

# La signalisation ferroviaire depuis la naissance jusqu'à ERTMS

MaurizioPalumbo

November 2015

railwaysignalling.eu, UK

maur.palumbo@railwaysignalling.eu

## RESUME

La signalisation ferroviaire peut être définie comme l'ensemble des systèmes destinés à contrôler le trafic ferroviaire en toute sécurité. Historiquement, les systèmes de signalisation ferroviaires se sont distingués par leur multiplicité, parfois au sein d'un même pays. Bien qu'ils soient tous basés sur des principes similaires, cela engendre de nombreuses incompatibilités techniques entre différents matériels, surtout pour les circulations transnationales. Ainsi, un nouveau système de signalisation ERTMS/ETCS est voué à devenir un standard commun en Europe. Aujourd'hui, ERTMS/ETCS est le système de signalisation le plus communément adopté en Europe pour le développement des nouvelles lignes à grande vitesse. En plus de l'interopérabilité, l'un des éléments clé pour la compétitivité du secteur ferroviaire Européen, ERTMS/ETCS assure une haute performance en matière de sécurité, de coût, d'accessibilité et de maintenance, afin de garantir une croissance rapide et efficace de l'activité ferroviaire en Europe.

**MOTS CLES:** Signalisation Ferroviaire, ERTMS, ETCS, ATP, Grande Vitesse

## 1. INTRODUCTION

Depuis leur naissance, les chemins de fer se doivent de garantir une circulation des trains sûre et sans entrave. Des systèmes de commande et de sécurité sont donc nécessaires, et leur développement n'a cessé de croître. Au fil du temps, la signalisation a évolué des signaux manuels jusqu'aux systèmes de contrôle commande informatisés, dont les règles logiques visent à interdire toute utilisation conflictuelle de ressources d'infrastructure pouvant conduire à un accident.

En Europe, plusieurs systèmes, mutuellement incompatibles, ont été installés au cours de l'histoire, en général sur une base nationale. Pour pouvoir franchir les frontières, les véhicules moteurs doivent donc être équipés d'un, voire de plusieurs systèmes de protection des trains (ATP) compatibles avec la réglementation des pays traversés.

C'est la volonté de réduire les temps et les coûts de passage aux frontières, et d'abaisser les charges d'investissements par la création à l'échelle européenne d'un marché des systèmes

de protection des trains, qui est à l'origine du concept d'un système uniforme de protection des trains.

C'est pour faire face à cette problématique qu'un nouveau système de signalisation, l'ERTMS (Européen Rail Traffic Management System), est voué à devenir un standard commun en Europe pour l'interopérabilité ferroviaire et a pour vocation d'instaurer un système unique de signalisation commun à l'ensemble des pays de l'Union Européenne. Faciliter le passage des frontières, ouvrir le marché de la signalisation ferroviaire, augmenter les vitesses commerciales, réduire les intervalles entre deux trains, diminuer les coûts de maintenance et assurer une sécurité maximale: autant de besoins auxquels répond cette nouvelle norme.

ERTMS se compose essentiellement du système de contrôle commande ETCS et du système de communication radio GSM-R. L'ERTMS est actuellement la technologie la plus utilisée dans la signalisation des corridors Européens et des nouvelles lignes en Europe et, de plus en plus, dans le monde entier.

## 2. UN PEU D'HISTOIRE

Tous les systèmes de sécurité ferroviaire qui ont existé depuis l'apparition des chemins de fer, incluant les systèmes très sophistiqués utilisés de nos jours, partagent un concept de base: Les trains ne peuvent pas entrer en collision s'ils ne sont pas autorisés à occuper la même section de voie simultanément [3].

Par conséquent, les lignes ferroviaires sont divisées en plusieurs sections (block sections). En mode d'opération normal, un seul train est donc autorisé à circuler au sein de chaque section à la fois.

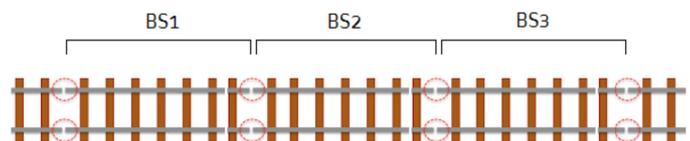


Figure 1 –Voie divisée en sections

### 2.1. L'ÉVOLUTION DES SYSTEMES DE SIGNALISATION A BLOCS

En 1850, les premiers aiguilleurs de trains se tenaient à intervalles (blocs) le long de la ligne avec des chronomètres et

utilisaient des signaux manuels pour informer les conducteurs de l'état de circulation.

Ce processus mobilisant considérablement les ressources du personnel, les sémaphores mécaniques ont été introduits au début du 20<sup>ème</sup> siècle (1900). Grâce à l'invention du télégraphe puis du téléphone quelques années plus tard, il est devenu possible pour les agents d'échanger des messages (d'abord un certain nombre de sonneries sur une cloche, ensuite un appel téléphonique) pour confirmer qu'un train a libéré un bloc spécifique. Vers 1930, les premiers signaux optiques ont vu le jour. L'ensemble du système a été intitulé « système à blocs téléphoniques ». Pendant la même époque, lorsque des signaux mécaniques fixes ont commencé à remplacer les signaux manuels, le bloc semi-automatique est né.

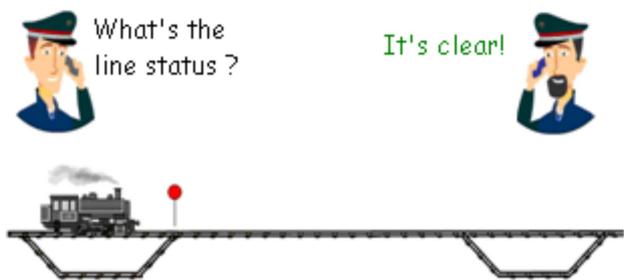


Figure 2 – Système à blocs téléphoniques

Aujourd'hui, la signalisation ferroviaire est basée sur des blocs complètement automatiques, donc ne nécessitant aucune intervention manuelle. Une ligne équipée de blocs automatiques (interlocking) est divisée en plusieurs sections dont la longueur est supérieure à la distance de freinage de train la plus grande.

La détection de présence de train dans une section particulière peut être réalisée par deux équipements différents:

- 1- Un dispositif électromagnétique à base de relais réalise le circuit de voie, circuit électrique conducteur de courant. Le transit d'un train sur la voie provoque le contact électrique sur les deux rails, de sorte que le circuit soit fermé, le relais est par conséquent caractérisé par un courant nul et le signal lié au bloc est fermé (bloc occupé)

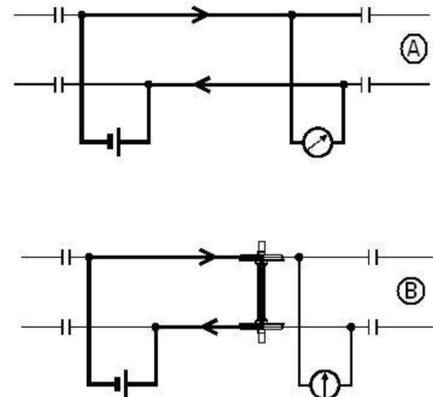


Figure 3 –Circuit de voie Libre (A) et occupé (B)

- 2- La majorité des lignes ferroviaires modernes utilisent des équipements appelés « compteurs d'essieux », placés au début et à la fin de chaque bloc. Un compteur d'essieux permet la détection et le comptage de tous les essieux du matériel roulant circulant sur la section ainsi que leur sens de marche, et ce, en utilisant deux capteurs électroniques de roue. En comparant les nombres d'essieux entrants et sortants, il est possible de connaître l'état de la section de voie (libre ou occupé). Soit Ax1 et Ax2 deux compteurs d'essieux et TS1 et TS2 des sections de voie (figure 4). Tant que le nombre d'essieux comptés par Ax2 ne correspond pas au nombre d'essieux comptés par Ax1, la section TS1 est considérée comme «occupée».



Figure 4 –Compteurs d'essieux

## 2.2. LES SYSTEMES ATP

Au début des années 80, les systèmes de signalisation ferroviaires modernisés ont été introduits en Europe, afin d'améliorer la sécurité. A l'époque, ces systèmes de protection des trains (ATP: Automatic Train Protection) étaient déjà en mesure de surveiller en permanence la vitesse du train.

Les premiers systèmes ATP procuraient une indication de la vitesse cible et déclenchaient des alertes sonores pour informer le conducteur en cas de franchissement d'un signal fermé ou de dépassement de la limitation de vitesse. De plus, le système applique un frein automatique si le conducteur ne réagit pas aux avertissements [3]. L'un des principes clés d'un système ATP est le concept de modèle de freinage, un modèle mathématique applicable à tout moyen de transport guidé.

L'ATP permet de prédire la vitesse sécuritaire maximale du train, à partir des données suivantes:

- Distance but
- Vitesse actuelle
- Les caractéristiques physiques du train

Une fois le modèle de freinage calculé, il est facile de déterminer la vitesse maximale avec laquelle le train peut se déplacer tout en pouvant s'arrêter en toute sécurité avant le point cible [8].

### 2.3. TRANSITION DES SYSTEMES ATP NATIONALS VERS ETRMS/ETCS

Au fil des ans, un grand nombre de systèmes ATP différents ont été développés et exploités en Europe, selon des exigences nationales, normes techniques et règles d'exploitation variées. Bien entendu, l'indépendance et l'incompatibilité de ces systèmes nationaux constituaient une limite économique importante à l'échelle Européenne.

Suite à la décision prise par le ministère des transports Européen en Décembre 1989, l'UE a entrepris un projet pour adresser les problèmes d'interopérabilité liés à la signalisation ferroviaire et au contrôle/commande des trains. À la fin de l'année 1990, l'Institut Européen de la Recherche Ferroviaire (ERRI) a considéré l'idée de développer un système ATP commun aux pays Européens et le système ERTMS/ETCS est devenu le standard de la signalisation Européenne.

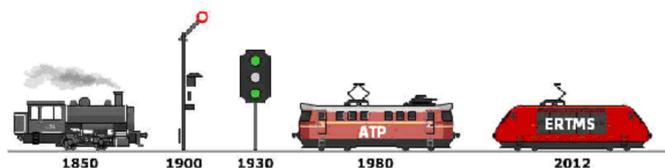


Figure 5 – Evolution de la signalisation

## 3. LE PROGRAMME ERTMS

Le programme ERTMS est un programme de norme internationale créé pour mettre en œuvre une plate-forme interopérable commune pour les systèmes de signalisation des chemins de fer Européens. L'interopérabilité est réalisée lorsque le système est capable de fonctionner avec d'autres systèmes d'origines différentes avec des limites prédéfinies [1].

Les principaux objectifs de l'interopérabilité sont fondés sur la nécessité de faciliter, améliorer et développer les services du transport ferroviaire international, contribuer à créer progressivement un marché ouvert et concurrentiel pour l'industrie ferroviaire, et établir des procédures Européennes normalisées pour évaluer la conformité avec les exigences d'interopérabilité.

A cet effet, les activités indispensables à la réalisation de l'interopérabilité étaient la définition d'un ensemble de sous-systèmes et de composants de la plate-forme globale, puis de préciser leurs exigences et interfaces en développant des spécifications fonctionnelles et techniques.

A la fin de 1993, le Conseil de l'UE a émis une directive sur l'interopérabilité et une décision a été prise de créer un groupe d'experts des chemins de fer appelé "ERTMS Group", composé à l'origine de la DB, des FS et de la SNCF, mais plus tard rejoint par d'autres entreprises ferroviaires européennes. L'objectif du groupe était de réaliser une structure afin de définir la Spécification Technique d'Interopérabilité (STI) [9]. En 1998, l'union UNISIG, comprenant les industriels européens dans le domaine de la signalisation comme Alcatel, Alstom, Ansaldo Signal, Bombardier, Invensys Rail et Siemens, a été formée afin de finaliser la STI du projet ERTMS.

Le système de contrôle/commande (ATP/ATC) choisi pour le standard ERTMS est un système interopérable normalisé, intitulé ETCS.

Quant à la communication entre le bord, le sol et les centres de contrôle, le sous-système GSM-R (R pour Railways) a été adopté. Pour cette raison, le programme de l'ERTMS peut être défini comme la combinaison de deux sous-systèmes: ETCS et GSM-R.

### 3.1. ETCS

Pour rouler en ETCS, un train doit posséder une autorisation de mouvement (Movement Authority), correspondant à une certaine distance sur laquelle la voie est réservée au train. Au fur et à mesure de la progression du train, cette autorisation de mouvement est remise à jour. Sur base de cette autorisation de mouvement, l'ordinateur embarqué construit une courbe de vitesse maximale autorisée, et supervise la vitesse du train par rapport à cette courbe, en tenant compte de la position du train, de sa vitesse et de sa capacité de freinage. Cette courbe matérialise la vitesse maximale permise à chaque instant de façon à respecter le profil de vitesse imposé: si le conducteur dépasse cette courbe de vitesse maximale, par exemple en ne freinant pas alors qu'il approche d'une zone à vitesse plus réduite, l'équipement embarqué appliquera un freinage d'urgence pour éviter que le train ne respecte pas le profil de vitesse imposé.

#### 3.1.1. ETCS niveau 0

On parle d'ERTMS/ETCS niveau 0 lorsque aucune supervision du train n'est assurée (seul un contrôle de vitesse est effectué dans ce cas). Bien entendu, le conducteur du train doit observer la signalisation latérale dans ce cas [1].

#### 3.1.2. ETCS niveau 1

En ERTMS/ETCS niveau 1, le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol; cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons. Les balises récupèrent les indications du signal via des adaptateurs de signaux et les encodeurs LEU et les transmettent au train sous forme d'une autorisation de mouvement accompagnée des données de l'itinéraire [12].

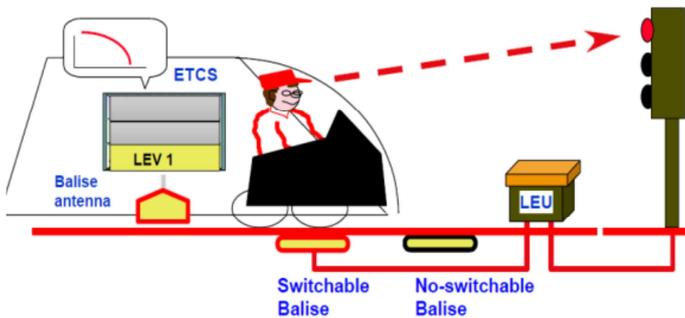


Figure 6 – ETCS niveau 1

L'ordinateur de bord calcule et surveille en permanence la vitesse maximale et la courbe de freinage à partir des données de gestion de trafic (vitesse autorisée, aiguillages, distance de sécurité entre les trains,...). En raison de la transmission ponctuelle à l'aide de balises, le train doit se déplacer au-dessus de la balise pour obtenir l'autorisation de mouvement suivante [11]. Ce système est installé sur les lignes à grande vitesse autrichiennes et dans certaines parties des lignes britanniques et espagnoles.

### 3.1.3. ETCS niveau 2

Le niveau 2 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 [1]. 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 Center RBC), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

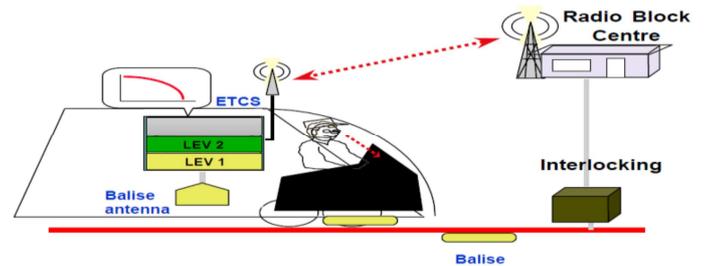


Figure 7 – ETCS niveau 2

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.



Figure 8 – transmission GSM-R

L'ETCS Niveau 2 constitue un système de contrôle commande de trains (ATP/ATC) continue et interopérable caractérisé par une signalisation en cabine et des blocs fixes. Ce système est installé, entre autres, sur les lignes du HS italiennes Turin-Novara, Bologne-Florence et Rome-Naples.

### 3.1.4. ETCS niveau 3

L'ETCS Niveau 3 fournit une fonctionnalité d'espacement des trains entièrement basée sur la communication radio. La signalisation latérale ainsi que les équipements de voie ne sont plus nécessaires.

Comme avec l'ETCS niveau 2, les trains se localisent au moyen de balises de positionnement et via des capteurs et doivent être capables de déterminer l'intégrité du train, au niveau du bord, au plus haut degré de fiabilité. De ce fait, l'ETCS Niveau 3 écarte le fonctionnement classique avec des intervalles fixes et permet de calculer la distance de sécurité entre deux trains qui se suivent [1].

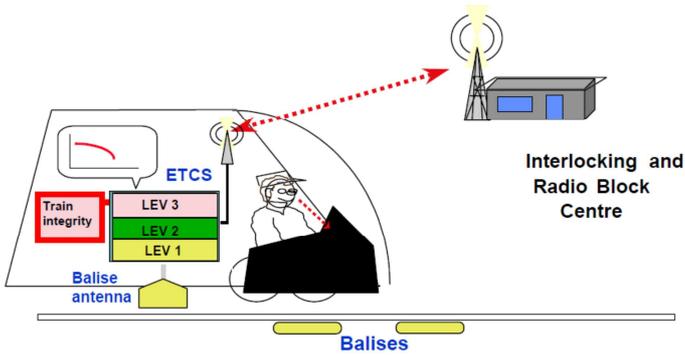


Figure 9 - ETCS niveau 3

Une autorisation de mouvement est indiquée pour une position du train, à base de la distance réelle entre le train et le train le précédant. Cette solution appelée "bloc mobile" (moving block), assure une meilleure exploitation de la capacité de la ligne, car elle réduit la granularité de l'espacement. Le niveau 3 est toujours en phase de développement.

### 3.2. GSM-R

Le GSM-R est le système de communication mobile utilisé exclusivement dans le secteur ferroviaire. Grâce à celui-ci, l'infrastructure ferroviaire est équipée d'un système radio mobile qui peut répondre d'une manière efficace et intégrée à tous les besoins de communication liés aux opérations ferroviaires.

Le GSM-R permet une communication continue entre la cabine et le sol (communications de service ainsi que la gestion d'urgence) pour l'échange de données entre les équipements au sol et les systèmes embarqués.

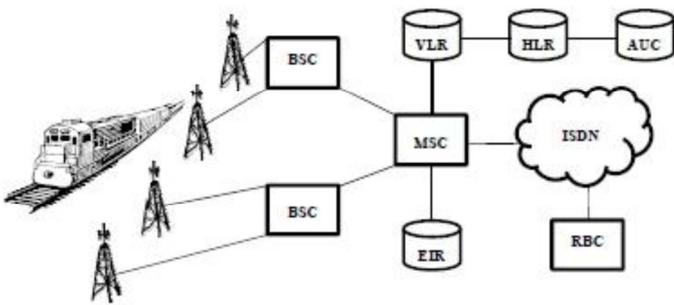


Figure 10 – infrastructure GSM-R simplifiée

Les bandes de fréquences GSM-R ont été fixées entre 876 MHz et 915 MHz pour les liaisons montantes entre la station mobile (MS) et la station émettrice-réceptrice de base (BTS), de 921 MHz à 960 MHz lorsqu'il s'agit d'une transmission descendante. Ceci est réalisé par de très petites cellules mobiles avec un rayon maximum de 2-3 km [16].

Toutefois, même si cette technologie est actuellement celle la plus utilisée dans l'ensemble des lignes sous ERTMS en Europe, les recherches en matière de communication dans le transport ferroviaire ont poussé les parties prenantes d'ERTMS à envisager des solutions techniques alternatives, afin d'accroître l'efficacité. Pour plus d'informations, voir l'annexe A.

### 3.3. LES IMPLEMENTATIONS EN EUROPE

Le projet de la grande vitesse a commencé en 1991 comme un projet clé en main, à savoir, un industriel général est responsable de la construction des infrastructures et de l'installation des systèmes technologiques au niveau d'une ligne spécifique. Afin de maintenir l'uniformité technologique sur le travail effectué par chaque industriel général sur chaque ligne à grande vitesse, les systèmes sont élaborés par un consortium technologique, chargé de fournir les différents systèmes, incluant la signalisation, pour toutes les lignes à grande vitesse [1].

Une ligne ferroviaire peut être considérée comme une ligne à grande vitesse si les trains circulant atteignent au moins une vitesse de pointe égale à 200 km/h. Dans certains pays Européens, les trains à grande vitesse peuvent atteindre une vitesse maximale de 350 km/h.

L'Espagne (3800 km), la France (2000 km), L'Allemagne (1600 km) et l'Italie (1000 km) sont actuellement les pays les plus dotés de lignes à grande vitesse sous ERTMS.

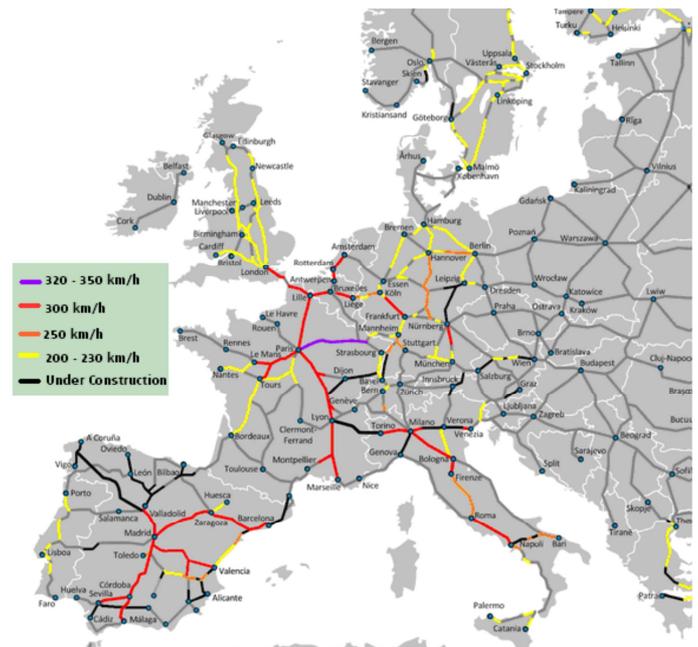


Figure 11 – Réseau Européen ERTMS

### 3.3. LES AVANTAGES DU SYSTEME ERTMS

En comparaison avec les systèmes de signalisation traditionnels, l'ERTMS est nettement plus flexible et avancé en matière de transmission des données [13]. De plus, les avantages de ce dernier couvrent également les catégories suivantes:

1. Sécurité
  - Une surveillance permanente de de la vitesse
  - Signalisation en cabine
  - TSR (réductions de vitesse temporaires) envoyés par réseau
2. Coût
  - Pas de signalisation latérale ou réduction du nombre de signaux
  - Moins d'équipements à base de relais et de câbles
3. Accessibilité
  - Traitement de défaillances plus rapide avec un nombre réduit de systèmes
4. interopérabilité
  - Architecture standardisée
  - Interfaces techniques uniformes entre les sous-systèmes
5. maintenance
  - Systèmes standardisés
  - Moins d'interfaces de sécurité
  - Plusieurs fournisseurs sur le marché (concurrence)

### 4. CONCLUSION

Il est évident que le système ERTMS détient sa force grâce à sa portée internationale. La concurrence dans le marché du transport ferroviaire assure des améliorations continues des industriels et des opérateurs ferroviaires les plus accrédités ainsi qu'une réduction continue des coûts. Ces aspects peuvent garantir une croissance rapide de ce mode de transport au sein du continent.

### 5. GLOSSAIRE

**ATC** Automatic Train Control  
**ATP** Automatic Train Protection  
**BTS** Base Transceiver Station  
**ERTMS** European Railway Traffic Management System  
**ETCS** European Train Control System  
**GPRS** General Packet Radio Service  
**GGSN** Gateway GPRS Support Node

**GSM-R** Global System for Mobile Communication - Railway  
**MS** Mobile Station  
**STM** Specific Transmission Module  
**TS** Track Section  
**TSR** Temporary Speed Restriction  
**GGSN** Serving GPRS Support Node

### 6. REFERENCES

- [1] ETCS – Development and implementation in Italy - F. Senesi, E. Marzilli
- [2] The Core of ATP - Data Engineering - W. Kaiser, S. Nielson
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Railway\\_signalling](http://en.wikipedia.org/wiki/Railway_signalling)
- [4] ETCS Implementation Handbook - Olivier Leveque
- [5] Increase of efficiency in wireless train control systems (ETCS L2) by the use of actual Packet-Oriented Transmission Concepts - Institute of Communications Technology - Hannover, Germany
- [6] ERTMS/ETCS System Requirements Specification – Subset 026 - UNISIG
- [7] T. Gray, Publish and Flourish: Write well and revise rapidly, Workshops by Gray - She's anything but gray, New Mexico State University, 2003.
- [8] Sistemi di controllo per l'altavelocità ferroviaria – F. Flammini
- [9] <http://www.ertms.net/ertms/ertms-history.aspx>
- [10] <http://www.ertms.net/ertms/ertms-in-brief.aspx>
- [11] [http://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Train\\_Control\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/European_Train_Control_System)
- [12] European Commission, Directorate General Transport - European Rail Traffic Management System Requirement Specification - bookshop.europa.eu/.../C30196341ENC\_001.pdf
- [13] <http://www.irse.org.hk/eNewsletter/issue06/TechnicalArticles/ETCS/ETCS.htm>
- [14] <http://www.therailengineer.com/2012/01/05/ertms-european-rail-traffic-management-system-in-operation/>
- [15] INCREASE OF EFFICIENCY IN WIRELESS TRAIN CONTROL SYSTEMS (ETCS LEVEL 2) BY THE USE OF ACTUAL PACKET-ORIENTED TRANSMISSION CONCEPTS - Simon F. Ruesche, Jan Steuer, Klaus Jobmann - Institute Communications Technology, Hannover (Germany), 2009
- [16] Is GSM-R the limiting factor for the ERTMS system capacity? – Gustaf Lindstrom (KTH) – Stockholm (Sweden), 2012
- [17] Kalden, R. A., 2004, "Mobile Internet Traffic Measurement and Modeling Based on Data from Commercial GPRS Networks", Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/GPRS\\_core\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/GPRS_core_network)

### 7. BIOGRAPHIES

**Zakaryae BOUDI** (the translator) is currently a railway safety engineer at ClearSy, where his work is mainly focused on safety and security in the new generation of signaling systems (CBTC, ERTMS, CBI). Zakaryae received his engineering degree in Automation and Computer Science from the Ecole Mohammadiad'Ingénieurs (EMI), Rabat (Morocco). He firstly worked a researcher and engineer, within several railway safety and security related projects (e.g. EU project CARONTE), at the French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR), France. His research interests include risk assessment techniques in rail security and the industrial use of formal methods for safety critical systems.

**Maurizio Palumbo** (the author) was born in Naples (Italy) and got at the end of 2010 his degree in Computer Engineering from the University *Federico II* of Naples. He's a curious, smiling and enthusiastic engineer. Since the beginning of 2011 he has worked at Alstom Transport SPA in Bologna headquarter, as technical consultant for Alten, one of the European leaders in consulting and engineering. He has been involved in two ERTMS/ETCS L2 projects. In particular, he has specialized in the trackside subsystems, working both on Italian (Bologna-Florence High Speed Line) and

Danish (Fjernbane East railway) projects. He's the founder and of railwaysignalling.eu, where he's also known as Vesuvius.

### APPENDIX A: MIGRATION DU GSM-R VERS LE GPRS-R

A l'aide d'un circuit commuté de connexion, un canal continu existe entre la station de base et le matériel roulant. Comme la quantité de données échangées est relativement faible, cette fonction assure une bonne qualité de service mais pas une utilisation très efficace de la connexion.

C'est la raison pour laquelle GSM-R est considéré depuis quelques années comme frein principal à l'efficacité de l'ensemble du système ERTMS. Suite à un large travail de recherche sur les nouvelles technologies explorant de nouvelles solutions afin de l'améliorer, l'utilisation d'une communication à paquets commutés a été envisagée par les opérateurs ferroviaires. Dans ce cas, plus d'un utilisateur partagent la même connexion et les informations transmises sont réparties en paquets envoyés l'un après l'autre, seulement quand un besoin est manifesté par l'utilisateur [16].

Dans les réseaux publics sans fil, le General Packet Radio Service (GPRS) a été utilisé pour augmenter les possibilités de l'infrastructure existante. Actuellement, la quantité de données utilisées pour la signalisation ETCS niveau 2 est très faible et dans la plupart des cas, ne nécessite qu'un intervalle de temps assez court. Avec GPRS, le canal de transmission est utilisé uniquement lorsque des données doivent être transmises. De plus, les temps d'établissement de connexion sont diminués et les niveaux de priorité affectés aux paquets de données fournissent une meilleure fiabilité en ce qui concerne les applications critiques [17].

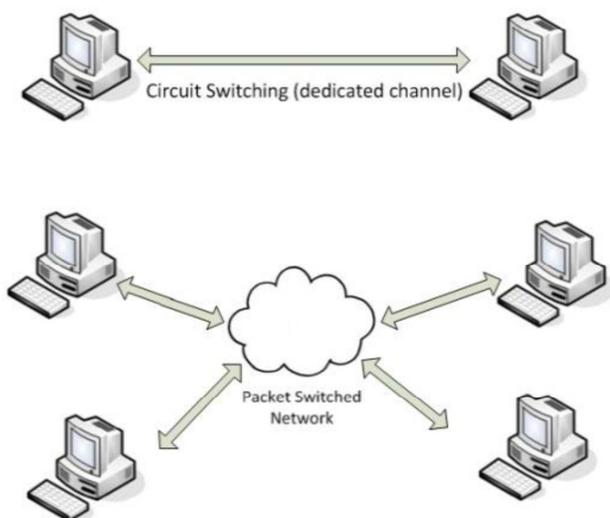


Figure 12 – Circuit Switching VS Packet Switching

Le principe de base du GPRS appliqué à la signalisation ferroviaire est de constituer un système axé sur les données qui réutilise autant que possible le système GSM-R existant en gardant sa compatibilité.

Les principales différences entre une infrastructure GPRS, orientée paquet, et une infrastructure GSM, orientée connexion, résident dans deux éléments du réseau:

- Le nœud de support de service GPRS (SGSN) est responsable de la livraison de paquets de données depuis et vers les stations mobiles dans sa zone de service géographique. Ses tâches comprennent le routage des paquets, la gestion de la mobilité (gestion de l'emplacement), la gestion logique de lien, l'authentification et l'application des fonctions de recharge.
- Le nœud de support de passerelle GPRS (GGSN) agit comme une interface entre le coeur du réseau GPRS et les réseaux de paquets de données externes. Il convertit les paquets GPRS provenant du SGSN, mentionnés précédemment, dans le format approprié PDP (Packet Data Protocol) et les envoie sur le réseau de données par paquets correspondant. Dans l'autre sens, les adresses des paquets de données entrants sont converties à l'adresse GSM de l'utilisateur de destination. Les paquets traités à nouveau sont envoyés au SGSN responsable [18].

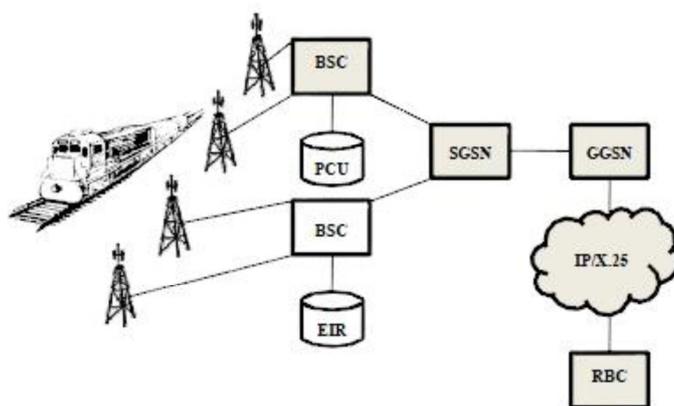


Figure 13 – infrastructure GPRS-R simplifiée

Une fois le GPRS activé, une connexion continue virtuelle entre les participants du réseau (trains et RBC) est établie. Au cours d'une session, un utilisateur est affecté à une paire de canaux de liaison montante et de liaison descendante. Ceci est combiné avec un multiplexage statistique permettant la communication en mode paquet, qui prévoit l'utilisation d'une fréquence commune pour plusieurs utilisateurs. Si une

---

information doit être transmise, la liaison radio sera donc réservée par un utilisateur [17].

Actuellement le consortium UNISIG cherche à standardiser cette technologie pour sa future intégration à ERTMS. Pendant les années à venir, les industriels pourraient réaliser des lignes ETCS équipées d'infrastructures réseaux GPRS-R.