



Railway Association  
of Canada

Association des chemins  
de fer du Canada

# Communications ferroviaires au Canada:

*Au-delà de 2020*



Vinodrai & Associates Inc.  
Octobre 2017

## **TABLES DES MATIÈRES**

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sommaire .....                                                                                      | 5  |
| 1. Introduction .....                                                                               | 9  |
| 2. Système actuel .....                                                                             | 9  |
| <b>2.1 RÉSEAU FERROVIAIRE DU CANADA</b> .....                                                       | 9  |
| <b>2.2 TECHNOLOGIES SANS FIL</b> .....                                                              | 10 |
| 2.3 Système de commande intégrale des trains aux États-Unis .....                                   | 12 |
| 2.4 Cellulaire/ Internet sans fil .....                                                             | 14 |
| 3. Perspectives mondiales .....                                                                     | 16 |
| 4. Spectre potentiel pour la communication ferroviaire au-delà de 2020 .....                        | 18 |
| 4.1 700 MHz – Sécurité publique .....                                                               | 18 |
| 4.2 600 MHz .....                                                                                   | 22 |
| 4.2.1 Enjeux quant aux politiques touchant la bande de 600 MHz .....                                | 22 |
| 4.2.2 Propriétés de propagation de la bande de 600 MHz .....                                        | 23 |
| 4.2.3 Occasions pour les chemins de fer .....                                                       | 23 |
| 5. Technologies disponibles et potentielles pour la communication ferroviaire au-delà de 2020 ..... | 24 |
| 5.1 GSM-R .....                                                                                     | 26 |
| 5.2 Système TETRA .....                                                                             | 27 |
| 5.3 Évolution à long terme .....                                                                    | 28 |
| 5.3.1 Service de « voix LTE » (VoLTE) .....                                                         | 30 |
| 5.3.2 Technologie LTE avancée .....                                                                 | 30 |
| 5.4 IMT-2020 (5G) .....                                                                             | 30 |
| 5.5 Technologie de réseau maillé .....                                                              | 32 |
| 5.6 SATELLITE .....                                                                                 | 33 |
| 6. Internet des objets .....                                                                        | 35 |
| 6.1 IdO pour les trains de voyageurs .....                                                          | 37 |
| 6.2 IdO dans les trains de marchandises .....                                                       | 37 |
| 6.3 IdO et la sécurité ferroviaire .....                                                            | 39 |
| 7. Partage du réseau .....                                                                          | 39 |
| 8. Perspectives d'avenir pour les dix prochaines années .....                                       | 40 |
| 9. Recommandations .....                                                                            | 42 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Acronymes.....                                                | 46 |
| Remerciements .....                                           | 47 |
| Lectures suggérées .....                                      | 48 |
| Annexe A - Cartes .....                                       | 49 |
| Annexe B – Résolution de la cmr 2019 .....                    | 52 |
| Annexe C – Essais menés par Nokia dans le métro de Paris..... | 55 |



## Table des figures

|            |                                                                                     |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1.1 | Trois composantes principales d'un réseau radio .....                               | 11 |
| Figure 2.1 | Caractéristiques d'une radio PTC.....                                               | 13 |
| Figure 2.2 | Zone de service Wi-Fi.....                                                          | 15 |
| Figure 2.3 | Configuration des antennes de VIA Rail .....                                        | 16 |
| Figure 3.1 | Technologies ferroviaires mondiales actuelles .....                                 | 17 |
| Figure 4.1 | Plan d'attribution de la bande de 700 MHz.....                                      | 18 |
| Figure 4.2 | Spectre destiné à la sécurité publique dans la bande de 700 MHz .....               | 19 |
| Figure 4.3 | Plan de répartition de la bande de 600 MHz .....                                    | 23 |
| Figure 5.1 | Évolution des technologies.....                                                     | 24 |
| Figure 5.2 | Évolution de la capacité des technologies .....                                     | 25 |
| Figure 5.3 | Progression de la vitesse de transfert des données d'une génération à l'autre ..... | 25 |
| Figure 5.4 | Capacités des IMT-2020.....                                                         | 31 |
| Figure 5.5 | Diversité des services offerts pour la 5G .....                                     | 32 |
| Figure 5.6 | Diverses orbites des satellites .....                                               | 33 |
| Figure 5.7 | Orbites basses terrestres.....                                                      | 34 |
| Figure 6.1 | Internet des objets .....                                                           | 35 |
| Figure 6.2 | Évolution d'Internet des objets .....                                               | 36 |
| Figure 6.3 | Internet des objets sur les wagons de marchandises.....                             | 38 |
| Figure 7.1 | Partage du réseau .....                                                             | 40 |
| Figure 8.1 | Réseau d'accès radioélectrique basé sur le protocole IP .....                       | 42 |
| Figure A1  | Réseau ferroviaire du CP .....                                                      | 49 |
| Figure A2  | Réseau ferroviaire du CN .....                                                      | 49 |
| Figure A3  | Réseau ferroviaire de VIA Rail .....                                                | 50 |
| Figure A4  | Carte des chemins de fer intégrés.....                                              | 51 |
| Figure A5  | Carte de trains de GO Transit.....                                                  | 51 |

REMARQUE : L'auteur de ce livre blanc a pris toutes les mesures nécessaires pour indiquer les sources de renseignements utilisées, lesquelles sont citées tout au long du rapport. Notez que certains graphiques ne sont disponibles qu'en anglais et ne peuvent être modifiés pour inclure la terminologie en français, qui est cependant incluse dans le texte.



## **SOMMAIRE**

---

### **Industrie ferroviaire canadienne**

Le réseau ferroviaire canadien est le 5<sup>e</sup> plus long en kilomètres exploités<sup>1</sup>; chaque année, les corridors de transport acheminent plus de 280 milliards de dollars de marchandises partout au pays, tandis que les chemins de fer voyageurs transportent près de 82 millions de passagers annuellement<sup>2</sup>. L'Association des chemins de fer du Canada (ACFC) et ses membres sont à examiner des façons d'améliorer les systèmes de communication et la sécurité ferroviaires à l'aide de technologies de communication modernes. L'ACFC devra pour ce faire envisager diverses options, notamment l'utilisation d'un spectre à large bande pour prendre en charge les applications de contrôle des trains et pour accroître la capacité de transmission de la voix et des données dans les gares et les cours de triage ferroviaires ainsi que le long des emprises ferroviaires situées dans les zones encombrées.

### **Exigences en matière de contrôle des trains**

En juin 2013, le Bureau de la sécurité des transports (BST) du Canada a publié son rapport d'enquête ferroviaire R12T0038 à la suite du déraillement du train de voyageurs n° 92 de VIA Rail survenu en 2012 à proximité de Burlington en Ontario. L'une des recommandations du BST était la suivante :

« Le ministère des Transports exige que les grands transporteurs ferroviaires canadiens de voyageurs et de marchandises mettent en œuvre des méthodes de contrôle des trains à sécurité intrinsèque, en commençant par les corridors ferroviaires à grande vitesse du Canada.<sup>3</sup> » (Recommandation R13-01)

---

<sup>1</sup>

[https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IS.RRS.TOTL.KM?end=2015&locations=CA&name\\_desc=false&start=2013](https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IS.RRS.TOTL.KM?end=2015&locations=CA&name_desc=false&start=2013)

<sup>2</sup> <http://www.industryandbusiness.ca/sustainability/pulling-canada-towards-a-cleaner-future> [En anglais seulement]

<sup>3</sup> <http://www.bst-tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2015/r15v0183/r15v0183.asp>



Pour donner suite à cette recommandation, le Conseil consultatif sur la sécurité ferroviaire (CCSF) de Transports Canada a mis sur pied un Groupe de travail sur le contrôle des trains. Le Groupe s'est vu confier le mandat d'étudier les systèmes de contrôle des trains à sécurité intrinsèque existants et en cours de développement (aussi appelés systèmes de technologies de commande des trains améliorée) et d'évaluer leur capacité relativement à l'exploitation des chemins de fer du Canada, en se concentrant plus particulièrement sur les corridors ferroviaires à grande vitesse. Le Groupe de travail devait présenter un résumé de ses constatations en mettant l'accent sur la meilleure façon pour les technologies et les systèmes de répondre à la recommandation R13-01 du BST. Même si aucune technologie ou combinaison de technologies spécifiques n'a encore été déterminée, l'examen de toutes les technologies par le Groupe de travail a démontré qu'il était nécessaire de se doter d'une infrastructure de communication sans fil fiable pour soutenir le système de commande des trains améliorée (CTA).

### Situation actuelle

En termes de technologies de communication sans fil mobiles, les activités des chemins de fer canadiens s'appuient encore à quelques exceptions près sur des technologies qui remontent à plusieurs décennies. La norme nord-américaine relative à la communication vocale repose sur la modulation de fréquence FM analogue, qui est très fiable et bien adaptée aux activités ferroviaires, mais inefficace au chapitre de l'utilisation du spectre. Malgré nos efforts visant à accroître l'utilisation efficace du spectre à l'aide de nouvelles technologies telles que la bande étroite et la modulation numérique à bande très étroite, la nature même de la bande principale de fréquences des chemins de fer, un bloc de spectre contigu d'une largeur de 1,41 MHz dans la bande VHF, limite sérieusement les possibilités de croissance.

### Services mobiles de données grande vitesse

Chaque citoyen tient pour acquis l'accessibilité aux **services mobiles de données grande vitesse** (SMDGV). En effet, tout détenteur d'un téléphone intelligent qui se trouve dans la zone de couverture d'un fournisseur de services commerciaux a accès à ces services.

- **En Europe et dans de nombreux pays asiatiques**, grâce à divers partenariats établis entre le secteur ferroviaire et les fournisseurs de services commerciaux, l'industrie ferroviaire bénéficie d'un accès aux services mobiles de données grande vitesse depuis le début des années 90, principalement à l'aide d'une technologie dérivée du système mondial de communications mobiles (GSM) appelée GSM-R (la lettre « R » faisant référence aux chemins de fer). Les fournisseurs de services commerciaux et les fabricants délaissent peu à peu cette technologie cellulaire de deuxième génération (2G) pour adopter la technologie de réseau cellulaire à large bande de quatrième génération (4G), également appelée technologie d'évolution à long terme (LTE).
- **Au Canada**, le réseau radio VHF existant, pour des raisons géographiques, démographiques et opérationnelles évidentes, n'a jamais considéré comme une option viable la technologie GSM-R et le recours exclusif à des fournisseurs de services commerciaux pour les communications ferroviaires. Cependant, l'infrastructure de télécommunication privée actuelle, qui est construite le long des emprises ferroviaires ainsi que dans les gares et les cours de triage ferroviaires et qui permet d'exercer les activités ferroviaires d'un océan à l'autre, pourrait, moyennant quelques modifications, soutenir un réseau national de services mobiles de données grande vitesse basé sur la technologie LTE.



## **Exigences en matière de spectre radioélectrique**

Les services mobiles de données grande vitesse basés sur la technologie LTE nécessitent des fréquences à large bande, au minimum 3 + 3 MHz, soit plus de quatre fois le spectre actuellement en usage pour les chemins de fer du Canada. La taille standard du bloc de fréquences attribuée par Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) est de 5 + 5 MHz.

Or, les chemins de fer doivent rechercher le spectre dans une bande qui est compatible, dans la mesure du possible, avec les infrastructures de réseau existantes. Les caractéristiques de propagation du spectre en question doivent également être compatibles avec les activités ferroviaires. À l'heure actuelle, deux bandes « disponibles » répondent à ces exigences : la bande de 600 MHz et celle de 700 MHz.

## **Prochaines étapes et recommandations**

### **1. La bande de 600 MHz**

L'ACFC, dans sa réponse du 2 octobre 2017 à la Consultation sur un cadre technique, politique et de délivrance de licences concernant le spectre de la bande de 600 MHz<sup>4</sup>, a signalé l'intérêt de l'industrie ferroviaire pour l'acquisition d'un bloc de fréquences de 5 + 5 MHz pour mettre en œuvre les services mobiles de données grande vitesse<sup>5</sup>. Même si ISDE prévoit d'offrir aux enchères les sept blocs disponibles aux fournisseurs de services commerciaux, la vente aux enchères de cette bande n'aura sans doute pas lieu avant deux ou trois ans, d'où la nécessité d'amorcer des discussions en vue d'examiner la possibilité d'attribuer un bloc de fréquences dans la bande de 600 MHz pour les chemins de fer. L'ACFC attend présentement une réponse d'ISDE à ses commentaires du 2 octobre 2017.

---

<sup>4</sup> <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf11316.html>

<sup>5</sup> [https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapi/SLPB-005-17\\_comments\\_RAC.pdf/\\$file/SLPB-005-17\\_comments\\_RAC.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapi/SLPB-005-17_comments_RAC.pdf/$file/SLPB-005-17_comments_RAC.pdf) [En anglais seulement]



## **2. La bande de 700 MHz**

ISDE, qui a attribué plus tôt cette année deux blocs de spectre contigus de 5 + 5 MHz dans la bande de 700 MHz aux fins d'utilisation par la communauté de la sécurité publique<sup>6</sup>, a indiqué qu'elle était ouverte à toute suggestion quant au partage de ce spectre avec des organismes autres que de sécurité publique, notamment des organisations ferroviaires, et quant à des façons pour l'industrie privée de contribuer à la mise sur pied d'un réseau national de sécurité publique partagé. L'industrie ferroviaire devrait également envisager cette option, même si le partage du spectre ainsi que celui des infrastructures matérielles entre l'industrie ferroviaire et la communauté de la sécurité publique représentent tout un défi. Une réunion entre Transports Canada (TC), ISDE et l'ACFC devrait être organisée pour discuter de la question.

## **3. Recherche et valorisation de partenariats entre les chemins de fer, ainsi qu'avec les fabricants, les fournisseurs de services de communication et le secteur des services publics**

L'ACFC devrait engager des discussions avec des partenaires potentiels qui ne font pas partie de l'industrie ferroviaire. Grâce à une capacité LTE appelée « découpage de réseau », qui permet de créer plusieurs réseaux logiques au-dessus d'une infrastructure physique partagée commune<sup>7</sup>, les réseaux peuvent être partagés de façon transparente entre différents services et entités concurrentes (comme le CN et le CP). Par ailleurs, ISDE voit d'un bon œil les initiatives qui maximisent à la fois l'utilisation du spectre radioélectrique et le partage des infrastructures, en particulier les tours d'antennes. L'ACFC devrait solliciter l'appui de Transports Canada et d'ISDE sur la question du partenariat.

---

<sup>6</sup> [Décisions se rapportant au cadre politique, technique et de délivrance de licences pour l'utilisation du spectre à large bande destiné à la sécurité publique, et ce, dans les bandes de 758 à 763 MHz et de 788 à 793 MHz \(bloc D\), ainsi que de 763 à 768 MHz et de 793 à 798 MHz \(bloc SPLB\).](#)

<sup>7</sup> <https://www.ericsson.com/en/networks/topics/network-slicing> [En anglais seulement]





## **1. INTRODUCTION**

---

L'Association des chemins de fer du Canada (ACFC) a commandé le présent livre blanc en vue de procéder à un examen des systèmes de radiocommunication actuellement utilisés pour les chemins de fer et de faire état des avancées mondiales au chapitre de l'amélioration du contrôle du trafic ferroviaire ainsi que de la protection et la sécurité des passagers. Le livre blanc examine aussi l'utilisation actuelle du spectre, ainsi que les besoins futurs en matière de spectre et l'utilisation éventuelle des bandes de fréquences harmonisées à l'échelle mondiale ou régionale. Il est également conçu pour favoriser le dialogue entre l'industrie ferroviaire et ISDE sur les besoins futurs en matière de spectre des chemins de fer canadiens.

## **2. SYSTÈME ACTUEL**

---

### **2.1 RÉSEAU FERROVIAIRE DU CANADA**

Le réseau ferroviaire du Canada s'étend d'un océan à l'autre. Bien que les deux chemins de fer de catégorie 1 du pays, soit le Canadien National (CN) et le Canadien Pacifique (CP), exploitent des réseaux distincts, il peut arriver à l'occasion qu'ils partagent leurs voies. (Les réseaux ferroviaires du CN et du CP sont illustrés à l'annexe A.) VIA Rail Canada, qui assure le transport ferroviaire de personnes au Canada, déploie aussi ses trains de passagers sur les réseaux du CN et du CP. Via Rail offre certaines liaisons saisonnières, et d'autres à l'année. (Toutes les liaisons offertes par VIA Rail sont aussi illustrées à l'annexe A.)

Comme VIA Rail envisage de mettre en place un service à haute vitesse dans le corridor Windsor-Québec, il est primordial d'évaluer à l'avance les exigences en matière de communication, car il faut du temps pour négocier les fréquences radio supplémentaires nécessaires pour soutenir ces nouvelles technologies.



## 2.2 TECHNOLOGIES SANS FIL

Les technologies sans fil en usage sur les trains d'aujourd'hui vont de la technologie Wi-Fi à la technologie GSM-R, en passant par le satellite et les réseaux cellulaires de quatrième génération (4G). Les technologies sans fil commerciales ont évolué au cours de la dernière décennie, passant des systèmes de deuxième génération (2G) axés sur la voix (p. ex. la technologie GSM) avec des capacités de transmission de données limitées à des systèmes multiservices à large bande de 4G (LTE) qui offrent aux utilisateurs un débit de plusieurs dizaines de mégabit par seconde (Mbit/s) de données. En fait, la capacité de transmission à large bande de 4G a fait naître de nouveaux services et de nouvelles applications qui transforment la façon dont le consommateur communique, s'informe et se divertit.

Pendant de nombreuses années, les activités de l'industrie ferroviaire ont reposé sur des systèmes sans fil qui, à l'origine, étaient essentiellement vocaux et utilisaient la bande VHF. Depuis, de nombreux opérateurs ferroviaires importants — surtout en Europe — ont mis en œuvre des réseaux GSM-R et des systèmes radio terrestres à commutation automatique de canaux (TETRA), à la fois pour les communications vocales liées aux opérations entre les conducteurs de train et les contrôleurs ferroviaires et pour la signalisation ferroviaire (système de commande des trains par télécommunications [CBTC] / système européen de contrôle des trains [ETCS]). Les entreprises de transport urbain ont aussi déployé divers systèmes sans fil spécialisés et souvent à propriétés exclusives; elles ont généralement un système de signalisation et de contrôle dans les bandes de fréquences exemptées de licence et un autre système pour les communications vocales liées aux opérations. La capacité en terme de transmission de données de ces systèmes est toutefois restreinte, ce qui limite considérablement leur potentiel d'amélioration de l'efficacité opérationnelle et de la sécurité des passagers et, en fin de compte, de la qualité des transports<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/rail-communications> [En anglais seulement]



La figure 1.1 ci-dessous illustre une structure simple des technologies de communications mobiles. En général, les technologies sans fil modernes ont trois composantes principales :

- **Réseau central** – permet la gestion des utilisateurs et de la mobilité, et fournit les fonctionnalités nécessaires aux utilisateurs;
- **Réseau d'accès radioélectrique (RAN)** – relie le réseau central à l'équipement de l'utilisateur au moyen de communications sans fil;
- **Équipement de l'utilisateur (UE)** – offre les services et les expériences à l'utilisateur comme l'a ordonné le réseau central.

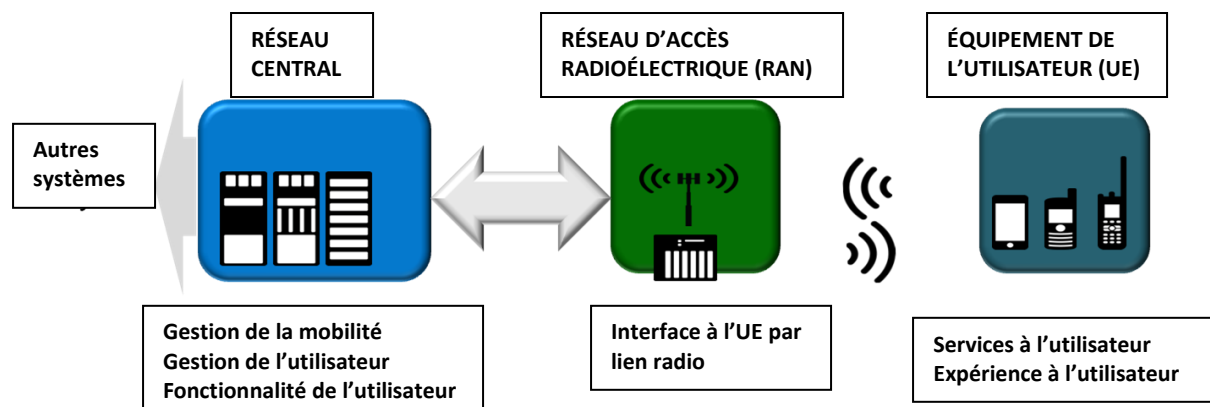


Figure 1.1 Trois composantes principales d'un réseau radio<sup>9</sup>

Tous les trains équipés d'équipement radio se conforment actuellement aux exigences du système de radiocommunication ferroviaire nord-américain. L'industrie ferroviaire dispose d'un bloc attribué de bande de fréquences dédiées (fréquences VHF de 160,1700 MHz à 161,5800 MHz) qui est géré par l'ACFC au Canada. En plus des fréquences VHF, VIA Rail utilise les fréquences UHF (450-470 MHz) pour accomplir ses opérations de triage et possède également une deuxième radio dans la locomotive pour communiquer avec l'équipe de train. Le CN et le CP déploient tous les deux des fréquences VHF conformément aux exigences nord-américaines en matière de radiocommunication ferroviaire. Les éléments suivants sont aussi déployés :

- canaux de 452 et 457 MHz pour l'utilisation des dispositifs de queue de train, qui indiquent le moment où le train est en mouvement, la pression de l'air et l'état d'urgence de la soupape d'air à l'aide d'une identification radio spécifique;
- fréquences dans la bande de 450 MHz pour contrôler les trains qui ont recours à la répartition de la puissance (locomotives télécommandées) et pour transmettre des renseignements tels que le réglage de la puissance ou des freins, l'identification de l'unité et tout autre renseignement relatif à l'état<sup>10</sup>;
- fréquences dans la bande de 900 MHz pour contrôler les trains et de 450 MHz pour l'utilisation du système Locotrol;

<sup>9</sup> Motorola Solutions

<sup>10</sup> <http://www.radioreference.com/apps/db/?aid=7747> [En anglais seulement]



- fréquences dans les bandes de 2,4 GHz et de 5,8 GHz pour l'accès au Wi-Fi sur les trains de voyageurs et les trains de marchandises dans les gares et les cours de triage;
- GPS pour l'heure et l'emplacement;
- fréquences dans la bande de 911,5 MHz à 921,5 MHz pour assurer le suivi du fret à l'aide de l'identification automatique du matériel (AEI), une version robuste de la technologie d'identification par radiofréquence (IRF) mise en œuvre sur le matériel roulant;
- fréquence dans la bande de 220 MHz pour les opérations liées au système de commande intégrale des trains (PTC) installé sur toutes les locomotives en déplacement aux États-Unis (voir la section 2.3).

Bien que chacune de ces fréquences vise un objectif précis, aucune d'entre elles n'a une capacité de croissance suffisante pour répondre aux besoins des services mobiles de données grande vitesse.

GO Transit, le service régional de transport en commun pour les régions du Grand Toronto et de Hamilton, se conforme au plan ferroviaire nord-américain de fréquences pour les bandes VHF. Il utilise aussi les fréquences des bandes UHF pour assurer la coordination entre ses parcs d'autobus et de trains. Comme ses locomotives sont dotées de deux types de radios distincts, une unité de contrôle intégrée spéciale est fournie pour gérer les radios UHF et VHF. Les micro-ondes et la fibre relient les sites radio distants et le réseau s'est aussi doté de répéteurs numériques pour véhicule, qui améliorent la couverture radio mobile.

### **2.3 SYSTÈME DE COMMANDE INTÉGRALE DES TRAINS AUX ÉTATS-UNIS**

Le système de commande intégrale des trains (PTC) est un ensemble de technologies très avancées conçues pour rendre le transport ferroviaire de marchandises plus sécuritaire, arrêtant un train automatiquement avant que certains types d'accidents ne surviennent. À l'heure actuelle, le système PTC est seulement utilisé aux États-Unis. Cependant, en raison des passages transfrontaliers, de nombreuses locomotives canadiennes sont également équipées de radios dotées de la technologie du PTC. Bien que la Federal Communications Commission (FCC) n'ait réservé aucune fréquence dédiée au système PTC, les chemins de fer ont choisi le spectre de 220 MHz pour l'exploiter.

La technologie a été développée à l'origine pour prévenir les collisions entre deux trains, les déraillements causés par une vitesse excessive, le passage des trains dans des sections de voie où se déroulent des activités de maintenance ou le passage d'un train sur un aiguillage laissé dans la mauvaise position. Cependant, le système PTC ne prévient **pas** les accidents causés par des défaillances de la voie, le déplacement inadéquat d'un véhicule sur un passage à niveau, une intrusion sur la voie ou certains types d'erreurs commises par les opérateurs ferroviaires.



Un système PTC comporte trois éléments principaux, qui sont intégrés par un système de communication sans fil<sup>11</sup> :

- **les systèmes de bord ou embarqués dans les locomotives**, qui contrôlent l'emplacement et la vitesse du train, et activent au besoin le système de freinage pour restreindre la vitesse et les déplacements de train non autorisés dans de nouvelles sections de voie;
- **le système le long de la voie**, qui contrôle les signaux des voies ferrées, les aiguillages et les circuits de voie pour communiquer l'autorisation de mouvement à la locomotive;
- **le serveur d'arrière-guichet**, qui emmagasine toutes les données relatives au réseau ferroviaire et aux trains qui l'exploitent, comme les limites de vitesse, la composition des voies, la vitesse des locomotives individuelles et la composition des trains, et qui transmet à chaque train l'autorisation de se déplacer dans de nouveaux segments de la voie.

La radio PTC220 est une radio simplex utilisant la modulation par répartition dans le temps (TDD) ainsi que des canaux de 25 KHz. La radio est capable de prendre en charge trois schémas de modulation différents en fonction des besoins et du dispositif. Un canal commun utilise la modulation DPAM et les canaux TDD restants sont à plein débit (32 Kbits) ou à demi-débit (16 Kbits). La figure 2.1 présente les caractéristiques détaillées des trois éléments principaux d'un système PTC.

|                               | Radio le long de la voie              | Radio de la locomotive                | Radio fixe                            |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Application</b>            | Installations éloignées fixes         | Installations éloignées mobiles       | Installations de station de base      |
| <b>Bande de fréquences</b>    | 217,6 – 222,0 MHz                     | 217,6 – 222,0 MHz                     | 217,6 – 222,0 MHz                     |
| <b>Modulation (émission)</b>  | 4FM, 16 kbit/s                        | 4FM, 16 kbit/s<br>n/4DQPSK, 32 kbit/s | 4FM, 16 kbit/s<br>n/4DQPSK, 32 kbit/s |
| <b>Modulation (réception)</b> | 4FM, 16 kbit/s<br>n/4DQPSK, 32 kbit/s | 4FM, 16 kbit/s<br>n/4DQPSK, 32 kbit/s | 4FM, 16 kbit/s<br>n/4DQPSK, 32 kbit/s |
| <b>Espacement des canaux</b>  | 25 KHz                                | 25 KHz                                | 25 KHz                                |

Figure 2.1 Caractéristiques d'une radio PTC<sup>12</sup>

<sup>11</sup> <https://www.aar.org/policy/positive-train-control> [En anglais seulement]

<sup>12</sup> Renseignements fournis par Enzo De Benetti, CN



## **2.4 CELLULAIRE/ INTERNET SANS FIL**

Ces dernières années, les communications cellulaires sont devenues l'une des plateformes les plus populaires utilisées par les chemins de fer en raison de leur commodité, de leur facilité d'utilisation et de leur maintenance relativement faible. Par exemple, le CN utilise le cellulaire pour télécharger de l'information à partir d'emplacements le long de la voie, pour extraire des données des systèmes d'inspection de l'équipement installés le long de la voie ou pour accéder à des stations de base radio à partir des lignes principales et secondaires. Les travailleurs utilisent aussi une connexion cellulaire pour obtenir les autorisations d'accès à une voie, pour accéder aux courriels et pour assurer le suivi des demandes d'inspection. De plus, certains systèmes en usage dans les locomotives du CN — le système Trip Optimizer de General Electric (GE), le consignateur d'événements et écran d'affichage et d'assistance au mécanicien de locomotive (LEADER) de New York Air Brake et la gestion de la consommation en carburant de Wi-Tronix L.L.C. — fonctionnent avec une connexion cellulaire<sup>13</sup>.

Le Wi-Fi, répandu dans presque tous les lieux de travail aujourd'hui, est largement utilisé par l'industrie ferroviaire pour accéder aux réseaux d'entreprise et à Internet. Cependant, en raison de la nature de cette bande radio exempte de licence largement utilisée, sa fiabilité et son temps de latence ne sont pas compatibles avec les applications ferroviaires destinées aux communications essentielles.

### **Internet sans fil à bord du train de voyageurs**

Via Rail a exploité la première génération de Wi-Fi à la fin des années 1990. Ces systèmes expérimentaux qui reliaient les trains aux réseaux via des liaisons par satellite étaient offerts en tant que service aux passagers en 2006. Bien que le service fonctionne raisonnablement bien, il a connu quelques problèmes techniques qui ont été résolus à temps.

---

<sup>13</sup> [http://www.progressiverailroading.com/csx\\_transportation/article/Railroad-communications-technology-from-cellular-to-radio-to-satellite-to-Wi-Fi--30947](http://www.progressiverailroading.com/csx_transportation/article/Railroad-communications-technology-from-cellular-to-radio-to-satellite-to-Wi-Fi--30947)



La carte ci-dessous montre où ce service est disponible.

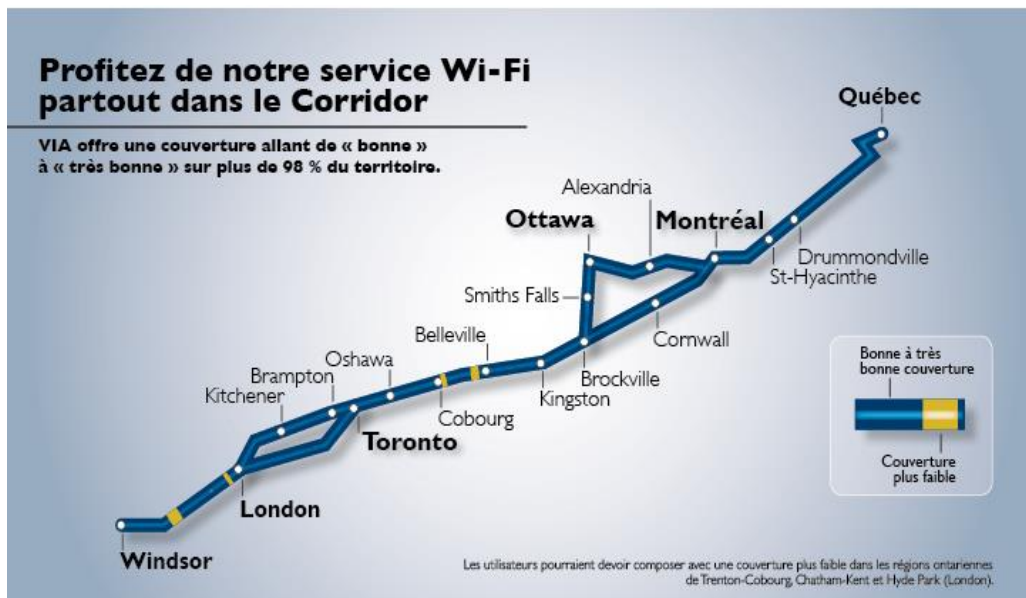


Figure 2.2 Zone de service Wi-Fi<sup>14</sup>

En janvier 2011, VIA Rail a mis en œuvre un nouveau système Internet sans fil ultramoderne le long du corridor Québec-Windsor. Depuis lors, tous les trains circulant dans ce couloir ont été équipés d'une connexion Wi-Fi. Ce système maintient les passagers connectés avec un taux de couverture de 99,5 % entre Québec et Windsor.

Le toit d'une des voitures les plus à l'avant de chaque train (appelée aussi « voiture-cerveau ») porte huit antennes qui transmettent le signal Wi-Fi (figure 2.3). Si le signal est faible près d'une antenne, il sera souvent fort près de l'une des sept autres, de sorte que les signaux se perdent moins et les téléchargements sont plus rapides. Chacune des autres voitures du train est connectée à la « voiture-cerveau » via une liaison à grande vitesse, ce qui permet une connexion renforcée de l'avant vers l'arrière du train et un service fiable pour tous les passagers de chaque voiture.

<sup>14</sup> <http://www.viarail.ca/fr/infos-voyages/services-a-bord/free-wifi>



Figure 2.3 Configuration des antennes de VIA Rail

La fiabilité du système de VIA Rail repose principalement sur le fait qu'il y a trois fournisseurs de services sans fil le long du corridor Québec-Windsor. Au lieu de dépendre d'un fournisseur unique, VIA Rail fait appel aux trois. Le système Wi-Fi du train balaie constamment les signaux et choisit le plus fort dans une zone donnée. En conséquence, il n'y a pratiquement pas de « trous noirs » le long de la route<sup>15</sup>.

### 3. PERSPECTIVES MONDIALES

---

En 2015, l'Union internationale des chemins de fer (UIC) a commencé à travailler sur la spécification des exigences de l'utilisateur pour son futur système de communications mobiles ferroviaires (FSCMF), qui remplacera la technologie GSM-R. L'UIC était motivée à remplacer la technologie GSM-R en raison de son obsolescence, du rendement limité de la bande étroite et des problèmes de brouillage de la bande adjacente.

L'organisme de normalisation Projet de partenariat de troisième génération (3GPP) — un projet collaboratif visant à élaborer des spécifications de matériel mondialement acceptables pour les systèmes mobiles de 3G — est à élaborer les exigences nécessaires pour la mise en œuvre du FSCMF, afin de garantir que les normes LTE répondent aux exigences de l'utilisateur. Selon le plan actuel, le remplacement de la technologie GSM-R sera possible à partir de la version 15 du 3GPP, qui devrait fournir la première ébauche des normes 5G au cours du second semestre de 2017.

---

<sup>15</sup> Renseignements fournis par Frederik Chevrier, VIA Rail





La figure 3.1 montre toutes les technologies actuellement utilisées en Europe, en Chine, au Japon et en Corée du Sud, ainsi que les technologies associées aux différentes exigences de l'exploitation ferroviaire<sup>16</sup>.

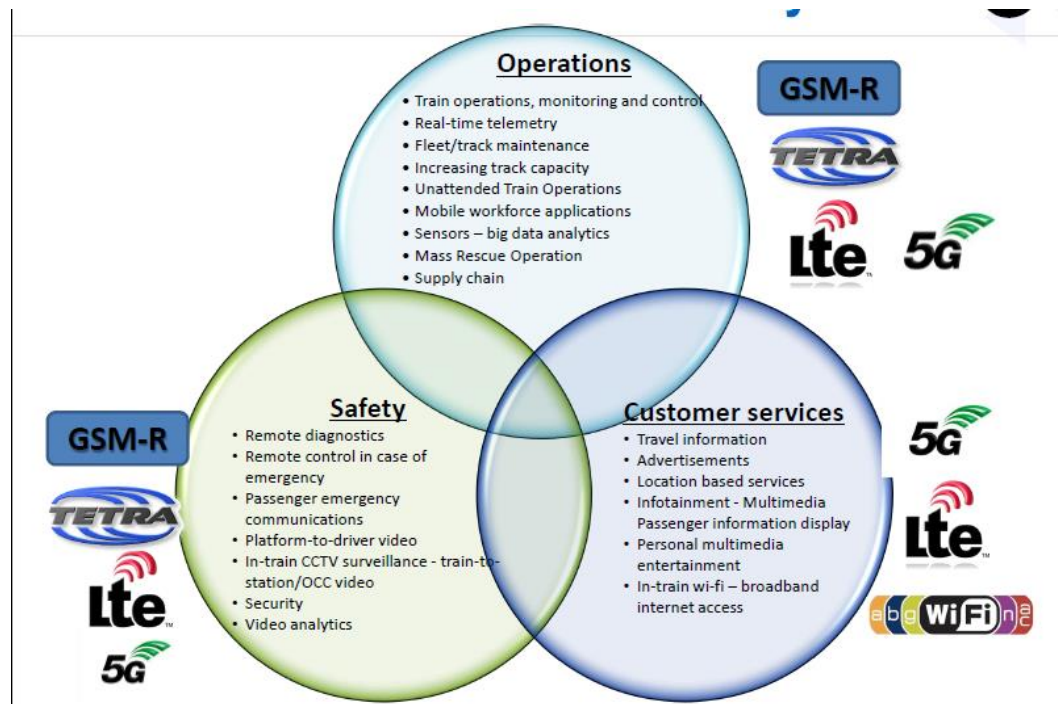


Figure 3.1 Technologies ferroviaires mondiales actuelles<sup>17</sup>

Il ne fait aucun doute que la technologie de la 5G offre de grandes possibilités aux chemins de fer du monde entier. Elle permettra notamment aux voyageurs d'affaires de rester connectés, d'accéder à leur courriel, mais aussi à des vidéos, et de transférer un grand volume de données. Les voyageurs de loisir pourront télécharger des films ou jouer à des jeux en ligne... et même la réalité virtuelle dans les trains de voyageurs sera possible à l'avenir. VIA Rail cherchant à introduire le service express au Canada, cette connectivité accrue et les services supplémentaires qu'elle permettra séduiront les passagers. Or, ces nouvelles technologies, en plus d'offrir plus de flexibilité et de services aux passagers pendant leurs déplacements, amélioreront grandement l'efficacité des trains ainsi que la sécurité ferroviaire.

<sup>16</sup> <http://uic.org/gsm-r> [En anglais seulement]

<sup>17</sup> Présentation de Bharat Bhatia, Motorola Solutions à la 38<sup>e</sup> réunion du WWRF.



#### 4. SPECTRE POTENTIEL POUR LA COMMUNICATION FERROVIAIRE AU-DELÀ DE 2020

##### 4.1 700 MHz – SÉCURITÉ PUBLIQUE

Le 108 MHz de spectre débloqué dans la bande de fréquences de 698 à 804 MHz était constitué d'un bloc de 18 canaux de télévision qui sont devenus disponibles pour une utilisation mobile après le passage, au Canada, de la télévision analogique à la télévision numérique en août 2011. Plus bas en fréquence que les autres bandes utilisées par les fournisseurs de service radio, ce bloc est caractérisé par une plus grande longueur d'onde et de meilleures caractéristiques de propagation radio.

Sans être nécessairement plus rapide, ce spectre a un avantage du fait qu'il pénètre mieux les structures avec moins d'atténuation que le spectre existant. Il est aussi en mesure de se propager sur de plus longues distances, ce qui réduit la nécessité d'ériger des infrastructures coûteuses telles que des stations de base (y compris les tours radio) pour les réseaux cellulaires. Les fournisseurs, tels que les opérateurs de réseaux mobiles, peuvent ainsi bénéficier de coûts inférieurs.

Comme indiqué précédemment, ISDE a tenu en 2014 une vente aux enchères de ce spectre, qui a été acheté par divers fournisseurs de services. Il a alors été réparti en sept blocs de licences dans 14 zones de service, pour un total de 98 licences. Voici le plan de répartition de la bande (figure 4.1) :

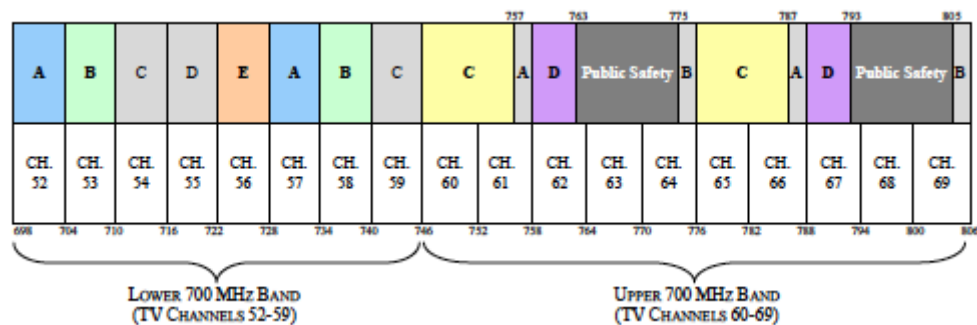


Figure 4.1 Plan d'attribution de la bande de 700 MHz



Cependant, la mise aux enchères ne comprenait pas le bloc D du spectre, ISDE ayant plutôt décidé de tenir de plus amples consultations pour déterminer la meilleure façon de le répartir. ISDE avait déjà réservé dans la bande de 700 MHz un bloc de 5 + 5 MHz (le bloc SPLB) à l'utilisation des services à large bande par la sécurité publique. Comme le bloc SPLB et le bloc D sont adjacents dans la bande de 700 MHz, ISDE a décidé de les combiner pour former un bloc apparié de 10 + 10 MHz, appelé le « spectre à large bande destiné à la sécurité publique dans la bande de 700 MHz » (figure 4.2).

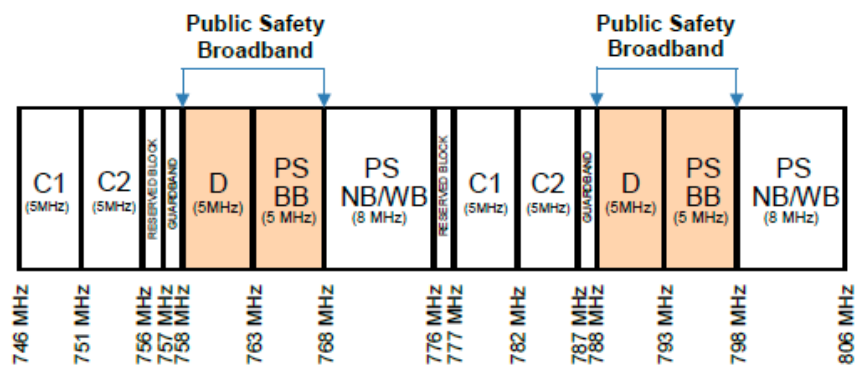


Figure 4.2 Spectre destiné à la sécurité publique dans la bande de 700 MHz<sup>18</sup>

En juin 2017, ISDE a publié dans la Gazette un avis précisant les recommandations suivantes au sujet de l'utilisation partagée de ce spectre<sup>19</sup> :

- Permettre l'utilisation commerciale de la capacité excédentaire du spectre de la sécurité publique, ce qui constituerait un moyen rapide et abordable de satisfaire aux exigences du spectre à large bande destiné à la sécurité publique.
- S'associer à des fournisseurs de services commerciaux permettrait un partage de l'infrastructure, ce qui éviterait la prolifération inutile de tours et de stations cellulaires, étant donné que ces opérateurs possèdent déjà l'infrastructure nécessaire pour exploiter un réseau sans fil à large bande.
- Permettre l'utilisation commerciale de la capacité excédentaire, favorisant ainsi une utilisation efficace du spectre, en accordant toutefois la priorité aux utilisateurs de la sécurité publique.

<sup>18</sup> <http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf11289.html>.

<sup>19</sup> <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf11299.html>.



- Accorder la priorité et le droit de préemption aux services de police, aux pompiers et aux organismes de services médicaux d'urgence, mais saisir l'occasion d'offrir des services à un plus grand nombre d'utilisateurs de la sécurité publique, comme les services publics, les services de transport en commun et les organismes de santé.
- Adopter une approche technologiquement neutre qui garantit l'interopérabilité nationale et transfrontalière. Si la priorité et les droits de préemption sont donnés aux services de sécurité publique, les titulaires de licence disposeront de la souplesse nécessaire pour s'adapter aux diverses solutions technologiques.
- Engager des discussions avec toutes les parties intéressées, y compris le groupe de travail fédéral, provincial et territorial sur l'interopérabilité (GTFPTI), les fournisseurs de services et les fabricants, en vue d'arriver à des recommandations sur le partage entre les utilisateurs commerciaux de la capacité inutilisée du spectre à large bande destiné à la sécurité publique dans la bande de 700 MHz, sur les critères de priorité et de préemption, sur les exigences techniques liées à l'interopérabilité à l'échelle du pays, etc.

#### **Décision d'ISDE**

##### *Spectre de la sécurité publique :*

D-4 : L'utilisation commerciale de la capacité inutilisée sera permise pourvu que les utilisateurs de la sécurité publique aient la priorité et des droits de préemption sur toute forme d'utilisation commerciale.

D-5 : ISDE n'imposera pas de technologie particulière, toutefois, toute technologie employée pour le spectre à large bande destiné à la sécurité publique dans la bande de 700 MHz doit assurer une interopérabilité nationale et transfrontalière, garantir la priorité et la préemption pour les services de sécurité publique, et se conformer à la solution d'interopérabilité relative au « partage des systèmes fondés sur les normes »<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> <http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf11289.html>.



Important : la décision quant aux blocs D-4 et D-5 constitue pour l'ACFC une occasion d'entamer des discussions avec ISDE et Sécurité publique Canada sur l'utilisation du spectre dans la bande de 700 MHz. Cependant, le Canada et les États-Unis disposent de politiques distinctes en ce qui concerne le spectre associé à la sécurité publique. Le gouvernement américain a mis en place un organisme, appelé FirstNet, responsable de la construction du réseau de sécurité publique. Cet organisme négocie la construction du réseau avec chaque état, mais chacun d'eux a le droit de refuser et de construire son propre réseau. Ces différences entre les politiques canadiennes et américaines pourraient poser problème au moment de la collaboration avec les chemins de fer américains.

Malgré l'avis qu'ISDE a publié dans la Gazette, aucun budget n'a été alloué par Sécurité publique Canada ou par les gouvernements provinciaux ou municipaux pour la construction d'un réseau de sécurité publique. Les discussions actuelles tournent autour de la possibilité d'un partenariat public-privé (PPP). Il semble que des discussions sont en cours entre trois grands fournisseurs et la communauté de la sécurité publique, mais aucune décision n'a encore été prise à ce sujet. Cependant, comme ces trois grands fournisseurs de services couvrent la plupart des régions urbaines et suburbaines du Canada avec leur spectre dans la bande de 700 MHz, les chemins de fer pourraient envisager la possibilité de se brancher sur leur réseau.

Dans certains pays, notamment la Corée du Sud, les chemins de fer et les organismes de sécurité publique partagent déjà le spectre (le gouvernement coréen a attribué à la sécurité publique 10 MHz répartis entre les opérateurs ferroviaires). En Europe, on envisage aussi cette possibilité. D'autres pays, comme la Chine, ont réservé des fréquences aux chemins de fer. L'attribution de fréquences réservées aux chemins de fer constituerait un défi au Canada, particulièrement dans le Nord, les opérateurs n'ayant que peu ou pas de ressources pour déployer la technologie LTE sur l'ensemble de leurs zones géographiques respectives. Toutefois, le partage du spectre de la sécurité publique permettrait aux opérateurs ayant des vues similaires d'atteindre des objectifs communs.

De plus, les chemins de fer canadiens disposent déjà en général d'une infrastructure de communications, qu'il s'agisse de fibre ou de micro-ondes, ainsi que de salles d'équipement réparties dans leur zone d'exploitation (y compris les tunnels). Le partage du spectre permettrait aux organismes de sécurité publique d'obtenir une couverture, de la part des chemins de fer, dans des zones qu'ils n'auraient pas les moyens de couvrir autrement. En retour, les chemins de fer y gagneraient à pouvoir utiliser le spectre. Le contrôle des trains et l'application de la vidéosurveillance pourraient relever de la « sécurité publique » et justifier le même niveau et la même qualité de service qu'on retrouve dans le trafic de communications de sécurité publique d'urgence<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Improving Rail Connectivity Through 3GPP Technology, **Proceedings of the 2017 Joint Rail Conference, JRC2017, du 4 au 7 avril 2017, Philadelphie, PA, États-Unis (DOCUMENT ERICSSON).**



L'ACFC, de concert avec les principaux chemins de fer canadiens, est bien placée pour assumer un rôle de leadership dans les discussions avec ISDE et Sécurité publique Canada sur l'utilisation du spectre. L'Association peut aussi engager un dialogue avec ISDE dans le cadre d'une demande de renseignements basée sur les quatre concepts de base suivants :

- Mettre en œuvre des modèles commerciaux et opérationnels pour un réseau à large bande dédié à la sécurité publique (RLBSP);
- Répondre aux exigences du système et des utilisateurs (p. ex. interopérabilité, couverture, priorité et préemption nationales);
- Politiques, réglementations et modèles de gouvernance;
- Écosystème d'applications, de services et de dispositifs pour le réseau à large bande dédié à la sécurité publique.

## 4.2 600 MHz

### 4.2.1 Enjeux quant aux politiques touchant la bande de 600 MHz

En 2014, ISDE a publié dans la Gazette un avis concernant des consultations publiques sur la réattribution aux services mobiles du spectre de la bande de 600 MHz. Le spectre servait à la télévision en direct, aux systèmes à large bande en régions rurales éloignées (SLBRRE), aux dispositifs de faible puissance (DFP, comme les systèmes à microphones et à caméra vidéo sans fil), aux dispositifs fonctionnant dans la partie inutilisée du spectre de télévision (TVWS) et aux systèmes de télémétrie médicale sans fil (STMSF). Cette consultation avait pour but de réattribuer aux opérateurs de services mobiles d'importantes quantités de spectre appartenant aux radiodiffuseurs. (Ce spectre est également utilisé pour le service de radioastronomie (RAS), mais ISDE n'envisage pas pour le moment de modification à l'attribution du spectre de la bande RAS [608-614 MHz].)<sup>22</sup>.

Aux États-Unis, la FCC a déjà mis aux enchères la bande de 600 MHz. Cette vente aux enchères a rapporté au total 19,8 milliards de dollars américains, dont la majorité provenait de l'entreprise T-Mobile, qui a payé 7,9 milliards de dollars pour acquérir 45 % du nouveau spectre. En tant que transporteur ayant le troisième plus grand nombre d'abonnés aux États-Unis, T-Mobile utilisera initialement le spectre pour couvrir les régions rurales, puisque les basses fréquences se propagent plus loin que les fréquences plus élevées<sup>23</sup>.

Le plan de répartition de la bande de 600 MHz du Canada comprend un spectre autorisé de 70 MHz ou sept blocs appariés de 5 MHz. Le plan (614-698 MHz) comprend une bande de liaison montante (663-698 MHz) et une bande de liaison descendante (617-652 MHz) pour les licences de 600 MHz, une séparation entre canaux duplex (652-663 MHz) entre ces bandes, et une bande de garde (614-617 MHz) dans la bande de liaison descendante<sup>24</sup>. La figure 4.3 illustre le plan de répartition.

<sup>22</sup> [https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/SLPB-005-14F.pdf/\\$file/SLPB-005-14F.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/SLPB-005-14F.pdf/$file/SLPB-005-14F.pdf).

<sup>23</sup> <http://www.telecomtv.com/articles/5g-world/the-challenges-of-deploying-5g-15762/> [En anglais seulement]

<sup>24</sup> [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/DA-17-314A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-17-314A1.pdf) [En anglais seulement]

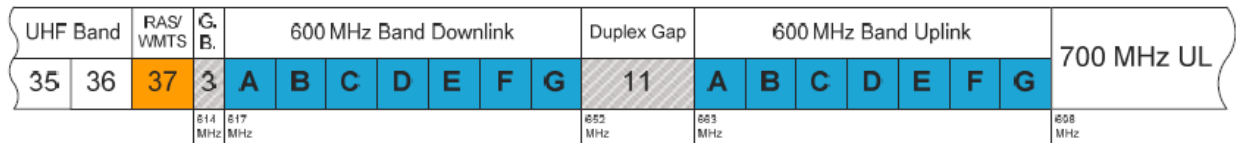


Figure 4.3 Plan de répartition de la bande de 600 MHz<sup>25</sup>

#### 4.2.2 Propriétés de propagation de la bande de 600 MHz

Plus la fréquence du signal radio est élevée, plus la distance parcourue dans l'air est courte. Inversement, plus la fréquence est basse, plus elle se propage. Les signaux à basse fréquence sont également capables de mieux pénétrer les objets tels que les bâtiments, les fenêtres et les arbres. En général, les opérateurs de services mobiles préfèrent les fréquences plus élevées, car il est plus facile d'en contrôler la propagation et de conserver de petites cellules. Une plus grande quantité de petites cellules dans une zone donnée fournira plus de capacité qu'une seule cellule. Ainsi, lorsqu'un opérateur a besoin d'augmenter la capacité dans une zone donnée, il ajoutera généralement des secteurs aux macrocellules, puis tentera d'insérer des petites cellules d'un type ou d'un autre.

#### 4.2.3 Occasions pour les chemins de fer

L'enchère canadienne de la bande de 600 MHz n'aura probablement pas lieu avant deux ou trois ans encore, mais l'ACFC doit saisir l'occasion d'amorcer des discussions avec ISDE en vue d'examiner la possibilité d'attribuer un bloc de fréquences dans la bande de 600 MHz pour les chemins de fer. L'accès à ce bloc de fréquences donnerait aux chemins de fer canadiens la capacité de spectre supplémentaire nécessaire pour créer un système de communication ferroviaire plus moderne. Cependant, des négociations et des discussions devront encore avoir lieu avec les États-Unis, étant donné qu'ils ont déjà mis aux enchères certaines des fréquences dans la bande de 600 MHz.

<sup>25</sup> <http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf11215.html>.





## 5. TECHNOLOGIES DISPONIBLES ET POTENTIELLES POUR LA COMMUNICATION FERROVIAIRE AU-DELÀ DE 2020

Les systèmes sans fil de pointe comprennent de nombreuses fonctionnalités qui surpassent, et de loin, les possibilités envisagées dans les années 1980, au moment où les systèmes mobiles à partage de plusieurs canaux (SMPPC) et la radio cellulaire ont été mis en œuvre. Ces nouveaux systèmes sans fil sont dotés de capacités d'applications multimédias de haute qualité dans un vaste éventail de services et de plateformes, ce qui améliore considérablement la performance et la qualité par rapport aux services précédents.

Ces systèmes, qui fonctionnent dans des conditions de mobilité variant de faible à élevée, offrent une large gamme de débits de données en réponse aux demandes des utilisateurs et des services dans des environnements multi-utilisateurs. De tels systèmes permettent d'accéder à une panoplie de services de télécommunication, y compris des services mobiles avancés pris en charge par des réseaux mobiles et fixes. Les systèmes sont pris en charge par la technologie LTE, qui est en usage partout au Canada et dans le monde. Les opérateurs ont modernisé leurs réseaux en mettant en œuvre la technologie LTE avancée (LTE-A) dans les grandes régions urbaines, assurant une couverture variant entre modérée et élevée dans les régions rurales.

La figure 5.1 montre l'évolution des technologies depuis 1980. La figure 5.2 montre l'évolution de la capacité des technologies, et la figure 5.3 montre la progression de la vitesse de transfert des données d'une génération à l'autre.

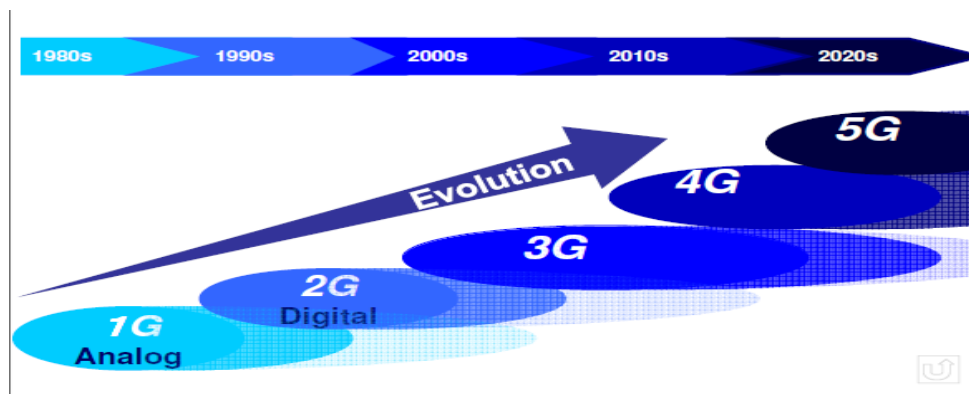


Figure 5.1 Évolution des technologies<sup>26</sup>

<sup>26</sup> NTT DoCoMo



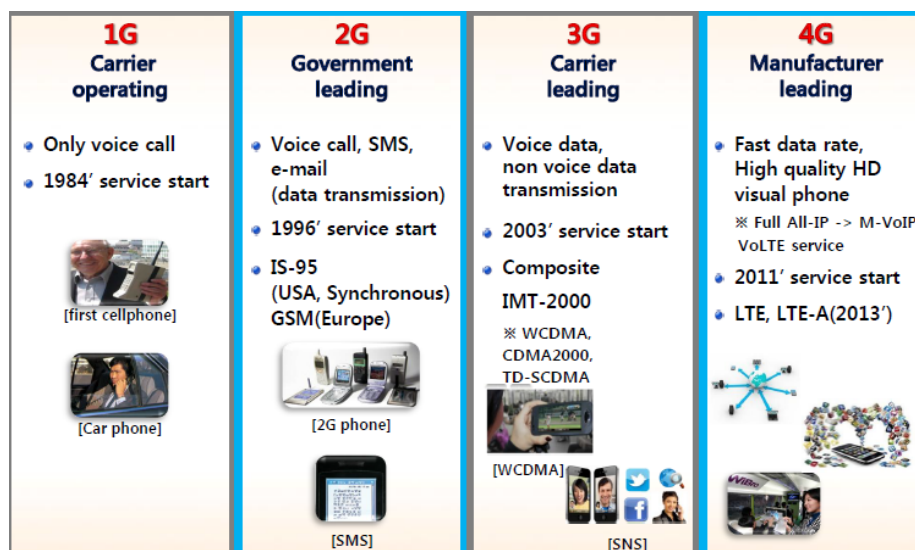


Figure 5.2 Évolution de la capacité des technologies<sup>27</sup>

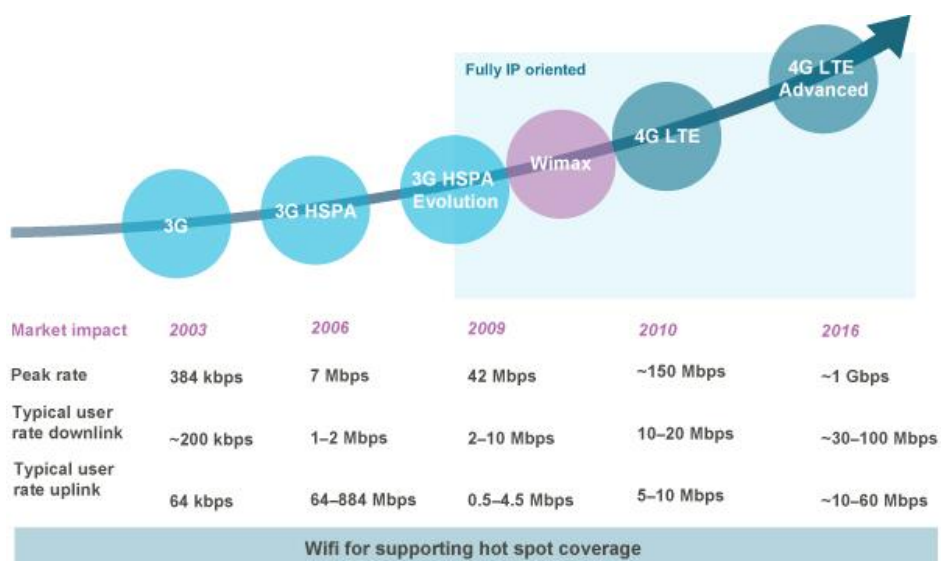


Figure 5.3 Progression de la vitesse de transfert des données d'une génération à l'autre

<sup>27</sup> Forum de Corée sur la 5G.



La 5G, appelée IMT-2020 par l'UIT, a suscité un intérêt croissant au cours de la dernière année. Les fabricants et les fournisseurs de services sont à tester cette technologie et prévoient un déploiement rapide à partir de 2020.

Les sections suivantes décrivent certaines des technologies qui ont déjà été déployées dans le monde ou dont le déploiement est prévu au cours de la prochaine décennie.

### **5.1 GSM-R**

La technologie GSM-R (ou système mondial de communications mobiles – chemins de fer) est utilisée par les systèmes ferroviaires du monde entier, en particulier en Europe, pour offrir un réseau de radiocommunications interopérable pour les communications vocales. En Europe, le réseau GSM-R sert aussi de support de communication de données pour les systèmes européens de contrôle des trains (ETCS). Les systèmes de communication voix et données sont également utilisés pour un certain nombre d'autres applications.

En Amérique du Nord, la technologie GSM n'a été envisagée qu'au milieu des années 1990. Lorsque les systèmes cellulaires ont fait leur apparition au Canada, la technologie était alors analogique. Les réseaux cellulaires ont évolué pour se diriger vers le numérique jusqu'à l'arrivée du réseau à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT). Le premier réseau GSM a été mis en œuvre au Canada en 1996<sup>28</sup>.

Le réseau GSM-R, qui est issu de la technologie GSM modifiée, a été conçu pour fournir des exigences spécifiques en matière de communication ferroviaire. En raison des modifications qui ont dû être apportées au produit pour fournir la fonctionnalité « R » (chemins de fer) et de la nécessité d'utiliser un spectre radio non commercial, une grande partie de l'équipement utilisé pour exploiter la technologie GSM-R comprend des équipements spéciaux ou des variantes logicielles, ou les deux. La modification d'une technologie de série en vue d'exploiter le réseau GSM-R a coûté cher aux chemins de fer, tant en dépenses de capital qu'en dépenses de fonctionnement.

Le réseau GSM-R, c'est un fait reconnu, sera obsolète d'ici 2030. Les chemins de fer européens ont déjà produit un document sur les besoins des utilisateurs et lancé des travaux pour déterminer une technologie devant remplacer la technologie GSM-R. La technologie de remplacement devra tirer parti des expériences passées et se conformer aux exigences des chemins de fer. Ce document représente la première étape vers la détermination et la définition, de manière cohérente et indépendamment de la technologie, des besoins des utilisateurs. Il permettra aussi de tracer les prochaines étapes menant à la définition du futur système de communications mobiles ferroviaires (FSCMF)<sup>29</sup>. Lors de la récente réunion plénière portant sur le 3GPP, un point à l'étude a également été approuvé pour étudier les exigences d'un nouveau système de communication ferroviaire devant succéder au réseau GSM-R<sup>30</sup>.

---

<sup>28</sup> <http://www.fido.ca/consumer/aboutus?setLanguage=fr>.

<sup>29</sup> Union internationale des chemins de fer – Exigences futures en matière de communication ferroviaire.

<sup>30</sup> 3GPP TSG-SA WG1 Réunion n° 74 S1-161588, Venise, Italie, du 9 au 13 mai 2016.



Avec les nouvelles exigences propres aux chemins de fer, le réseau GSM-R est déjà confronté à de nombreux défis, dont les suivants :

- Le cycle de vie du système tire à sa fin et le soutien des fabricants est incertain au-delà de 2030.
- Certaines régions nécessiteront une capacité supplémentaire pour prendre en charge les opérations ferroviaires.
- Le déploiement du système européen de gestion du trafic ferroviaire a accru la pression sur le réseau GSM-R.

Dans l'optique de la mise à l'essai d'une technologie de remplacement d'ici 2020 et de son déploiement d'ici 2022, l'UIT-T a publié dans son document intitulé *Future Railway Mobile Communication System – FRMCS* des spécifications relatives aux besoins des utilisateurs. Pour y donner suite, 3GPP, l'organisme de normalisation (Groupe de travail SA1) a entamé une étude initiale visant à déterminer, parmi les exigences du FSCMF, lesquelles relèveront de 3GPP, ainsi qu'à analyser les lacunes de la fonctionnalité existante dans la version 14 et à déterminer le travail nécessaire dans la version 15 du 3GPP<sup>31</sup>.

## 5.2 SYSTÈME TETRA

Le système TETRA est une norme ouverte élaborée par l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI ou Institut européen des normes de télécommunications). Son objectif principal vise à définir une série d'interfaces ouvertes, ainsi que des services et des installations, qui permettront aux fabricants indépendants de développer des infrastructures et des produits terminaux qui seront interopérables et qui satisferont les besoins des organisations utilisant des services traditionnels de radiocommunication professionnelle (PMR).

Bien que l'ETSI ait surtout pour mandat d'élaborer des normes pour l'Europe, bon nombre des normes qu'elle a élaborées sont également adoptées dans le monde entier (comme en témoigne l'adoption de la norme GSM, la première norme technologique sans fil élaborée par ETSI). Le système TETRA au sein d'ETSI, maintenant appelé le Comité technique chargé du système TETRA au sein d'ETSI, avait pour responsabilité initiale de fournir un ensemble de normes relatives au système de réseau de communication numérique PMR à partage de canaux pouvant être déployé en Europe occidentale. Le système TETRA a été déployé depuis dans de nombreuses régions et nations à l'extérieur de l'Europe, de sorte que cette norme est maintenant reconnue à l'échelle mondiale. En fait, la norme TETRA a récemment été utilisée au Canada par la Société de transport de Montréal<sup>32</sup> et par la Commission de transport de Toronto (TTC)<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> Idem

<sup>32</sup> <https://www.rrmediagroup.com/News/NewsDetails/newsID/15529> [En anglais seulement]

<sup>33</sup> <http://www.seapura.com/news-events/news/2013/sepura-delivers-tetra-system-to-toronto-transit-commission/> [En anglais seulement]



Les solutions technologiques contenues dans les normes TETRA ont été et sont encore élaborées essentiellement par des fabricants respectés et de renom tels que Motorola, Airbus et Kenwood. Ces entreprises offrent des produits et services sur le marché de la radiocommunication professionnelle depuis plusieurs décennies. Les normes TETRA devraient sans doute poursuivre leur évolution au-delà de la version 1 et de la version 2 de manière à fournir des améliorations supplémentaires en fonction des besoins des utilisateurs, des innovations technologiques et de l'élaboration d'autres normes parallèles.

En résumé, les normes TETRA évolueront au diapason, tout comme d'autres normes ouvertes telles que les normes GSM II +, GPRS (service général de paquets radio), EDGE (taux de données améliorées pour l'évolution globale), etc., vers le système universel de télécommunication mobile (UMTS) / 3G / 4G, prenant en charge de puissantes applications multimédias et des données à haut débit. En outre, l'intérêt et les solutions technologiques visant la prochaine génération de réseaux seront surtout orientés vers les réseaux publics. Étant donné que les réseaux analogues à partage de canaux de type MPT 1327 sont encore déployés dans le monde entier, plus de 28 ans après le développement de la technologie, tout porte à croire que les réseaux TETRA seront disponibles pendant au moins 25 ans encore. Les organisations utilisatrices et les fabricants et fournisseurs devraient ainsi bénéficier d'un bon retour sur leurs investissements<sup>34</sup>.

### **5.3 ÉVOLUTION À LONG TERME**

La technologie d'évolution à long terme (technologie LTE) est entièrement basée sur le protocole Internet (IP), de sorte qu'elle diffère de l'approche traditionnelle basée sur les circuits des systèmes actuels. Le protocole, comme Internet, utilise des paquets et un canal radio LTE est partagé simultanément par de nombreux utilisateurs. Par conséquent, contrairement aux circuits à commutation, la technologie LTE contourne le problème des circuits à occupation simultanée. Elle permet de mettre de l'avant la priorité et d'éliminer le concept de préemption.

Comme la technologie LTE est basée sur le protocole IP, le réseau est en mesure de centraliser entièrement tous les réseaux de communication en un seul réseau à la fois mobile LTE et fixe IP ou de commutation multiprotocole par étiquette (MPLS). Parmi les avantages de la technologie LTE, notons les suivants :

---

<sup>34</sup> <https://tandcca.com/tetra/tetra-standard/> [En anglais seulement]



- Des économies de conception, de gestion et de maintenance du réseau.
- Un faible temps de latence (jusqu'à 10 ms), ce qui lui permet de prendre en charge d'importantes applications en temps réel et d'offrir une gestion des services de qualité supérieure.
- La possibilité de configurer le débit binaire, la latence, la perte maximale de paquets, la priorité et tous les autres paramètres clés de transmission en fonction de chaque application et chaque utilisateur, et de modifier facilement ces paramètres à l'appui, par exemple, de la gestion des incidents.
- La souplesse : la technologie peut être déployée dans de nombreuses bandes de fréquences différentes et s'adapter à différentes largeurs de bande de canaux.
- La sécurité et la résilience : les normes de la technologie LTE comprennent de nombreuses fonctions liées au cryptage et à l'authentification, de sorte que la technologie est sécurisée par défaut. De plus, un réseau LTE correctement conçu dispose de plusieurs mécanismes de reconfiguration automatique en cas de panne réseau, ce qui est vital pour un réseau de communication ferroviaire connecté en permanence<sup>35</sup>.

Les utilisateurs de la technologie LTE bénéficieront d'une performance comparable à celle d'un réseau Ethernet. Par ailleurs, le réseau peut être configuré en fonction des exigences rigoureuses des utilisateurs, en accordant la priorité, par exemple, à la performance et au temps de réponse. La technologie LTE peut remplacer les lignes terrestres commerciales en raison des largeurs de bandes supérieures, de la faible latence et de la capacité élevée de ces technologies. Ces caractéristiques amélioreront l'efficacité des réseaux en ce qui a trait à la transmission en temps réel des données vidéo et de l'information. Les organismes de sécurité publique envisagent déjà de déployer la technologie LTE pour répondre à leurs besoins opérationnels.

On assiste déjà à une convergence des technologies entre les exigences de sécurité publique et les besoins des entreprises et des consommateurs. La seule distinction réside dans le fait que la sécurité publique en Amérique du Nord s'est vu attribuer un espacement de fréquence de 20 MHz dans la bande de 700 MHz. Des discussions ont présentement cours ailleurs dans le monde sur la possibilité de faire la même chose.

---

<sup>35</sup> LTE-in-Rail-Public-Transport-StraWhite paper-NOKIA [En anglais seulement]



### 5.3.1 Service de « voix LTE » (VoLTE)

À l'origine, le système LTE était un système cellulaire entièrement IP utilisé uniquement pour transporter des données; pour transporter la voix, les opérateurs devaient soit se tourner vers les systèmes de 2G et de 3G, soit utiliser la voix IP (VoIP). Cependant, une norme de voix LTE, appelée VoLTE, a été élaborée pour que les fournisseurs de services aient accès à un système normalisé de transfert du trafic vocal LTE. La technologie LTE est déployée à une vitesse telle que la plupart des opérateurs envisagent d'adopter prochainement le service de VoLTE, et tous les principaux fournisseurs de services au Canada ont commencé à déployer la technologie<sup>36</sup>.

La technologie LTE a été déployée dans presque toutes les zones de service au Canada. Cette superposition des technologies mettra encore l'accent sur l'interopérabilité avec les technologies 3GPP existantes telles que l'UMTS et la GSM, de manière à assurer la coexistence de la technologie d'accès par paquets haut débit (HSPA+) et de la technologie LTE.

### 5.3.2 Technologie LTE avancée

La technologie LTE avancée (LTE-A), qui est capable d'offrir des vitesses de données plus élevées grâce à l'agrégation de multiples fréquences porteuses, est aussi disponible. Les canaux LTE normaux ont une largeur de 5 MHz, mais en les combinant en blocs de 10 MHz ou de 20 MHz, on atteint des vitesses de transmission de données plus élevées. Par exemple, les utilisateurs de Bell ont maintenant accès à des vitesses de téléchargement théoriques de pointe pouvant atteindre 750 Mbps (prévoir des vitesses moyennes de 25 à 220 Mbps) dans certaines régions. Cette vitesse est jusqu'à deux fois plus élevée qu'auparavant, mais il faut un combiné LTE-A pour y accéder.

La technologie LTE offre aussi des fonctions de gestion de la capacité qui ne sont pas disponibles dans les systèmes basés sur les circuits. Ses capacités à fournir une préemption et à laisser passer les communications les plus prioritaires sont supérieures. La technologie LTE offre 16 niveaux de priorité, dont certains peuvent être réservés aux utilisateurs prioritaires.

## 5.4 IMT-2020 (5G)

La demande sans cesse croissante pour le sans fil et le nombre renversant d'applications ont créé une demande pour des services à plus haute vitesse et à faible latence. C'est pourquoi de nombreux projets de recherche et essais sont en cours dans le monde pour répondre à ces besoins. Ces projets sont souvent appelés 5G (pour la 5<sup>e</sup> génération) ou télécommunications mobiles internationales-2020 (IMT) en termes de l'UIT. Certains fabricants utilisent par ailleurs une technologie publique à mi-chemin entre la 4G d'aujourd'hui et la technologie 5G du futur : 4.5 ou 4.9G.

---

<sup>36</sup> Étude de faisabilité - *Wireless Priority Services on the Next Generation of Networks in Canada* par Vino Vinodrai [En anglais seulement]



La 5G est en position de répondre aux demandes et aux contextes commerciaux de 2020 et au-delà. La société devrait devenir entièrement mobile et connectée grâce à cette technologie. Des dispositifs sans fil seront intégrés dans les voitures, la machinerie, les systèmes de transport et même le corps humain. Les gouvernements parlent de villes intelligentes qui intégreront des systèmes de communication dans tout, allant des feux de circulation à la collecte des ordures, en passant par le stationnement et le transport en commun.

La figure 5.4, créée selon la vision de l'UIT, indique ce à quoi on peut s'attendre de la technologie 5G (IMT-2020).

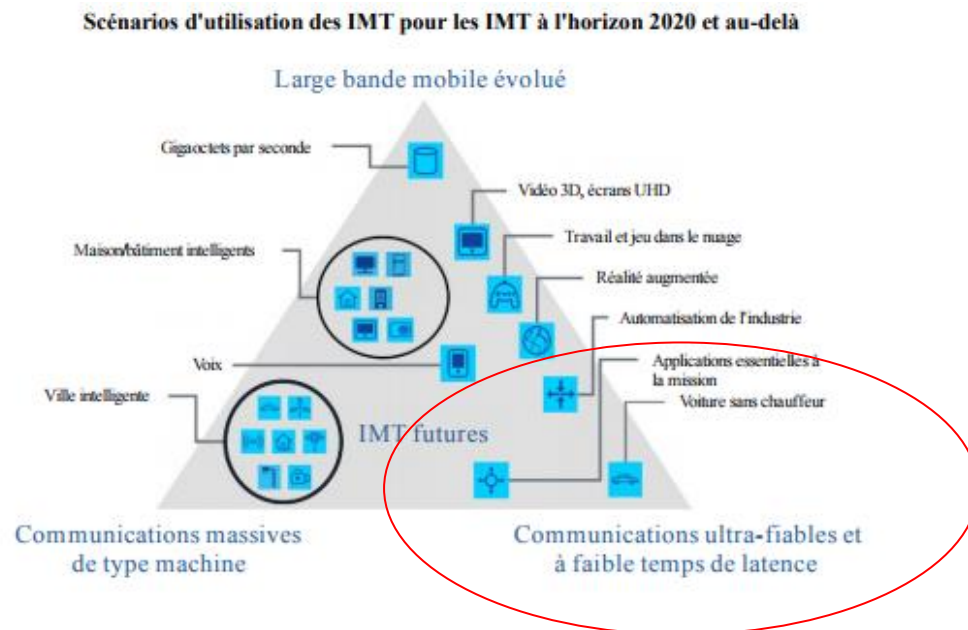


Figure 5.4 Capacités des IMT-2020<sup>37</sup>

La figure 5.5 montre plus explicitement les différents besoins en vitesses de données, fiabilité et temps de latence pour différentes applications. Le temps de latence est critique dans les applications où les interventions doivent être immédiates, comme dans le cas d'une chirurgie à distance.

<sup>37</sup> [Vision pour les IMT exposée dans le document de l'UIT](#)



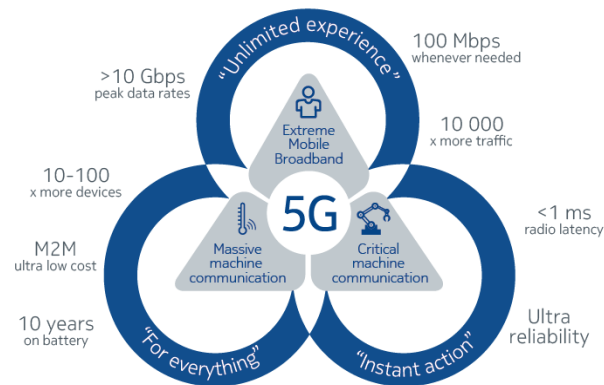


Figure 5.5 Diversité des services offerts pour la 5G<sup>38</sup>

## 5.5 TECHNOLOGIE DE RÉSEAU MAILLÉ

Les chemins de fer peuvent utiliser la technologie de réseau maillé, telle que la technologie sans fil fixe (comme le WiMAX, une norme technologique relative aux réseaux sans fil à longue portée utilisée pour les connexions mobiles et fixes), pour relier les gares en bordure de route et les points d'accès Wi-Fi à un emplacement central. L'encyclopédie libre Wikipédia<sup>39</sup> définit comme suit la technologie de réseau maillé :

*Un réseau maillé sans fil est un réseau de communication constitué de nœuds radio organisés dans une topologie de réseau maillé. Les réseaux maillés sans fil sont souvent constitués de clients maillés, de routeurs maillés et de passerelles. Les clients maillés sont souvent des ordinateurs portables, des téléphones portables et d'autres dispositifs sans fil, tandis que les routeurs maillés acheminent le trafic vers et depuis les passerelles qui peuvent, mais pas nécessairement, se connecter à Internet. La zone de couverture des nœuds radio, qui fonctionne comme un réseau indépendant, est parfois appelée « nuage maillé ». L'accès à ce nuage maillé est fonction des nœuds radio fonctionnant en harmonie les uns avec les autres pour créer un réseau radio. Un réseau maillé est fiable et offre une redondance. Lorsqu'un nœud ne peut plus fonctionner, les autres nœuds communiquent entre eux, directement ou par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs nœuds intermédiaires. Les réseaux maillés sans fil peuvent s'auto-former et s'auto-soigner, et fonctionner à l'aide de diverses technologies sans fil, y compris les technologies cellulaires 802,11, 802,15, 802,16, ou de combinaisons de plus d'un type. [TRADUCTION LIBRE]*

<sup>38</sup> NOKIA: [5G for Mission Critical Communication](#) [En anglais seulement]

<sup>39</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_mesh\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network) [En anglais seulement]





La technologie de réseau maillé peut être utilisée soit en remplacement de la connexion de fibres, soit en conjonction avec cette dernière. Si aucune installation de fibres n'existe dans la zone, un réseau maillé peut être configuré pour fournir une couverture, le nœud principal étant connecté au point de fibres le plus proche. Les coûts d'installation et de maintenance du réseau peuvent être partagés avec d'autres utilisateurs de la zone. Une excellente application de la technologie consisterait à installer des caméras de surveillance sur des propriétés ferroviaires éloignées ou non fréquentées.

## 5.6 SATELLITE

La technologie satellitaire, depuis l'arrivée des nouvelles générations de systèmes satellites, pourrait avoir un rôle à jouer dans la communication ferroviaire. Les satellites en orbite basse qui utilisent la technique de la constellation (groupes de satellites) offrent une plus grande couverture.

À l'heure actuelle, il existe quatre types de systèmes satellites :

- **Orbite basse terrestre (LEO)** : Orbite géocentrique dont l'altitude varie de 180 km à 2 000 km (1 200 mi).
- **Orbite moyenne terrestre (MEO)** : Orbite géocentrique dont l'altitude varie de 2 000 km (1 200 mi) à 35 786 km (22 236 milles), aussi appelée orbite circulaire intermédiaire.
- **Orbite géostationnaire (GEO)** : Orbite circulaire géocentrique située à une altitude de 35 786 kilomètres (22 236 milles). La période orbitale correspond à un jour sidéral, coïncidant avec la période de rotation de la Terre. La vitesse est d'environ 3 000 mètres par seconde (9 800 pieds / s).
- **Orbite terrestre haute (HEO)** : Orbite géocentrique située au-dessus de l'altitude de l'orbite géostationnaire de 35 786 km (22 236 mi).

La figure 5.6 illustrée ci-dessous montre la différence entre les différents systèmes.

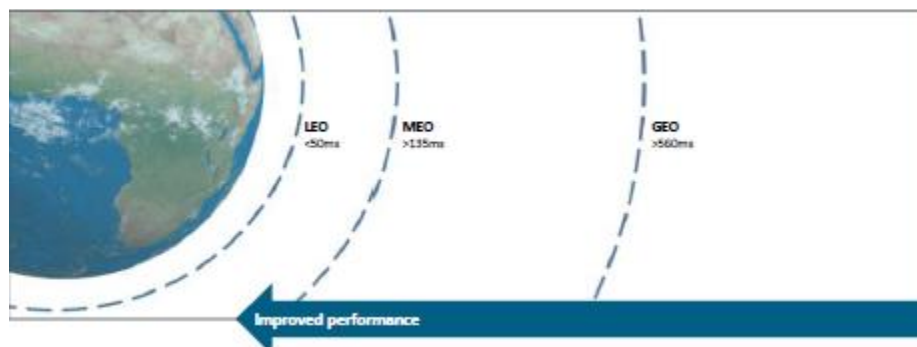


Figure 5.6 Diverses orbites des satellites



Les satellites MEO et LEO sont de plus en plus utilisés, offrant aux opérateurs de services mobiles une amélioration possible des communications. Des sociétés comme Iridium, Globalstar, BComm et OneWeb sont toutes à lancer des constellations qui amélioreront encore davantage les communications. Ces constellations peuvent comporter 36 ou 42 satellites, ou même plus<sup>40</sup>.

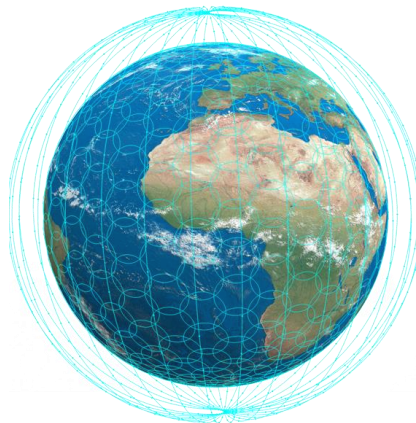


Figure 5.7 Orbites basses terrestres<sup>41</sup>

Par exemple, le satellite de la société OneWeb, composé d'environ 648 satellites de communication individuels, devrait fournir aux consommateurs un service Internet à large bande mondial dès 2019. Les 648 satellites fonctionneront en orbite basse terrestre circulaire, à environ 1 200 km d'altitude (750 miles). Les 10 premiers satellites sont déjà en construction chez Airbus.

Les systèmes satellites sont toutefois désavantagés du côté de la latence, qui peut être de 20ms à 25ms par rapport au 1ms proposé pour la 5G. Par conséquent, le satellite n'est pas adapté au fonctionnement critique du système de commande, mais peut être utilisé pour la transmission vidéo, la collecte de données et la reconnexion de la communication à bord jusqu'à un point central. Il est toutefois trop tôt pour comprendre toute la portée de cette technologie.

<sup>40</sup> <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0ahUKEwiZ7prUt-nWAhXFilQKHUJRCa4QFghhMAc&url=http%3A%2F%2Fbwn.ece.gatech.edu%2Fee4823%2Fnotes%2FCHAPTER11.ppt&usq=AOvVaw3-ZJ-fEc3ztsuBwdCP1nUN> [En anglais seulement]

<sup>41</sup> OneWeb



## 6. INTERNET DES OBJETS

Le concept de l'Internet des objets (IdO) englobe une multitude d'applications. Il faut tenir compte des différentes façons d'interpréter la subdivision de ce concept en diverses verticales d'adoption principales, ainsi que des considérations horizontales. Les principales verticales d'adoption les plus courantes comprennent les dispositifs portables connectés, les voitures, les maisons, les villes et l'IdO industriel<sup>42</sup>.

La GSM Association (GSMA) est un organisme commercial qui représente les intérêts des opérateurs de services mobiles dans le monde entier. La GSMA prévoit que l'IdO permettra aux connexions M2M (machine à machine) de passer de cinq milliards en 2014 à 27 milliards en 2024, en utilisant à la fois du spectre autorisé et non autorisé.

La figure 6.1 montre l'IdO, allant des applications à courte portée utilisant du spectre exempt de licence à l'Internet des objets à longue portée utilisant du spectre autorisé. Bien que les trains apparaissent sous la catégorie « à longue portée », un certain nombre d'applications de transport ferroviaire sont également à courte portée.

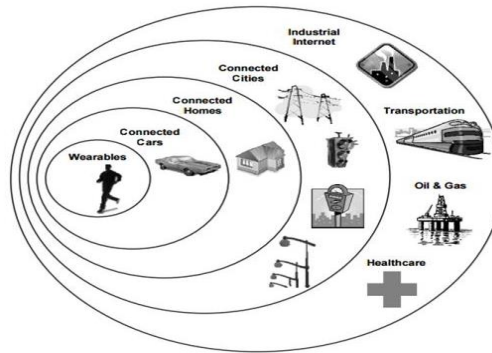


Figure 6.1 Internet des objets

La figure 6.2 montre une feuille de route illustrant l'évolution de l'IdO. L'identification par radiofréquence (RFID) était un prédécesseur de l'IdO, mais de nouvelles applications ont fait leur apparition avec les avancées technologiques et la miniaturisation. L'industrie de la santé a été l'un des premiers utilisateurs des dispositifs portables. Selon la GSMA, la technologie de l'IdO fait naître de nouvelles applications grâce à la longue durée de vie des piles et aux faibles coûts de production; certaines piles durent 10 ans et plus, de sorte qu'elles deviennent intéressantes pour les régions éloignées et les lieux non fréquentés.

<sup>42</sup> [http://www.5gamericas.org/files/3514/8121/4832/Enabling\\_IoT\\_WP\\_12.8.16\\_FINAL.pdf](http://www.5gamericas.org/files/3514/8121/4832/Enabling_IoT_WP_12.8.16_FINAL.pdf) [En anglais seulement]

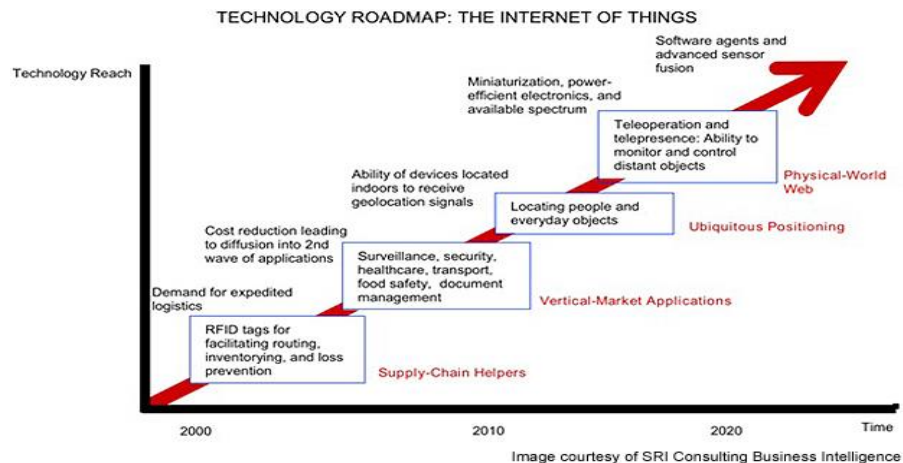


Figure 6.2 Évolution d'Internet des objets<sup>43</sup>

L'IdO industriel a également eu une incidence considérable sur l'industrie du transport depuis l'avènement d'innovations telles que les véhicules autonomes et la gestion améliorée du fret. Il est possible d'installer le long des voies ferrées des capteurs pour surveiller l'air, la température et les jauges de contrainte. L'introduction du réseau IP donnera lieu à l'installation d'un plus grand nombre de capteurs. Le réseau au sol fournira des données sur l'état des voies, y compris les failles et les obstacles. D'autres dispositifs connectés au réseau interagiront à l'aide de capteurs indépendants pour mesurer des éléments tels que les niveaux de la nappe phréatique, qui peuvent affecter les remblais ferroviaires si le sol devient détrempé, tandis que des capteurs souterrains détecteront les glissements de terrain réels et potentiels.

Dans de nombreuses régions du monde, en particulier au Japon, en Corée et en Europe, les chemins de fer ont déjà adopté l'IdO. Cependant, le déploiement de systèmes IdO sur des trains circulant à grande vitesse, dans des tunnels et dans des conditions météorologiques extrêmes a posé des défis. Heureusement, grâce aux avancées dans le domaine des réseaux, le train intelligent est devenu une réalité. Avec l'arrivée de l'IdO, l'efficacité, la sécurité et la durabilité de l'expérience des passagers — et le retour sur l'investissement des opérateurs — s'amélioreront sans aucun doute.

Selon un récent rapport de Cisco, près de 27 milliards de dollars seront investis au cours des 15 prochaines années dans des projets ferroviaires en lien avec l'IdO<sup>44</sup>.

<sup>43</sup> L'image est une courtoisie de SRI Consulting Business Intelligence.

<sup>44</sup> <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/smart-trains-connected-railway/> [En anglais seulement]



## 6.1 IDO POUR LES TRAINS DE VOYAGEURS

Pour les compagnies de chemin de fer canadiennes telles que VIA Rail, Metrolinx et d'autres systèmes de transport en commun, ainsi que les futurs trains à grande vitesse, l'IdO représente des occasions potentielles d'améliorer le confort des passagers et l'efficacité<sup>45</sup>.

Une application de planification de voyage intégrée, par exemple, pourrait recommander le trajet le plus rapide ou le plus confortable, en tenant compte des conditions routières jusqu'à la gare, des horaires de trains, des espaces de stationnement disponibles, de l'embarquement des passagers, etc. Les passagers seraient en mesure de faire des choix éclairés quant au type d'expérience qui conviendrait le mieux à leur situation personnelle. La présence de données historiques permettrait d'évaluer les voyages en cours et de prévoir les voyages futurs en fonction des conditions normales pour le jour et l'heure de voyage prévus.

Les applications de réseautage social pourraient aussi servir, en combinaison avec les renseignements d'embarquement des passagers provenant des trains, à répartir la demande en période de pointe. La diffusion de ces mêmes renseignements de base dans un terminal aiderait les passagers à choisir la bonne plateforme de destination en tenant compte des embarquements dans les trains entrants. La diffusion des mêmes renseignements sur le train favoriserait la répartition plus égale des passagers dans les voitures, aidant aussi les passagers debout à trouver un siège.

Grâce à l'IdO, les chemins de fer voyageurs pourraient :

- offrir une sélection de menus et de divertissements;
- installer des caméras de télévision intelligentes en circuit fermé diffusant l'enregistrement des événements en cas d'incident et les alarmes en temps réel lors de problèmes potentiels, ce qui augmenterait la rapidité des interventions et pourrait réduire les pannes de service;
- recueillir des renseignements sur la catégorisation des erreurs pour les analyser ensuite à l'aide de diverses ressources, voire par l'entremise de plusieurs opérateurs, afin de dégager les tendances et de cibler les secteurs où affecter la maintenance préventive.

## 6.2 IDO DANS LES TRAINS DE MARCHANDISES

L'IdO présente aussi des avantages pour les trains de marchandises<sup>46</sup>. Il permettrait de surveiller chaque wagon de marchandises et de transmettre les données, et d'ainsi rendre disponible le manifeste de chaque wagon. Les données recueillies par le système de surveillance des wagons de marchandises permettent maintenant de déterminer l'emplacement de chaque wagon à un mètre près, de sorte que les activités ferroviaires peuvent être suivies et surveillées sans heurt. De plus, les capteurs situés à l'intérieur du wagon recueillent des données sur des variables telles que la température et l'humidité de l'air. Il est donc possible de surveiller les conditions de transport à chaque point situé tout au long de la route, de manière à ce que les articles tels que les denrées alimentaires dans les wagons réfrigérés

<sup>45</sup> <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/smart-trains-connected-railway/> [En anglais seulement]

<sup>46</sup> <http://blog.bosch-si.com/categories/projects/2016/02/connected-freight-trains-will-revolutionize-freight-traffic/> [En anglais seulement]



arrivent toujours frais à destination. Le système déclenche immédiatement une alarme et avertit le centre de contrôle dès que le seuil critique de la température est dépassé.

La disponibilité des renseignements ayant trait à l'ouverture des portes de wagon peut aussi augmenter la sécurité des marchandises en transit. De plus, il est possible d'ajouter une fonctionnalité qui permet de surveiller les chocs violents pendant les manœuvres ou pendant le transfert des marchandises sur les wagons. Cette fonctionnalité permet d'évaluer correctement les causes des dommages aux wagons et aux marchandises, en plus d'analyser les conditions de transport.

Le kilométrage franchi par le matériel roulant revêt une grande importance. Il est plus facile de planifier les travaux de réparation et d'entretien si on connaît le kilométrage précis de chaque wagon. La figure 6.3 montre quelques façons d'utiliser l'IdO sur les wagons de marchandises.



Figure 6.3 Internet des objets sur les wagons de marchandises<sup>47</sup>

<sup>47</sup> <http://blog.aeris.com/locomotive-management-creating-smart-rail-lines-with-iot> [En anglais seulement]



### 6.3 IDO ET LA SÉCURITÉ FERROVIAIRE

La sécurité est un élément clé des applications et des solutions IoD pour la gestion des trains<sup>48</sup>. Par exemple, les systèmes de localisation et de détection à bord d'un train permettent à ce train de connaître la position des autres trains, ce qui réduit le risque de collision et permet aux trains de circuler en toute sécurité à proximité les uns des autres. Voilà un élément essentiel pour les systèmes de transport en commun tels que GO Transit.

La surveillance et le contrôle de la vitesse constituent une autre application de sécurité importante. Des systèmes, conçus à l'intention des conducteurs, affichent la vitesse des trains et rapportent la vitesse au système de contrôle central. Les systèmes de surveillance à bord sont interconnectés et reliés à des systèmes de signalisation extérieure qui peuvent réguler les vitesses des trains et commander un arrêt du train à distance selon les conditions de la voie, les positions de l'aiguillage et la présence d'autres trains sur la voie.

Parmi les autres avantages de l'automatisation et de l'IdO, notons les suivants :

- la signalisation
- l'interverrouillage
- le contrôle du passage à niveau

À mesure que les trains automatisés s'installent dans notre environnement, les systèmes de signalisation contrôlent le déplacement d'un train en réglant à distance sa vitesse et son freinage. L'IdO peut aider à réduire les accidents aux passages à niveau si on y installe des caméras et des capteurs en vue d'améliorer la sécurité.

## 7. PARTAGE DU RÉSEAU

---

Le réseau de communication ferroviaire du Canada sera partagé avec des concurrents tels que le CP et le CN. Il est donc important de développer une architecture de réseau qui assure la confidentialité et le maintien des divisions entre les chemins de fer. Des recherches sont en cours sur la façon d'y parvenir et une première version des approches proposées est disponible auprès de fabricants, dont Nokia et Ericsson.

---

<sup>48</sup> <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/smart-trains-connected-railway/> [En anglais seulement]





Un bref aperçu des options d'architecture réseau a été réalisé en consultation avec des experts du Wireless World Research Forum. Le réseau peut utiliser les éléments suivants :

- Composition, décomposition et répartition des fonctions du réseau mobile adaptatif
- contrôle du réseau mobile à base de logiciel
- adaptation multi-service et contextuelle des fonctions du réseau
- réseau mobile en colocation (multi-utilisateurs)
- découpage du réseau

La figure 7.1 montre comment pourrait fonctionner le partage du réseau.

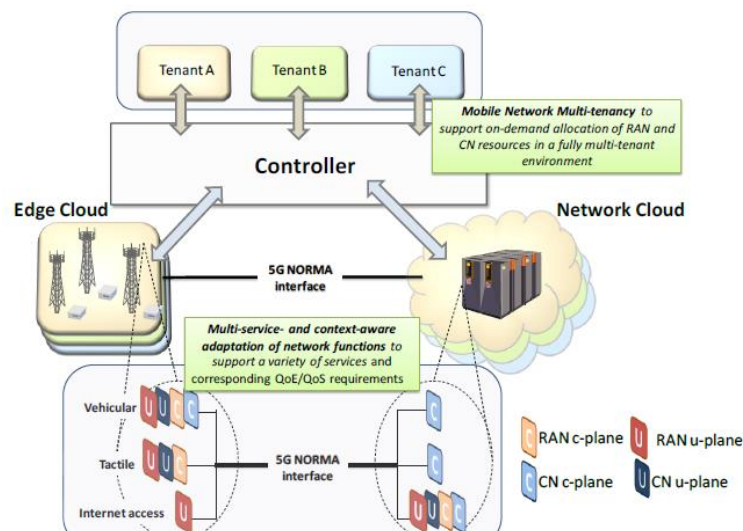


Figure 7.1 Partage du réseau<sup>49</sup>

## 8. PERSPECTIVES D'AVENIR POUR LES DIX PROCHAINES ANNÉES

À mesure que le Canada s'efforce d'améliorer le transport ferroviaire des voyageurs et des marchandises, il devient de plus en plus nécessaire d'améliorer la capacité des communications vocales. Les trains à grande vitesse doivent se doter de bons systèmes de communication de manière à réduire la durée des trajets; par ailleurs, les passagers exigeront une connectivité permanente. En ce qui concerne le transport des marchandises, le Canada devra s'orienter vers des systèmes de transport plus respectueux de l'environnement s'il veut atteindre ses objectifs de réduction des émissions.

<sup>49</sup> [https://5gnorma.5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/11/5g\\_norma\\_d2-1.pdf](https://5gnorma.5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/11/5g_norma_d2-1.pdf) [En anglais seulement]





L'enquête du BST sur le déraillement de VIA Rail survenu en 2012 près de Burlington, en Ontario, a amené le Conseil consultatif sur la sécurité ferroviaire (CCSF) à mettre sur pied un groupe de travail sur la sécurité ferroviaire. L'une des recommandations du BST dans son rapport d'enquête ferroviaire était la suivante :

*« Le ministère des Transports exige que les grands transporteurs ferroviaires canadiens de voyageurs et de marchandises mettent en œuvre des méthodes de contrôle des trains à sécurité intrinsèque, en commençant par les corridors ferroviaires à grande vitesse du Canada.<sup>50</sup> » (Recommandation R13-01)*

Le Groupe s'est vu confier le mandat d'étudier les systèmes de contrôle des trains à sécurité intrinsèque existants et en cours de développement (aussi appelés le système de technologies de commande des trains améliorée) et d'évaluer leur capacité relativement à l'exploitation des chemins de fer du Canada, en se concentrant plus particulièrement sur les corridors ferroviaires à grande vitesse. Le Groupe de travail devait présenter un résumé de ses constatations en mettant l'accent sur la meilleure façon pour les technologies et les systèmes de répondre à la recommandation R13-01 du BST. Ce rapport contient de nombreuses recommandations, y compris la mise en place d'une version canadienne du système PTC appelé le système de technologies de commande des trains améliorée (CTA). De nombreuses recommandations se comparent également à celles décrites dans ce livre blanc. Le rapport du groupe de travail sur le contrôle des trains examine en profondeur les problèmes de sécurité ferroviaire, mais le livre blanc traite de la technologie sous-jacente à l'appui.

Pour assurer la sécurité des trains, une surveillance vidéo en temps réel à bord est nécessaire pour surveiller et évaluer toute situation critique ou anormale à l'intérieur de la locomotive et des wagons, le long de la voie et sur les quais. À bord, les opérateurs ferroviaires exigent de plus en plus l'information en temps réel. De nombreux incidents récents sur des lignes à grande vitesse ont créé beaucoup d'insatisfaction, bloquant les passagers pendant des heures sans qu'ils ne soient correctement informés de la situation.

L'obsolescence de la technologie — en particulier dans le domaine des télécommunications — se produit rapidement et n'est souvent pas en phase avec le cycle de vie des systèmes ferroviaires. La technologie dont dépendent les systèmes de communication ferroviaire en Amérique du Nord a maintenant plus de 30 ans. La technologie GSM-R approchera de sa fin de vie vers 2030, ce qui préoccupe déjà les gestionnaires d'infrastructure, même si l'industrie s'est engagée à maintenir les systèmes actuels jusqu'à 2020 à 2025. Les propriétaires d'infrastructures ferroviaires s'inquiètent du nombre très limité de fabricants du réseau GSM-R et de l'obsolescence du réseau GSM<sup>51</sup>.

<sup>50</sup> <http://www.bst-tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2015/r15v0183/r15v0183.asp>.

<sup>51</sup> ASIA-PACIFIC TELECOMMUNITY AWG-20/INP-29.



Des discussions sont déjà en cours sur le prochain virage que devront prendre les trains pour suivre les technologies de communication. Les technologies 4G LTE et 5G à faible latence se présentent favorablement pour compléter les technologies essentielles actuelles. À l'avenir, un réseau d'accès radioélectrique (RAN) basé sur le protocole IP viendra remplacer le réseau existant basé sur des circuits pour les communications train/voie, comme le montre la figure 8.1 ci-dessous :

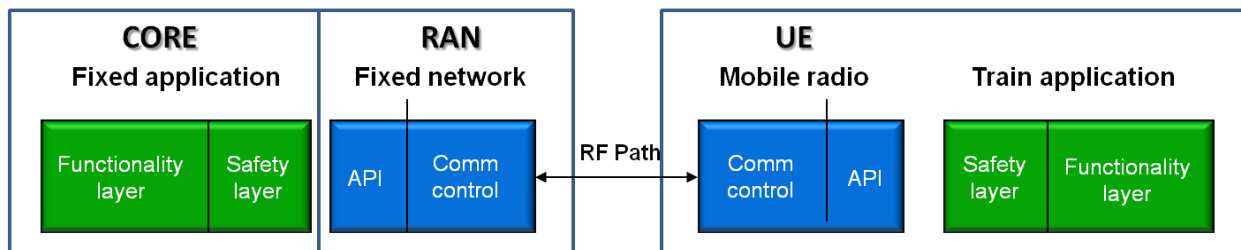


Figure 8.1 Réseau d'accès radioélectrique basé sur le protocole IP<sup>52</sup>

Le LTE et le LTE-A sont les systèmes les plus appropriés pour constituer une nouvelle génération de communication capable de prendre en charge de nombreux nouveaux services de communication ferroviaire. L'annexe C présente un exemple basé sur le métro de Paris.

## 9. RECOMMANDATIONS

Il ne fait aucun doute que les chemins de fer doivent commencer dès maintenant à prévoir la nouvelle génération de système de communication radio. L'augmentation de la demande de données en temps réel entraîne une convergence entre l'informatique et la radio, comme en témoigne la croissance explosive des téléphones intelligents, que ce soit pour un usage professionnel ou pour le plaisir. Ce livre blanc donne un aperçu des avancées technologiques dans le secteur ferroviaire dans le monde entier. Le Canada n'est pas le seul pays à tenter de répondre aux besoins futurs des chemins de fer.

<sup>52</sup> Considérations sur les technologies et le spectre pour les trains à grande vitesse, de fret et de métro par Bharat Bhatia.



En effet, un point à l'ordre du jour de la Conférence mondiale des radiocommunications de 2019 de l'UIT (CMR 2019) visait à :

*...prendre les mesures nécessaires, selon qu'il convient, pour faciliter l'identification de bandes de fréquences harmonisées à l'échelle mondiale ou régionale pour les systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie dans les bandes de fréquences actuellement attribuées au service mobile, conformément à la Résolution 236 (CMR-15)<sup>53</sup>. (La résolution complète se trouve à l'annexe B.)*

C'est dire à quel point les chemins de fer du monde entier reconnaissent déjà l'importance des radiocommunications si l'on veut assurer l'efficacité et la sécurité futures des chemins de fer.

Lorsque vient le moment de choisir la meilleure technologie, une solution exclusive peut parfois être mise sur le marché en moins de temps qu'une solution devant se conformer à une norme ouverte reconnue. Cependant, comme l'ont reconnu les organisations avec un grand nombre d'utilisateurs, en particulier celles du secteur public, même si certaines solutions exclusives peuvent répondre à leurs besoins, il peut être très risqué de maintenir un lien avec un fournisseur unique. L'adoption d'une norme ouverte, sans être une solution parfaite, présente tout de même de sérieux avantages :

- des économies d'échelle que procure un grand marché harmonisé desservi par plusieurs fabricants et fournisseurs indépendants en concurrence pour un même marché, ce qui se traduit par des solutions offertes à des prix concurrentiels;
- la sécurité d'une deuxième source d'équipement si des fournisseurs existants quittent le marché;
- une évolution (plutôt qu'une révolution) de la norme technologique garantissant la longévité et un bon retour sur l'investissement, tant pour les utilisateurs que pour les fournisseurs;
- choix des fabricants de nouveaux produits, ce qui maintient les prix à un bas niveau;
- un plus grand choix de produits pour des applications spécialisées;
- une réactivité accrue aux besoins futurs en raison de la concurrence entre les fournisseurs.

Comme il existe plusieurs fabricants indépendants d'infrastructures de réseau TETRA et LTE et de terminaux radio, tous les avantages de la normalisation énumérés ci-dessus s'appliquent aussi bien à TETRA qu'à LTE.

---

<sup>53</sup> [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-s/md/17/cl/c/S17-CL-C-0141!!MSW-F.docx](https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/md/17/cl/c/S17-CL-C-0141!!MSW-F.docx).



Dans le monde entier, l'UIT s'oriente vers la prochaine génération de technologies de communication sans fil pour les opérations ferroviaires en remplacement de la technologie GSM-R. À cette fin, l'UIT :

- a publié un ensemble d'exigences utilisateur, indépendamment de la technologie, pour le futur système de communications mobiles ferroviaires (FSCMF);
- a collaboré avec The Tetra and Critical Communications Association (TCCA) pour définir la prochaine génération de communications à large bande pour les opérations ferroviaires;
- prévoit d'utiliser des technologies standards, telles que les technologies LTE et 5G, et non un système spécialisé comme la technologie GSM-R.

Au même moment, l'organisme de normalisation 3GPP est à travailler sur le FSCMF. Il s'agit d'une activité en cours qui consiste à :

- effectuer un important travail de normalisation LTE;
- proposer une solution haut débit essentielle pour les chemins de fer qui comporte de nombreux composants — et non pas seulement la 5G — et qui comprend de multiples applications spécialisées, des dispositifs, une interopérabilité et des services;
- lancer une solution d'acheminement ferroviaire dotée de caractéristiques essentielles à 5G qui seront en mesure de soutenir les opérations ferroviaires;
- déterminer que l'équipement de l'utilisateur ferroviaire devait être renforcé pour répondre aux exigences environnementales.

Mais le défi reste l'augmentation de la capacité de données afin de satisfaire aux besoins de l'industrie des chemins de fer canadiens pour 2020 et au-delà. Pour ce faire, l'industrie doit acquérir du spectre à large bande compatible avec les technologies SMDGV existantes et futures. Il est donc recommandé que l'ACFC et ses membres entreprennent les démarches suivantes :

1. Faire valoir devant ISDE un argument fondé sur des données factuelles démontrant la nécessité d'acquérir un spectre supplémentaire pour assurer l'exploitation efficace et sûre des systèmes ferroviaires. Le transport ferroviaire doit être considéré comme un service essentiel dans le contexte de la sécurité publique. Un système ferroviaire modernisé aidera le Canada à atteindre et à dépasser ses exigences en matière d'émissions et contribuera à stimuler l'économie canadienne. Le rapport de Transports Canada, *Rapport final du Groupe de travail sur la commande des trains présenté au Conseil consultatif sur la sécurité ferroviaire*, sera utile dans la préparation de ces arguments. Comme précisé un peu plus haut dans ce document, les bandes de 600 MHz et de 700 MHz, aux fins d'utilisation par la communauté de la sécurité publique, sont les plus appropriées à l'heure actuelle.



2. Engager des discussions ouvertes avec les fournisseurs de services et les fabricants canadiens en vue d'étendre leur réseau actuel aux régions qu'ils ne couvrent pas encore, dans l'optique de créer un réseau conjoint.
3. Entamer des discussions avec les organismes de sécurité publique sur la façon dont le partage du spectre avec les chemins de fer (700 MHz) peut aider à construire leur réseau, en particulier dans les régions éloignées.
4. Mettre sur pied immédiatement un petit groupe de travail en vue de rédiger un document sur les besoins des utilisateurs des chemins de fer canadiens. Ce document devrait traiter des trains de marchandises et de voyageurs, ainsi que des trains à grande vitesse.



## ACRONYMES

---

|         |                                                                             |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 3GPP    | Projet de partenariat de troisième génération                               |
| 3P      | Partenariat public-privé                                                    |
| AAR     | Association of American Railroads                                           |
| CCSF    | Conseil consultatif sur la sécurité ferroviaire                             |
| CTA     | Commande des trains améliorée                                               |
| DPAM    | Détection de porteuse à accès multiple                                      |
| ETCS    | Système européen de contrôle des trains                                     |
| ETSI    | Institut européen des normes de télécommunications                          |
| FCC     | Federal Communications Commission                                           |
| GTFPTI  | Groupe de travail fédéral, provincial et territorial sur l'interopérabilité |
| FSCMF   | Futur système de communications mobiles ferroviaires                        |
| GSM-R   | Système mondial de communications mobiles – chemins de fer                  |
| HSPA+   | Accès par paquets haut débit                                                |
| IP      | Protocole Internet                                                          |
| IP/MPLS | IP / commutation multiprotocole par étiquette                               |
| ISDE    | Innovation, Sciences et Développement économique Canada                     |
| UIT     | Union internationale des télécommunications                                 |
| LTE     | Évolution à long terme                                                      |
| RLBSP   | Réseau à large bande dédié à la sécurité publique                           |
| PMR     | Radiocommunication professionnelle                                          |
| ACFC    | Association des chemins de fer du Canada                                    |
| RAN     | Réseau d'accès radioélectrique                                              |
| RAS     | Service de radioastronomie                                                  |
| SLBRR   | Systèmes à large bande en régions rurales éloignées                         |
| E       |                                                                             |
| AMRT    | Accès multiple par répartition dans le temps                                |
| TETRA   | Radio terrestre à commutation automatique de canaux                         |
| BST     | Bureau de la sécurité des transports du Canada                              |
| CTT     | Commission de transport de Toronto                                          |
| TVWS    | Dispositifs fonctionnant dans la partie inutilisée du spectre de télévision |
| UE      | Équipement de l'utilisateur                                                 |
| UIC     | Union internationale des chemins de fer                                     |
| UMTS    | Système universel de télécommunication mobile                               |
| SEU     | Spécification des exigences de l'utilisateur                                |
| VoLTE   | Voix LTE                                                                    |
| STMSF   | Systèmes de télémétrie médicale sans fil                                    |



## REMERCIEMENTS

---

L'auteur tient à remercier les collaborateurs suivants qui ont offert leur soutien et le matériel qui a été utilisé dans ce livre blanc :

- Daniel Lafrenière - ACFC
- Jean-Marc Naud - CN
- Enzo Debenet - CN
- Gary Eckhardt - GO Transit
- Frederik Chevrier - VIA
- Bharat Bhatia - Motorola Solutions, Inde
- Chuck Power - Motorola Solutions, États-Unis
- Viet Nguyen - Ericsson
- Rob Cameron - Nokia
- Shawn Sparling - Nokia
- Marc Dupuis - OneWeb
- Raj Sivalingam - techUK, Royaume-Uni
- Steffen Ring - Ring Advocacy, Danemark
- Jose Costa – président du Groupe de travail 5A de l'UIT
- Adrian Scrase - DPT, ETSI, France
- Dr Sudhir Dixit, président du Groupe de travail C, Wireless World Research Forum, États-Unis
- Prof. Angeliki Alexiou, University of Piraeus, président du Groupe de travail D du WWRF, Grèce





#### LECTURES SUGGÉRÉES

---

1. <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/industries/transportation/rail.html> [En anglais seulement]
2. [http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/solutions/industries/docs/trans/rail-aag.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/trans/rail-aag.pdf) [En anglais seulement]
3. Technology Evolution Toward 5G & Beyond, Seizo ONOE, CTO et EVP, NTT DOCOMO, INC. [En anglais seulement]
4. Rapport final du Groupe de travail sur la commande des trains présenté au Conseil consultatif sur la sécurité ferroviaire
5. 5G For Rail – Bharat Bhatia, présenté à la 38<sup>e</sup> réunion du WWRF tenu à Taïwan. [En anglais seulement]
6. Mobile Internet on Taiwan High Speed Rail, Sean Hsien-Wen Chang, Ph.D Senior Engineer, Information and Communications Lab, Industrial Technology Research Institute. [En anglais seulement]
7. Akyildiz, I.F. et Jeong, S., « Satellite ATM Networks: A Survey », *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, n° 7, p.30-44, juillet 1997. [En anglais seulement]
8. OneWEb [En anglais seulement]
9. LTE-in-Rail-Public-Transport-Stra-NOKIA [En anglais seulement]
10. Description des systèmes de radiocommunication ferroviaires train-voie, UIT - Annexe 16 au Document5A/469, 8 juin 2017. [En anglais seulement]
11. NOKIA: Paris metro LTE trial: the SYSTUF project and its results. [En anglais seulement]
12. The Gigabit Train, tech UK Seminar, 22 mars 2016. [En anglais seulement]
13. Improving Rail Connectivity Through 3GPP Technology, Proceedings of the 2017 Joint Rail Conference, JRC2017, du 4 au 7 avril 2017, Philadelphie, PA, États-Unis (DOCUMENT ERICSSON) [En anglais seulement]
14. Présentation conjointe ACFC- Ericsson – 1<sup>er</sup> février 2017.
15. IEEE Communications Magazine, août 2017, vol. 55, n° 8. [En anglais seulement]



## ANNEXE A - CARTES



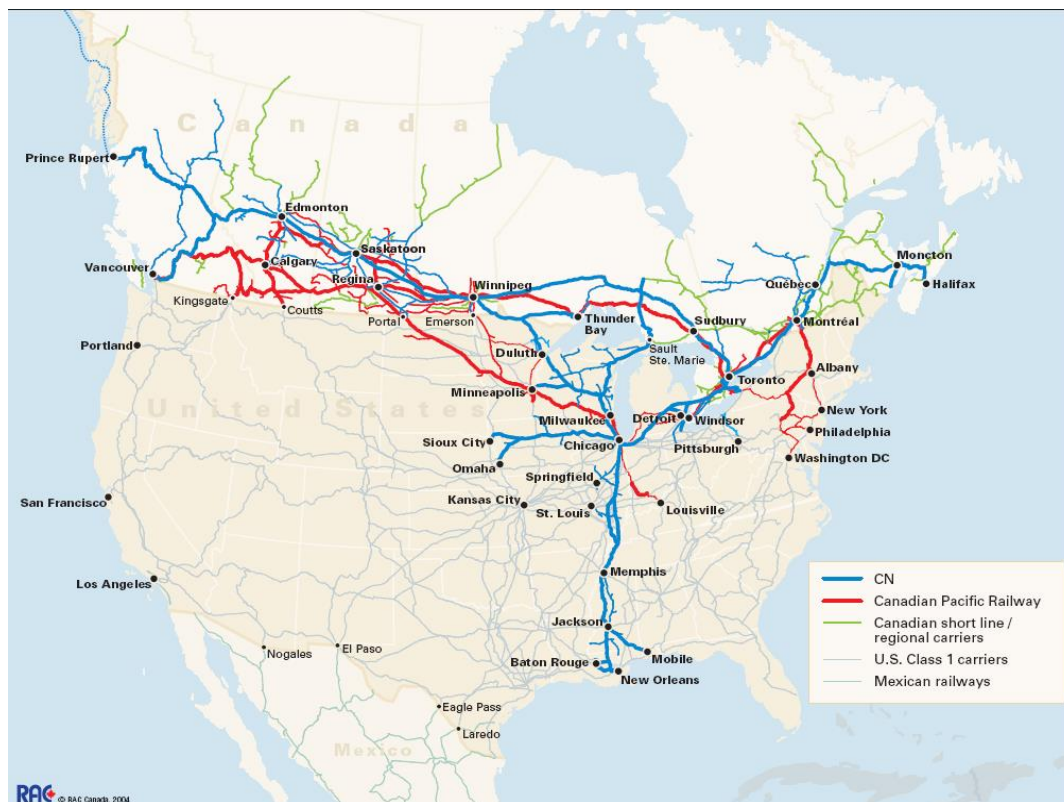
Figure A1 Réseau ferroviaire du CP



Figure A2 Réseau ferroviaire du CN



Figure A3 Réseau ferroviaire de VIA Rail<sup>54</sup>



<sup>54</sup> <http://www.viarail.ca/fr/decouvrez-nos-destinations/trains>.



Figure A4 Carte des chemins de fer intégrés<sup>55</sup>



Figure A5 Carte de trains de GO Transit<sup>56</sup>

<sup>55</sup> <http://cnebusiness.geomapguide.ca/>.

<sup>56</sup> <http://www.gotransit.com/timetables/fr/schedules/maps.aspx>.



## ANNEXE B – RÉOLUTION DE LA CMR 2019

---

### RÉSOLUTION 236 [COM6/12] (CMR-15)

#### « Systèmes de radiocommunication ferroviaires train-voie

La Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 2015),

*considérant*

- a) que les systèmes de transport ferroviaire sont en pleine évolution;
- b) qu'il est nécessaire d'intégrer différentes technologies afin de faciliter diverses fonctions, comme les commandes de régulation des trains, le contrôle d'exploitation et la transmission de données, dans les systèmes utilisés dans les trains et sur les voies, pour répondre aux besoins de l'environnement des lignes de chemin de fer à grande vitesse;
- c) que les systèmes de radiocommunication ferroviaires utilisés actuellement pour assurer les communications dans les trains et sur les voies sont des systèmes à bande étroite;
- d) que le déploiement de systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie exige des investissements dans l'infrastructure,

*reconnaissant*

- a) que les technologies de l'information et de radiocommunication dans les systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie permettent d'améliorer le contrôle du trafic ferroviaire, la sécurité des passagers et la sécurité des opérations ferroviaires;
- b) qu'il faut effectuer dans les meilleurs délais des études sur les technologies permettant d'assurer des radiocommunications ferroviaires;
- c) que des normes internationales et des fréquences harmonisées à l'échelle mondiale faciliteraient le déploiement, partout dans le monde, de systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie et permettraient de réaliser des économies d'échelle dans le domaine du transport ferroviaire pour le public;
- d) qu'il est nécessaire de mettre à profit l'expérience acquise pour assurer la compatibilité entre les systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie actuels et les autres systèmes de radiocommunication,



*notant*

- a) que le transport ferroviaire contribue au développement socioéconomique mondial, en particulier dans les pays en développement;
- b) que certaines organisations ferroviaires nationales et internationales ont commencé à étudier de nouvelles technologies pour les systèmes de radiocommunication ferroviaires;
- c) que la Commission d'études 5 du Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) étudie actuellement les caractéristiques techniques et opérationnelles pertinentes pour les systèmes de radiocommunication ferroviaires;
- d) que, dans certains pays, les systèmes de radiocommunication ferroviaires peuvent faciliter la fourniture des services aux voyageurs,

*soulignant*

- a) que, dans les bandes de fréquences dans lesquelles ces systèmes actuels et futurs fonctionnent et fonctionneront, les systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie devraient être compatibles avec divers autres systèmes;
- b) que les dispositions des numéros **1.59** et **4.10** ne s'appliquent pas pour les systèmes de radiocommunication ferroviaires,

*décide d'inviter la Conférence mondiale des radiocommunications de 2019*

compte tenu des résultats des études de l'UIT-R, à prendre les mesures nécessaires, le cas échéant, pour faciliter l'identification de bandes de fréquences harmonisées à l'échelle mondiale ou régionale, dans toute la mesure possible, pour la mise en œuvre de systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie, dans les bandes de fréquences actuellement attribuées au service mobile,

*invite l'UIT-R*

à étudier les besoins de fréquences, les caractéristiques techniques et opérationnelles ainsi que la mise en œuvre des systèmes de radiocommunication ferroviaires train/voie,

*invite les États Membres, les Membres de Secteur, les Associés et les établissements universitaires*

à participer activement aux études en soumettant des contributions à l'UIT-R



*charge le Secrétaire général*

de porter la présente Résolution à l'attention de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et des autres organisations internationales et régionales concernées. »<sup>57</sup>

---

<sup>57</sup> <http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/1.43.48.fr.203.pdf>.



## ANNEXE C – ESSAIS MENÉS PAR NOKIA DANS LE MÉTRO DE PARIS

Voici un exemple tiré du livre blanc publié par Nokia : *Paris metro LTE trial: the SYSTUF project and its results*.

« L'achalandage grandissant dans les réseaux de métro nécessite une augmentation de la capacité, non seulement pour les passagers, mais aussi pour les applications et les services opérationnels. Les réseaux radio conventionnels en silos, étant donné leur capacité limitée, ne sont pas en mesure de répondre à ce besoin. Une solution prometteuse réside dans un réseau radio sol-train unifié basé sur la technologie 4G LTE. Nokia, au sein d'un consortium appelé SYSTUF (Système télécom pour les transports urbains du futur), a mené un projet pilote dans des conditions réelles sur la ligne 14 du métropolitain de Paris. Ce livre blanc présente ce projet et ses résultats. » [TRADUCTION LIBRE]

### EXTRAIT :

Un seul opérateur ferroviaire peut donc héberger sept ou huit réseaux distincts (voir figure 1), ce qui augmente inévitablement les coûts. Cette situation est certainement appelée à s'aggraver à mesure que d'autres applications s'ajouteront. Il devient donc de moins en moins justifié de construire de nouveaux réseaux pour chacune des applications. La présence d'infrastructures distinctes a un effet cumulatif sur la maintenance et les coûts au fil du temps, à mesure que se multiplient les services et les réseaux qui leur sont associés.

|       | Safety       |              |                           | Security and maintenance |               |      | Passenger Comfort |                         |
|-------|--------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------|------|-------------------|-------------------------|
|       | Signalling   | Voice        | Platform TV               | ECP                      | Maintenance   | CCTV | PIDS              | Internet                |
| Metro | WLAN<br>CBTC | PMR<br>TETRA | Proprietary<br>or<br>WLAN | TETRA                    | WLAN or<br>3G | WLAN | WLAN              | WLAN<br>and/or<br>3G-4G |

Figure 1: Traditionally, multiple communication applications have run on separate networks.

Les principales caractéristiques du LTE sont la haute vitesse, la sécurité et la capacité de transporter la voix et les données de manière à favoriser le contrôle des trains, la vidéosurveillance à bord et l'information sur les passagers simultanément sur un seul réseau IP (voir figure 2). [TRADUCTION LIBRE]

|       | Safety     |       |             | Security and maintenance |             |      | Passenger Comfort |          |
|-------|------------|-------|-------------|--------------------------|-------------|------|-------------------|----------|
|       | Signalling | Voice | Platform TV | ECP                      | Maintenance | CCTV | PIDS              | Internet |
| Metro | LTE        |       |             |                          |             |      |                   |          |

Figure 2: LTE can carry all necessary communications data with high speed, security and capacity.





Railway Association  
of Canada

Association des chemins  
de fer du Canada