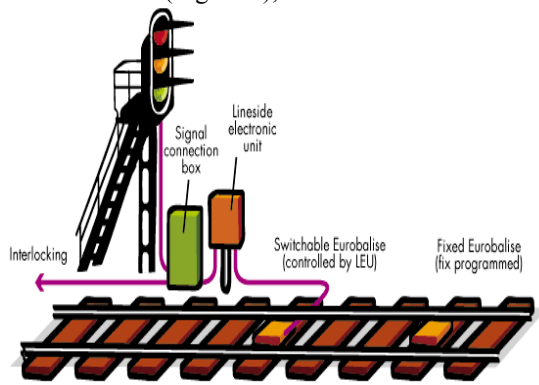


FIG. 4 : Lineside sub-system [Mt.Dt]

dont on citera la partie liée au :

▪ Technique de postes d'aiguillage

- PA : Poste d'aiguillage

Le poste d'aiguillage sert à la régulation du service et des manœuvres.

- EC : Elément de commande

Ce module décentralisé du poste d'aiguillage électronique commande les signaux et les composants du système de contrôle de la marche des trains.

▪ Systèmes de conduite

- SC : Systèmes de conduite

La commande et l'affichage des systèmes de sécurité ferroviaire, ainsi que l'automatisation du service sont effectués au niveau des systèmes de conduite.

- S&D : Service et diagnostic

Ce système détecte les messages de dérangement provenant des sous-systèmes de l'installation de sécurité et assiste le personnel de maintenance pour effectuer le dépannage.

- SIV : Système d'information des voyageurs

Ce système permet de donner aux voyageurs présents sur les quais des informations sur les heures de départ, les retards et les changements. La commande est effectuée par les systèmes de conduite.

▪ Contrôle de la marche des trains

- Balise

La balise est un dispositif de transmission qui peut envoyer des télégrammes au sous-système à bord.

- **GSM-R** : Global System for Mobile Communication–Railway est un sous-système de la norme ERTMS. C'est une solution de radiocommunication sur les lignes à grande vitesse, qui sert à la communication sur la voie.

- **LEU** (Lineside Electronic Unit) : l'unité électronique de signalisation latérale

Le LEU détecte l'état de la signalisation latérale courante, traite l'aspect correspondant au signal, sélectionne un télégramme codé prédéfini et transmet son code en permanence à la balise.

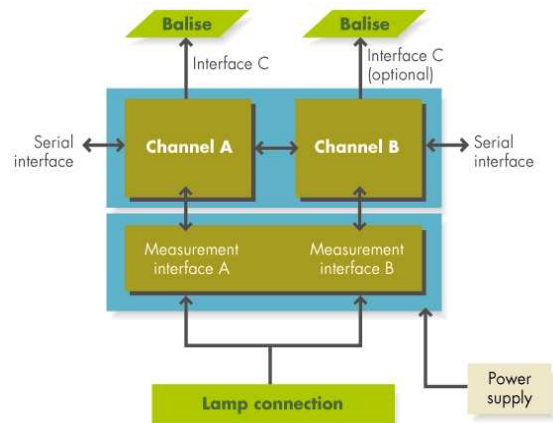


FIG. 5 : Les composantes du LEU [Mt.Dt]

- Loop

Les signaux sont envoyés en permanence au véhicule sur la longueur du câble Loop. Cela permet la réévaluation en temps réel des signaux entre les signaux avancés et les signaux principaux et déclenche l'empêchement du départ.

- RBC : Radio Block Centre

Le RBC traite les messages entre les postes d'aiguillage et les véhicules sur les lignes équipées de signalisation en cabine dans le cadre du système ETCS. Ensuite, le RBC délivre des informations de signalisation et d'autorisation de mouvement avec un très haut niveau de disponibilité et de sécurité grâce à un ordinateur.

▪ Contrôle d'occupation de voies

- CE : Compteur d'essieux

Le compteur d'essieux détecte l'occupation d'une section de voie en comptant et en décomptant les essieux au passage du train.

- CR : Contact de rail

Le contact de rail est actionné au passage d'un train et peut être utilisé comme déclencheur d'événements, par exemple l'ouverture d'une barrière.

- CV : Circuit de voie

Le circuit de voie détecte si les deux rails sont reliés électriquement par l'essieu d'un véhicule en circulation et signale l'occupation de la section de voie au poste d'aiguillage.

- **Système d'aiguille**

- **MA** : Moteur d'aiguille

Le moteur d'aiguille règle la direction d'une aiguille en plaçant la lame dans la position de fin de course souhaitée.

- **VMA** : Verrouillage d'aiguilles

Le verrouillage des manettes d'aiguille verrouille l'aiguille dans la position de fin de course et assure que l'aiguille puisse être franchie en toute sécurité.

- **Passage à niveau**

- **PN** : Passage à niveau

Les barrières, les signaux clignotants et les signaux sonores d'avertissement sécurisent la circulation routière et la circulation des personnes aux passages à niveau.

- **Signalisation**

- **MS** : Mât de signal

Le mât de signal assure la fixation stable des signaux.

- **SL** : Signal lumineux

Le signal lumineux transmet au conducteur la vitesse maximale autorisée au moyen de différentes combinaisons de couleurs et de symboles.

3.2. Sous-système à bord [P.M.S]

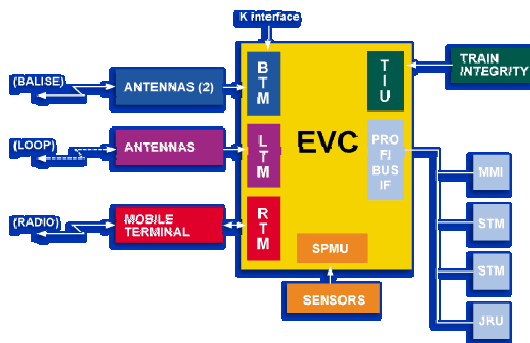


FIG. 6 : Configuration du sous-système embarqué [L.ERTMS]

Le cœur du système de signalisation ERTMS/ETCS à bord du train est l'ordinateur de bord, appelé **EVC** (European Vital Computer). Celui-ci est interfacé avec les équipements suivants (illustrés sur la figure 6) :

- L'interface homme-machine **MMI** (Man-Machine Interface), permet de dialoguer avec le conducteur.
- Les euro-antennes, permettent de lire les messages contenus dans les balises et boucles au sol, via l'interface **BTM** (Balise Transmission Module) et **LTM** (Loop Transmission Module) ;
- Les capteurs d'odométrie, permettent de déterminer la position du train servant au calcul des courbes de vitesse ;

- L'antenne **GSM-R**, permet de communiquer en niveau 2 ou 3 avec le centre de contrôle **RBC** (Décrit ci-dessous), via l'interface **RTM** (Radio Transmission Module) ;
- Les composants du train (pantographes, freins, portes, ...) via le module **TIU** (Train Interface Unit)...

Le dispositif embarqué du contrôle de la marche des trains (**EVC**) veille, en tenant compte des informations de la ligne actuelle, à ce que le véhicule circule à tout moment en zone sécurisée. En outre, il surveille les courbes de vitesse et de freinage.

Les principales fonctions de l'**EVC** sont :

- Calcul du profil dynamique de la vitesse, tenant compte des caractéristiques du train roulant, qui sont connus à bord du train.
- Comparaison entre la vitesse du train actuelle et la vitesse permise et applications de l'arrêt d'urgence si nécessaire.
- Sélection de la plus restrictive valeur des différentes vitesses autorisées, à chaque emplacement en avant.
- Envoie des informations pour être affichées au conducteur.
- Envoie à l'**RBC** la position du train, relative à la balise détectée.

Il accomplit les fonctions citées ci-dessus, sur la base de :

- Les informations de signalisation reçues à partir de l'**RBC** via le réseau **GSM-R** (niveau 2 ou 3) ou via les balises (niveau 1).
- La vitesse et la localisation du train, calculée par lui-même en utilisant le signal reçu des détecteurs basés sur le principe d'odométrie.
- Les informations entrées par le conducteur.
- Les données stockées par l'**EVC** lui-même ou reçues d'un dispositif externe.

L'affichage en cabine des informations au conducteur se fait via le **MMI** (Man-Machine Interface), regroupant tous les boutons et voyants liés à la signalisation ERTMS. La présentation des informations est également normée, de façon à ce que l'affichage soit identique, quel que soit le fournisseur du système de bord ERTMS.

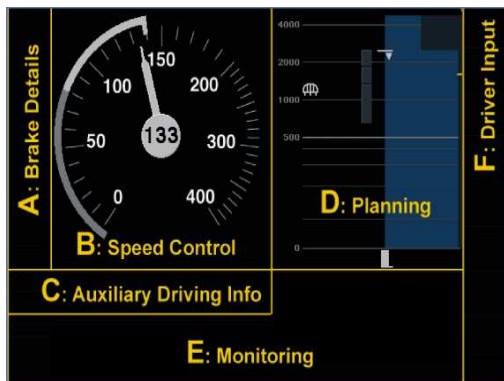


FIG. 7 : DMI pour l'Alcatel 6413 AlTrac [Mt.Dt]

La DMI (Driver Machine Interface) (Figure 7) représente l'interface entre l'équipement ERTMS/ETCS à bord et le conducteur. Cet écran tactile se trouve dans la cabine de conduite. Il est utilisé par le conducteur pour entrer des données vers l'équipement à bord et d'en recevoir d'autres données [Sub033-2-00].

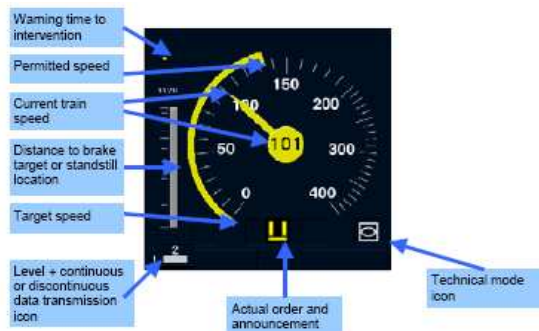


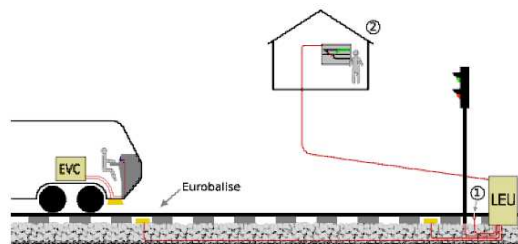
FIG. 8 : Différentes fonctions de la console ERTMS

Après avoir expliqué l'interface de conduite, nous allons présenter dans le paragraphe suivant les différents niveaux du système de signalisation ERTMS/ETCS.

4. Présentation des niveaux du système ERTMS/ETCS

Le nouveau standard de signalisation et de régulation de trafic ferroviaire adopté aujourd'hui en Europe se présente sous trois versions possibles. Celles-ci sont nommées les trois niveaux I, II et III [Dir96], [Déc679], [SH.MK], [Sub026-3-08] et [CFF], ci-dessous nous donnons leurs explications :

4.1. Niveau 1



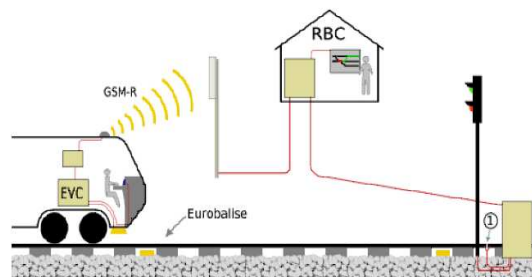
EVC = European Vital Computer (l'ordinateur embarqué)
LEU = Lineside Electronics Unit (la commande de la (des) balise(s))
(1) = Circuit de voie (ou autre moyen de détection des trains au sol)
(2) = Cabine de signalisation

FIG. 9 : Niveau 1 du système de signalisation ERTMS/ETCS [Wiki02]

Le système à bord (EVC : European Vital Computer) reçoit l'information nécessaire au moyen des unités électroniques latérales (LEU : Lineside Electronics Unit). Celles-ci reçoivent les données du poste de commande et de contrôle et les transmettent au calculateur embarqué via des balises (figure 9).

Les informations nécessaires à la conduite du train, comme sa vitesse limite..., sont affichées sur le tableau de bord. Les autorisations de circuler sont basées sur le principe de mouvement des trains du canton fixe, c'est-à-dire qu'elles ne sont données que lorsque les cantons sont libres.

4.2. Niveau 2



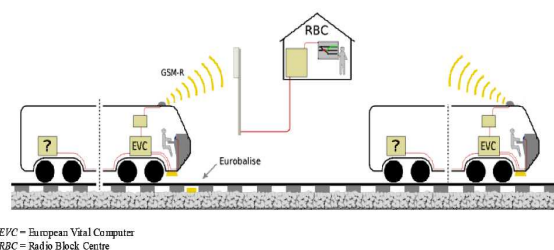
EVC = European Vital Computer (l'ordinateur embarqué)
RBC = Radio Block Centre (la cabine de signalisation informatisée)
(1) = Circuit de voie (ou autre moyen de détection des trains au sol)

FIG. 10 : Niveau 2 du système de signalisation ERTMS/ETCS [Wiki02]

Le niveau 2 (figure 10) est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire numérique qui repose sur la radiocommunication numérique. L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés dans la cabine du conducteur. Les installations de signalisation extérieures deviennent donc superflues, à l'exception de quelques indicateurs. Les dispositifs de contrôle de l'état libre des voies et de contrôle de l'intégrité du train restent cependant déployés au sol. Tous les trains signalent automatiquement, à intervalles réguliers, leur position précise et leur sens de marche au poste central (Radio Block Centre RBC), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

L'autorisation de circuler est transmise en permanence au véhicule via GSM-R, avec les données concernant la vitesse et le parcours. Les Eurobalises font dorénavant office de balises de localisation passives, à l'instar de «bornes kilométriques électroniques». Entre deux balises de localisation, le train signale sa position par l'intermédiaire de capteurs (capteurs d'essieux, accéléromètre et radar). Les balises de localisation servent alors de points de référence permettant la correction d'éventuelles erreurs de mesure du parcours. L'information reçue par radio et par les Eurobalises est traitée à bord, puis présentée au conducteur. L'ordinateur embarqué contrôle en permanence les données transmises et la vitesse maximum autorisée.

4.3. Niveau 3



EVC = European Vital Computer
RBC = Radio Block Centre

FIG. 11 : Niveau 3 du système de signalisation ERTMS/ETCS [Wiki02]

Le niveau 3 (Figure 11) est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire qui permet de contrôler efficacement l'espacement des trains par le biais de signaux radio. Les dispositifs fixes de contrôle de l'état libre de la voie deviennent donc inutiles. Comme dans le niveau 2 de l'ETCS, les trains se repèrent de manière autonome à l'aide de balises de localisation et de capteurs (capteurs d'essieux, accéléromètre et radar), et doivent être en mesure de constater, via des systèmes embarqués, l'intégrité du train avec un niveau de sécurité maximum. La transmission du message de localisation au poste central permet de constater à tout moment quel est le point du parcours que le train vient de dépasser. Une autorisation de circuler peut alors être accordée au train suivant jusqu'à ce point. La libération de la voie de circulation ne s'effectue donc plus par cantons fixes. Le niveau 3 de l'ETCS, met un point final à la circulation classique par espacements fixes. Si la libération de la voie de circulation peut être assurée de façon continue et que la localisation est effectuée à intervalles suffisamment courts, l'espacement entre les trains sera proche de la distance de sécurité absolue (Moving Block). Le niveau 3 est en cours de développement.

Dans tous les niveaux, un ordinateur à bord du train, l'Eurocab, compare la vitesse du train avec la

vitesse maximale permise et freine automatiquement le train en cas de dépassement. La vitesse maximale est présentée au conducteur au moyen d'un tableau d'affichage graphique installé dans la cabine. Il s'agit de la console ERTMS/ETCS du poste de conduite.

Dans ce qui suit nous allons étudier les incidents qui peuvent toucher le trafic ferroviaire. Plus précisément, les dysfonctionnements du système de signalisation ERTMS/ETCS.

5. Dysfonctionnements du système de signalisation ERTMS/ETCS

Afin de cerner notre champ d'application, il est judicieux de lister les types d'incidents pertinents qui ont un impact sur le trafic ferroviaire.

Les incidents qui ont touché les réseaux de transport ferroviaires sont dus à plusieurs facteurs tel que la vigilance du conducteur, la sûreté du matériel, les catastrophes naturelles... etc.

Les risques d'incidents ou d'accidents peuvent être de différentes natures, par exemple :

- Risques liés à la circulation des trains ;
- Risques liés à l'état du matériel roulant ;
- Risques liés à l'état de l'infrastructure ;
- Risques liés à une erreur humaine ;
- Risques liés à des éléments extérieurs.

D'après [F.Gu] une classification sur une échelle à plusieurs niveaux permet d'évaluer et d'estimer les conséquences des accidents potentiels. D'après [En50126], le tableau 1 présente une description des niveaux types de gravité des accidents potentiels ainsi que les conséquences liées à chaque niveau de gravité. Afin d'éviter de mauvaises interprétations des termes qualitatifs, certains industriels ou exploitants utilisent des numéros pour les différents niveaux de gravité (de 1 à 4 par ordre de gravité croissante, 4 = catastrophique).

TAB. 1 : Niveau de gravité des situations dangereuses

Niveau de gravité	Conséquence pour les personnes ou l'environnement	Conséquence pour le service
Catastrophique	Des morts et/ou plusieurs personnes gravement blessées et/ou des dommages majeurs pour l'environnement	
Critique	Un mort et/ou une personne grièvement blessée et/ou des dommages grave pour l'environnement	Perte d'un système important
Marginal	Blessures légères et/ou menace grave pour l'environnement	Domages graves pour un (ou plusieurs) système(s)
Insignifiant	Eventuellement une personne légèrement blessée	Domages mineurs pour un système

Nous avons adapté ce référentiel à notre étude comme le montre la figure 12. Pour cela nous considérons la liste suivante d'incidents [Gu] [Jac.V] [R.Can] :

1. Déraillement (par excès de vitesse, problème mécanique...);
2. Collision (nez à nez, rattrapage, La prise en écharpe et Collision avec un obstacle);
3. Déclenchement d'un feu (Incendie);
4. Fractionnement involontaire d'un train ou rupture d'attelage;
5. Perte d'éclairage intérieur du train (en souterrain);
6. Explosion;
7. Effondrement d'ouvrage;
8. Séisme, glissement ou tassement de terrain;
9. Perte d'image sur le tableau de bord;
10. Panne du système de signalisation...

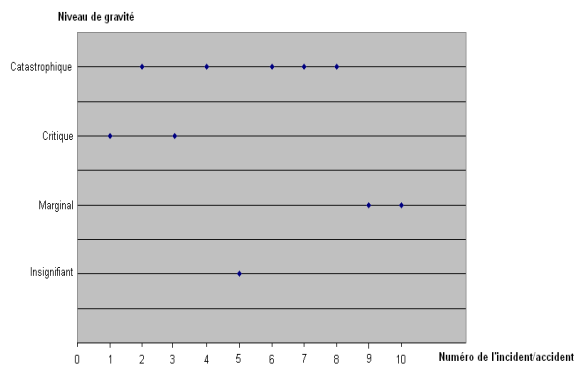


FIG. 12 : Niveaux de gravité des incidents

Notre cas d'étude concerne seulement les deux niveaux de gravité 1 et 2. Plus précisément, le cas de dysfonctionnement du système de signalisation ERTMS/ETCS. Ainsi, il est nécessaire de distinguer les pannes de signalisation affectant la conduite des trains. Nous pouvons citer les cas suivants :

- Défaillance du système de localisation des trains (balises : niveaux 1 et 2), à savoir par exemple, la perte de transmission des données au calculateur embarqué, ce qui induit la perte des indications des vitesses limites sur le tableau de conduite ;
- Interruption de la communication entre train et poste de contrôle, son impacte a les mêmes effets que le cas précédent ;
- Perte ou non-visibilité des informations sur le tableau de bord pour le conducteur.

Pour la réalisation du système d'aide à la conduite, on propose de classer les incidents qui peuvent surgir au cours de la marche du train, en deux types :

- Incidents internes : ceux liées à une composante du système de signalisation ERTMS/ETCS et qui ont un impacte sur le poste de conduite.

- Incidents externes : tous ceux qui ne sont pas liées aux composantes du système de signalisation ERTMS/ETCS.

Cette brève notion sur les niveaux de gravités des incidents ferroviaires nous a permis de cerner notre domaine d'action. Nous allons décrire dans le paragraphe suivant les étapes qui nous permettront d'arriver à la réalisation de notre nouveau module.

6. Vers la réalisation du système d'aide à la conduite

Actuellement le système de signalisation ERTMS/ETCS équipe différents corridors de réseaux ferroviaires européens. Il existe un risque de dysfonctionnement du système de signalisation ERTMS/ETCS. Dans ce cas le conducteur de train a besoin d'être assisté afin d'éviter la marche à vue ou le déclenchement de l'arrêt d'urgence. Notre contribution est de proposer au conducteur dans cette situation un module d'aide à la conduite en attendant la reprise normale du système.

6.1. Modélisation d'un corridor ferroviaire

La modélisation des corridors du réseau ferré est nécessaire pour l'étude des différents scénarios possibles liés aux positions où les dysfonctionnements peuvent arriver. Les procédures des solutions envisageables diffèrent lorsque l'incident arrive près d'un poste d'aiguillage, à l'entrée d'une gare, près d'une courbe, selon la configuration du trafic etc... Nous devons tenir en compte dans notre modèle des différentes composantes de l'infrastructure, du matériel roulant ainsi que celles du système de signalisation ERTMS/ETCS permettant le transfert de message depuis le poste de contrôle (RBC) vers le poste de conduite (DMI).

Pour la réalisation de cette modélisation, nous comptons utiliser des réseaux de Pétri Prédicats-Transition et les systèmes d'inférences. Pour pouvoir tester le modèle obtenu nous mettrons en place différents scénarios de marche des trains, et nous simulerons à chaque fois la présence d'une faille au niveau du système de signalisation.

Nous proposons, dans un premier temps de faire la modélisation d'un réseau ferré équipé du deuxième niveau du système de signalisation ERTMS. Ce réseau inclus les composantes du système de signalisation et de matériel roulant. Nous considérons comme matériel roulant, le train étudié, le train suivant et le train précédent. Plus les cas des aiguillages pour les bifurcations éventuelles.

6.2. Méthode de calcul des données en mode dégradé

En cas de dysfonctionnement du système de signalisation ERTMS/ETCS le conducteur est contraint de prendre une décision. Cette dernière ne

doit pas nuire, ni à la sécurité des voyageurs, ni à l'optimisation du trafic ferroviaire.

Afin de garantir un comportement en mode dégradé qui se rapproche le plus possible à celui en mode normal, nous proposons d'introduire au sein de la MMI un module supplémentaire. Ce dernier remplacera la console ERTMS/ETCS en cas de dysfonctionnement du système de signalisation ERTMS. Ce module affichera la vitesse maximale avec laquelle le train doit circuler et la distance d'arrêt.

L'effort actuel est canalisé sur la méthodologie nouvelle de conception de ce nouveau système de conduite. Les travaux de recherche en cours essayent de trouver les solutions adéquates. En effet, regardons la complexité du problème posé à travers un exemple qui paraît très simple. Prenons par exemple le cas de perte de transmission des informations voie/machine. L'impact dans ce cas sur la DMI se manifeste par la perte des indications des vitesses maximales, cibles et de la distance cible. Le nouveau module d'aide à la conduite doit indiquer les nouvelles données en mode dégradé de fonctionnement. La question qui se pose et qui est au cœur de cette problématique est comment ont été calculées toutes ces nouvelles données de rechange en mode dégradé ?

La réponse à cette dernière question, peut être appréhendée selon différentes hypothèses. Ce sont ces hypothèses qui déterminent la robustesse des solutions trouvées. Une fois celles-ci définies nous pourrions estimer la position et les cantons libres, les deux données indispensables pour le calcul du profil de la nouvelle vitesse en mode dégradé.

L'étape qui va suivre la réalisation du système est la simulation pour la validation de ce module d'aide à la conduite.

6.3. Simulation

Pour la validation du système d'aide à la conduite, nous testerons le modèle obtenu à l'aide de la plateforme d'ERSA (European Rail Software Applications) de simulation du système de signalisation ferroviaire ERTMS. Il s'agit d'un simulateur temps réel du trafic ferroviaire muni du système de signalisation ERTMS/ETCS. Ce simulateur inclus :

- De multiples trains ;
- Interlocking simulation : Simulation du système latéral de voie ;
- Carte d'acheminement ;
- Simulation de l'RBC ;
- Le principe de régulation du trafic.

Le Traffic Evaluation Tools permet d'analyser en temps réel des données cueillies pendant la simulation.

7. Conclusion

Les travaux présentés dans cet article concernent l'assistance des conducteurs de trains lors des dysfonctionnements du système de signalisation ERTMS. Le déploiement de ce nouveau système européen de contrôle des trains ETCS, commence à se répondre au niveau des pays de l'union européenne. Plusieurs industriels se concurrencent dans ce domaine pour garantir un meilleur fonctionnement de ce système de signalisation ERTMS/ETCS.

En cas de dysfonctionnement de ce système de signalisation le conducteur ne peut qu'effectuer un arrêt d'urgence du train ou poursuivre la marche du train en admettant une conduite à vue. Ce qui nous ramène à poser la question suivante : Que doit-on faire en cas de dysfonctionnement du système de signalisation ERTMS/ETCS ?

Dans cet article nous avons répondu à cette question. La solution que nous avons proposée est de réaliser un système d'aide à la conduite. Ce dernier aidera le conducteur à continuer la marche du train tout en garantissant l'optimisation et la sécurité du trafic ferroviaire.

Cet article borne notre champ d'action et identifie les étapes à réaliser pour arriver à la conception du système d'aide à la conduite souhaité. En effet, les étapes à suivre commencent par la mise en œuvre de la modélisation d'un corridor du réseau ferroviaire, suivi de la conception fonctionnelle et architecturale du nouveau système. Puis, la simulation des différents scénarios envisageables pour la réalisation des tests indispensables pour la validation du nouveau module.

Références

[Alice.P] Alice Pouyat, *Les plus graves accidents ferroviaires en France et dans le monde*. Article de l'Express.fr sur internet du 11 Octobre 2006.

[CFF] Le site Internet de la CFF (Chemin de Fer Fédéraux). <http://www.sbb.ch/fr/>.

[Déc679] Décision (2006/679/CE) de la Commission du 28 mars 2006 relative à la spécification technique d'interopérabilité concernant le sous-système contrôle-commande et signalisation du système ferroviaire transeuropéen conventionne. *Journal Officiel de l'Union Européenne*, n° L 284 du 16/10/2006.

[Déc860] Décision (2006/860/CE) de la Commission du 7 novembre 2006 concernant une spécification technique d'interopérabilité relative au sous-système contrôle-commande et signalisation du système ferroviaire transeuropéen à grande

vitesse. *Journal Officiel de l'Union Européenne*, n° L 342 du 7/12/2006.

[Dir96] Directive 96/48/CE du conseil du 23 juillet 1996 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse. *Parlement et conseil Européens, Journal Officiel de l'Union Européenne*, n° L 235 du 17/09/1996.

[Dir01] Directive 2001/16/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 mars 2001 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen conventionnel. *Journal officiel de l'Union européenne*, n° L 110 du 20/04/2001.

[Dir04] Directive 2004/50/CE modifiant la directive 96/48/CE du conseil relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse et la directive 2001/16/CE du parlement européen et du Conseil du 19 mars 2001 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen conventionnel. *Journal officiel de l'Union européenne*, n° L 164 du 30 avril 2004)

[En50126] EN 50126 : « Applications ferroviaires – Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS) ». CENELEC. Septembre 1999.

[F.Gu] Fateh GUENAB, Jean-louis BOULANGER, Walter SCHON. *Sécurité des systèmes de contrôle-commande et signalisation ferroviaire: nouvelle approche d'analyse préliminaire des risques*. 5ème Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Bucarest, Roumanie, 2008.

[Gu] *Guide d'intervention en milieu ferroviaire sur le réseau ferré national*. Ministère de la justice. Février 2008.

[Jac.V] Jacques VALANCOGNE. *Le réseau ferré RATP*. GT AFPCN - IMdR 19 juin 2008.

[L.ERTMS] Site officiel du système de signalisation ERTMS. <http://www.ertms.com/>.

[MC,2005] Michael Cramer. *Déploiement du système européen de signalisation ferroviaire ERTMS/ETCS*. Parlement européen - Commission des transports et du tourisme. 19/12/2005.

[Mt.Dt] Martin Pottendorfer, Dietrich Rhein. *First Commercial Application of ERTMS/ETCS Level 1*. Site internet Alcatel-Lucent, <http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/articlepaperlibrary/html/>.

[P.M.S] ERTMS : Puliatti Giovanni, Maccaferri Stefano, Scatà Marcello. *Experimental results on test track Italy*. Site Internet :

http://www.gsmworld.it/gsmr/ertms_wcrr_2001.pdf

[R.Can] Rapport d'enquête ferroviaire R01W0007. *Déraillement du train 308-001 du chemin de fer canadien pacifique au point milliaire 94,6 de la subdivision Nipigon près de Bowker (ONTARIO), le 8 janvier 2001*. Bureau de la sécurité des transports du Canada.

[SH.MK] Saïd HAYAT et El Miloudi El Koursi, *Système européen de gestion et de commande du trafic ferroviaire : ERTMS, European Rail Traffic Management System*. Chapitre du Rapport Route Automatisée, Poids Lourds : RAPL. INRETS – ESTAS, Janvier 2004.

[Sub026-3-08] ERTMS/ETCS – ERA, UNISIG, EEIG ERTMS USERS GROUP : "System Requirements Specification", Subset-026, issue 3.0.0 (23/12/2008).

[Sub033-2-00] ERTMS/ETCS Class 1 : "FIS for the Man-Machine Interface", Subset-033, Issue 2.0.0. (30 mars 2000).

[Sub036-2.2.1] ERTMS/ETCS Class 1 : "UNISIG FFS for Eurobalise", Subset-036, Issue 2.4.1. (27 September 2007).

[TFSTS-2006] Technique ferroviaire de Siemens Transportation Systems, Novembre 2006. Adresse sur internet : <http://www.siemens.ch/ts>.

[Wiki01] Article sur l'interopérabilité ferroviaire de l'encyclopédie libre Wikipédia publiée sous licence GNU FDL. Adresse sur le site internet est : http://fr.wikipedia.org/wiki/Interop%C3%A9rabilit%C3%A9_ferroviaire.

[Wiki02] Article sur le système européen de contrôle des trains de l'encyclopédie libre Wikipédia. Adresse sur le site internet est : http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_europ%C3%A9en_de_contr%C3%B4le_des_trains.