

Livre blanc

# Perspectives d'évolutions des **réseaux** **sans fil des** **métros**



# Table des matières

	<b>Introduction</b>
04	<b>1 Définition d'un réseau type</b>
06	<b>2 Evolution des réseaux « Voix » et « Données »</b>
	2.1 Evolution du réseau « Voix/bas débit »
	2.2 Evolution du réseau « Données »
	2.3 Architecture cible
	2.4 Coûts de déploiement
11	<b>3 Evolution du réseau « Signalisation »</b>
	3.1 Evolution du réseau « Signalisation »
	3.2 Architecture cible
	3.3 Coûts de déploiement
15	<b>4 Les cas des réseaux mobiles commerciaux</b>
17	<b>5 Les synergies possibles</b>
	5.1 Réseau « Voix/Bas débit »
	5.2 Réseau « Haut débit »
	5.3 Architecture cible
	5.4 Coûts de déploiement
21	<b>Conclusion</b>

## Introduction

Les exploitants de réseaux de métro sont actuellement en pleine réflexion sur les évolutions des infrastructures de communications sur lesquelles s'appuient leurs opérations. Cela concerne notamment les réseaux sans fil qui répondent à un besoin croissant de mobilité professionnelle au sein des exploitations de métro.

D'un côté, on retrouve les réseaux de communication « voix » et « données » qui servent de support à l'exploitation des trains et qui s'appuient sur une bande de fréquence étroite ; leurs fonctions sont limitées à la phonie et à la transmission de données à faible débit.

Ces réseaux sont complétés depuis un certain nombre d'années par des réseaux WiFi utilisés pour assurer des communications à haut débit de données (vidéo, déchargement de données d'exploitation...). L'usage du WiFi implique des contraintes (faible distance de couverture, absence de mobilité...) qui en limitent sa portée.

Les développements massifs réalisés dans l'écosystème 3GPP, tant pour les réseaux privés que grand public, posent la question de la migration des réseaux actuels vers les réseaux 4G ou 5G.

D'un autre côté, on retrouve les réseaux qui servent de support aux applications de signalisation ferroviaire. Ces dernières ont basculé sur des supports « radio »

depuis une vingtaine d'année dans le but d'améliorer le cadencement des trains. La technologie employée jusqu'alors est le WiFi via des fréquences libres (2,4 ou 5 GHz). Les acteurs des métros tournent désormais leurs yeux vers les technologies 4G et 5G et ont identifié des bandes de fréquences réservées (ITS 5,9 GHz) sur lesquelles ils pourraient déployer leurs réseaux.

L'accroissement constant du trafic passager et les difficultés d'embauche pousseront les exploitations à automatiser massivement leurs lignes de métro dans les prochaines années.

Les exploitants de métro feront ainsi logiquement face à un mur d'investissement. De nouvelles combinaisons de solutions réseaux pourraient toutefois aider à baisser la hauteur de ce mur.

Le présent document constitue le livre blanc de **LD Expertise** dont le but est de proposer des scénarios d'optimisation des réseaux sans fil au sein des exploitations métros dans les prochaines années.

Cette étude est réalisée pour le compte de **NOKIA**.

# 1

## Définition d'un **réseau type**

**P**our mener à bien cette étude, nous proposons de définir un « **réseau type** » représentatif soit d'une portion d'un réseau d'une mégapole européenne (Paris ou Londres), soit d'un réseau d'une ville de province.

Le réseau type que nous proposons ici se base sur deux lignes de métro standard, comprenant un total de trente stations dont :

- Deux grandes (plus de deux correspondances) ;
- Cinq moyennes (deux correspondances) ;
- et vingt-trois petites (aucune correspondance).

Vingt-deux stations se trouvent en section intérieure et huit en extérieur. La distance inter-stations est de 900 m en section intérieure et de 1800 m en extérieur.

Nous prenons pour hypothèse que ces deux lignes sont en exploitation et qu'elles sont équipées des infrastructures existantes suivantes :

- Un réseau « Voix » pour les communications Sol-Train et d'exploitation, en technologie TETRA (400MHz) et desservant le tracé du métro et les stations ;
- Un réseau « Données » pour les transferts de données entre les trains et le sol, en WiFi (2,4GHz ou 5GHz) et desservant uniquement le tracé du métro. Ce type de réseau est appelé « TDSE » (Transmission de Données Sol Embarqué) ;
- Un réseau de « Signalisation », en WiFi 5,9GHz desservant uniquement le tracé du métro. Ce type de réseau est intégré dans une application communément appelée « CBTC » (Communication Based Train Control).

Ce type de configuration reflète l'état de l'art actuel des réseaux de métro européens.

Les deux sections qui suivent décrivent les scénarios d'évolutions actuellement les plus communément étudiés par les exploitants de transport de métro respectivement pour les usages de :

- Communication Voix/Données
- Signalisation

Il est à noter que ces dénominations reflètent les usages historiques des réseaux. En effet, à l'heure du numérique l'ensemble des flux d'un réseau télécom est constitué de flux de données, de débits plus ou moins élevés.

# 2

## Evolution des réseaux « Voix » et « Données »

### 2.1 Evolution du réseau « Voix/bas débit »

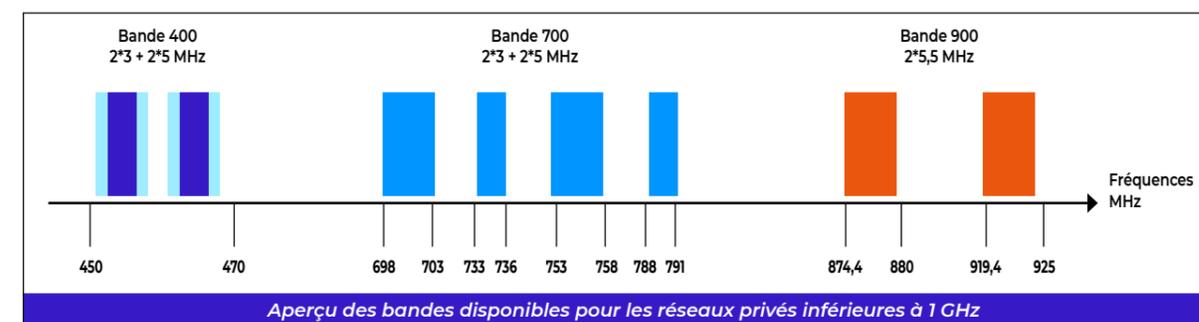
Typiquement, les **réseaux « Voix/bas débit »** actuels s'appuient sur la technologie TETRA et opèrent dans la bande de fréquence 400 MHz. Ces réseaux apparus dans les années 1990 arrivent maintenant à obsolescence et doivent être remplacés à moyen terme.

La criticité de l'usage voix conduit logiquement les exploitants de réseau de métro à remplacer ce réseau TETRA par un réseau privé ; ce dernier relevant des technologies 4G/5G et issu de l'écosystème 3GPP. Plusieurs bandes peuvent être envisagées pour ce réseau, les plus hautes offrant plus de capacité de débit mais des distances de couverture moindres.

La spécificité de ce réseau de devoir couvrir les espaces, souvent vastes, des stations et les zones techniques, oriente toutefois le choix vers des bandes plus basses (UHF). Ces bandes ouvrent la possibilité à des réutilisations d'infrastructures passives (antennes, câbles rayonnants existants), ce qui constitue des sources d'économie conséquentes dans les projets de migration de réseau.

A l'heure actuelle, les trois bandes suivantes peuvent être envisagées :

- **400 MHz** : bande utilisée par les réseaux PMR à bande étroite. Sous réserve de réaménagement, 2\*3 MHz (voire 2\*5 MHz) pourraient être mis à disposition par l'Arcep.
- **700 MHz** (en France uniquement) : bandes PPDR affectées au Ministère de l'Intérieur et accessibles par délégation aux acteurs privés qui en font la demande. Deux porteuses de 2\*3 MHz (bande 28) et 2\*5 MHz (bande 68) sont ainsi actuellement disponibles à l'usage des réseaux privés.
- **900 MHz** : bande allouée aux futurs réseaux FRMCS qui viendront remplacer les réseaux GSM-R en Europe à l'horizon des années 2030. Une porteuse de 2\*5,6 MHz devrait ainsi être disponible à terme pour des usages de réseaux privés.



En France, la bande de fréquence **700 MHz** PPDR apparaît plus adaptée pour les raisons suivantes :

- Les bandes de fréquences 28 et 68 relèvent d'un écosystème industriel plus vaste et plus utilisé par les réseaux grand public ;
- La combinaison des deux bandes offre des débits de données plus conséquents (environ 30 Mbit/s en liaison descendante et 5 à 10 Mbits en liaison montante) ;
- Son usage permet l'interconnexion avec le cœur de réseau d'ACMOSS pour accueillir les utilisateurs des forces de sécurité.

Nous avons donc opté pour cette bande dans le scénario de migration que nous avons élaboré à la suite.

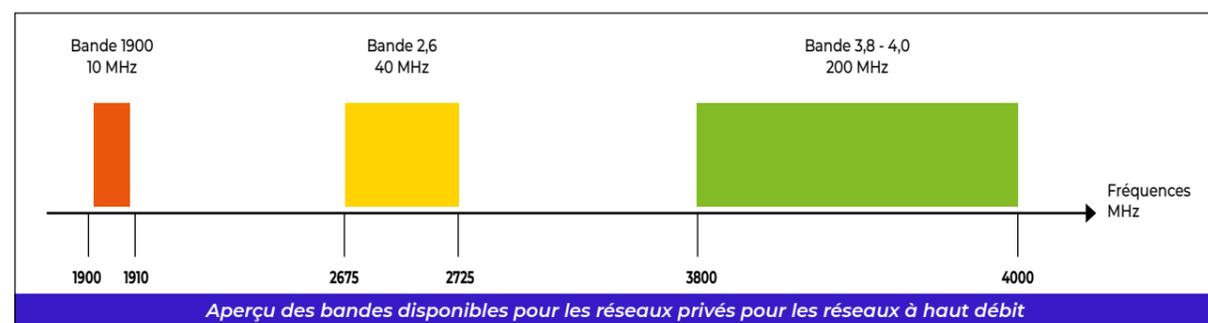
## 2.2 Evolution du réseau « Données »

Des besoins en transmission de données bord-sol haut débit ont conduit de nombreux exploitants de métro à compléter les infrastructures réseaux « voix » par des infrastructures WiFi. Généralement relevant des normes 802.11a/b/g, elles ne sont pas forcément de dernière génération et les débits ne dépassent généralement pas 50 Mbit/s. Le besoin principal des exploitants consiste à « remonter » des flux vidéo des rames de métro vers un poste de commandement à des fins de supervision. Le besoin reste ainsi concentré le long des voies (tunnel, station et sections extérieures).

De même que pour les réseaux voix, les exploitants de métro peuvent désormais se tourner vers les Réseaux Mobiles Privés relevant des technologies 4G/5G en lieu et place des technologies WiFi. En effet, ces premiers permettent de meilleures performances en mobilité et une protection contre les interférences.

La contrainte de débit élevé requiert toutefois l'accès à des quantités spectrales plus importantes qui ne sont pas disponibles sous les 1 GHz. On peut ainsi opter pour les trois bandes de fréquences suivantes :

- En France et en Europe, la bande **1900 MHz** qui sera allouée aux futurs réseaux FRMCS en complément de la bande 900 MHz. Cette bande dispose d'une largeur de 10 MHz.
- En France, la bande **2,6 GHz** TDD est gérée par un guichet ARCEP. Cette bande dispose d'une largeur de 40 MHz, ce qui la rend attractive pour la transmission de données haut débit.
- En France, la bande **3,8-4,0 GHz** dispose de 200 MHz de spectre. Elle est actuellement accessible pour des expérimentations et devrait à terme être accessible aux réseaux privés via un guichet similaire à celui de la bande 2,6 GHz.



La bande de fréquence 1900 MHz FRMCS est moins adaptée à la transmission de débits très importants, à cause d'une plus faible largeur de bande (10 MHz TDD) ; nous nous focaliserons donc sur les deux autres bandes.

Dans la bande 2,6 GHz on peut ainsi s'attendre à transmettre un maximum de 140 Mbit/s (en liaison descendante) et 40 Mbit/s (en liaison montante) en utilisant une largeur de bande de 40 MHz. Dans la bande 3,8-4,0 GHz on peut transmettre un maximum de 400 Mbit/s (en liaison descendante) et 100 Mbit/s (en liaison montante) en utilisant une largeur de bande de 100 MHz.

Ces débits sont suffisamment importants pour permettre le fonctionnement de multiples applications, la diffusion de plusieurs flux vidéo simultanément, la transmission de fichiers lourds.

La couverture radio obtenue avec un réseau à fréquences hautes est nettement inférieure à celle d'un réseau en 700 MHz, et il est nécessaire d'installer de nouvelles antennes adaptées à ces fréquences. Selon les performances que l'on souhaite, de nouveaux sites peuvent aussi être requis pour densifier cette couverture.

## 2.3 Architecture cible

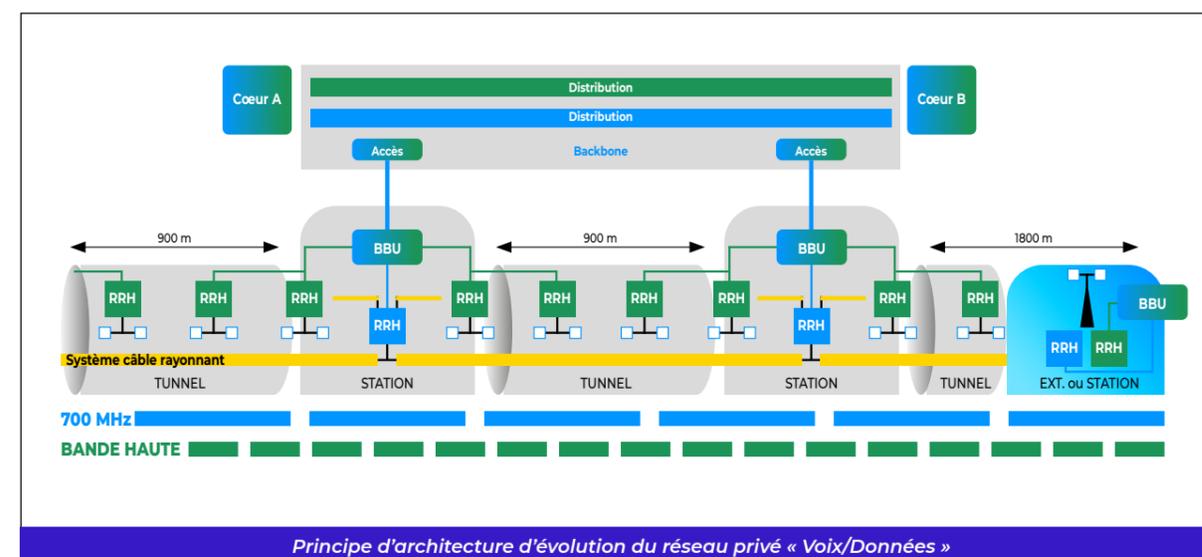
Pour plus d'efficacité et dans la mesure où les déploiements de ces réseaux sont généralement gérés par des entités communes (Direction des Systèmes d'Information) chez les opérateurs de transports, l'évolution des réseaux voix et données peut être envisagé d'être réalisé de manière conjointe. Cela permet ainsi la mutualisation de certains équipements (cœur de réseau, rocade optique...). La présente élaboration d'architecture cible prend en compte ces synergies.

Dans le schéma suivant, l'architecture des **réseaux de communication « Voix » 4G/5G 700 MHz** dans les stations et les tunnels (en bleu), et **« Données » 4G/5G 2,6 GHz ou 3,8-4,0 GHz** dans les tunnels (en vert) est dimensionnée pour répondre aux besoins fonctionnels des exploitants.

L'architecture de ce réseau est sécurisée par une redondance de couverture en 700 MHz : lorsqu'un relais tombe en panne, deux relais voisins continuent de couvrir la zone. De plus, le cœur de réseau est lui aussi dupliqué sur deux sites géographiques distincts pour qu'à tout moment le système fonctionne en cas de défaillance d'un des deux cœurs.

### Les caractéristiques de cette architecture sont les suivantes :

- Les relais (RRH) ne sont pas redondés ;
- Un relais (RRH) est déployé en **700 MHz** par station ;
- Un relais (RRH) **2,6 GHz** ou **3,8-4,0 GHz** est déployé en tunnel tous les 250 m environ ;
- Les relais (RRH) installés en tunnels sont reliés à des antennes dos à dos en voûte ; Les relais (RRH) installés en extérieur sont fixés sur des mâts de 10 m de hauteur ;
- Les équipements d'accès (BBU) sont partagés par les deux réseaux ;
- Les cœurs de réseau sont mutualisés et géographiquement séparés pour assurer une sécurisation du fonctionnement.



## 2.4 Coûts de déploiement

Par extrapolation à nos deux lignes de métro type nous pouvons calculer la quantité d'équipements nécessaires à la réalisation d'un **réseau de communication « Voix » 4G/5G 700 MHz** dans les stations et le long des tracés de voies, et d'un **réseau « Données » 4G/5G 2,6 GHz ou 3,8-4,0 GHz** le long des linéaires de voies.

Quantitatif Equipements	TOTAL
 BBU 700 MHz/Bande haute	31
 RRH	153
 Antenne en Station	32
 Antenne en Tunnel	131
 Antenne Extérieure	49
 Alimentation Energie BBU/RRH	184
 Coax RRH vers Antenne Station/Tunnel	1 630 m
 Coax RRH vers Antenne sur mât 10 m	980 m
 Fibre optique (paire)	34 800 m
 Coeur de réseau	2

**Pour calculer le coût de déploiement, nous avons pris certaines hypothèses d'installation :**

- Les deux cœurs de réseau supportent chacun 500 utilisateurs ;
- Un câble de fibre optique est déroulé entre les équipements d'accès (BBU) et les relais (RRH) ;
- Un câble énergie est déroulé entre la station la plus proche et chaque relais ;
- Le coût des études et de gestion du projet est pris à 25% du coût du matériel ;
- Le coût de la maintenance annuelle est pris à 15% du coût des équipements actifs et 5% du coût des équipements passifs.

**Ne sont pas pris en compte dans ce chiffrage :**

- La marge d'un éventuel intégrateur ni de coût de maîtrise d'œuvre ;
- Les coûts des applicatifs télécom (MCPTT...) ;
- Les coûts de migration des applicatifs ainsi que les terminaux ;
- Les coûts d'accès au réseau de transmission entre les cœurs de réseau et les stations de métro.

**Le coût de déploiement est synthétisé dans le tableau suivant :**

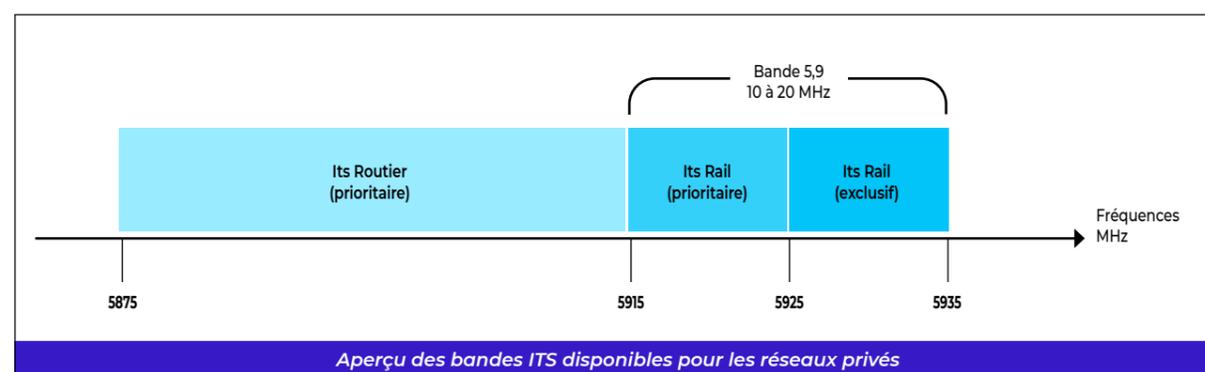
Coût de revient sur 15 ans	Réseau « Voix » + « Données »
Investissements (CAPEX)	8 194 000 €
Exploitation annuelle (OPEX)	265 000 €
Exploitation et maintenance sur 15 ans	12 168 000 €

# 3 Evolution du réseau « Signalisation »

## 3.1 Evolution du réseau « Signalisation »

Les autres réseaux « Signalisation » CBTC s'appuient sur des équipements WiFi en bande 5 GHz et nécessitent relativement peu de débit (< 1M bit/s).

Afin de se prémunir des risques d'interférences, les acteurs du monde du transport urbain réunis au sein de l'UITP ont cherché des bandes de fréquences qui pourraient leur être mise à disposition de manière exclusive. Cette recherche a débouché sur la bande de fréquence **5,9 GHz** accessible conjointement avec les ITS (Intelligent Transport System) de la route. Cette bande est neutre technologiquement. 20 MHz sont, au total, disponibles pour les besoins des transports urbains (10 MHz en accès exclusif additionné de 10 MHz en accès prioritaire).



On peut donc déployer un **réseau 4G/5G en bande 5,9 GHz « ITS rail urbain »** sur les linéaires de voies. Une largeur de bande de 5 MHz est suffisante car le débit requis est peu élevé. Une largeur de 10 MHz permet toutefois d'assurer des débits plus élevés (jusqu'à 35 Mbit/s en liaison descendante et 10 Mbit/s en liaison montante).

La couverture radio d'un relais est faible à cette fréquence de 5,9 GHz, ce qui nécessite de densifier le nombre de site dans les tunnels et sur les voies en extérieur. Des antennes adaptées à ces fréquences doivent être installées pour transmettre les signaux radio.

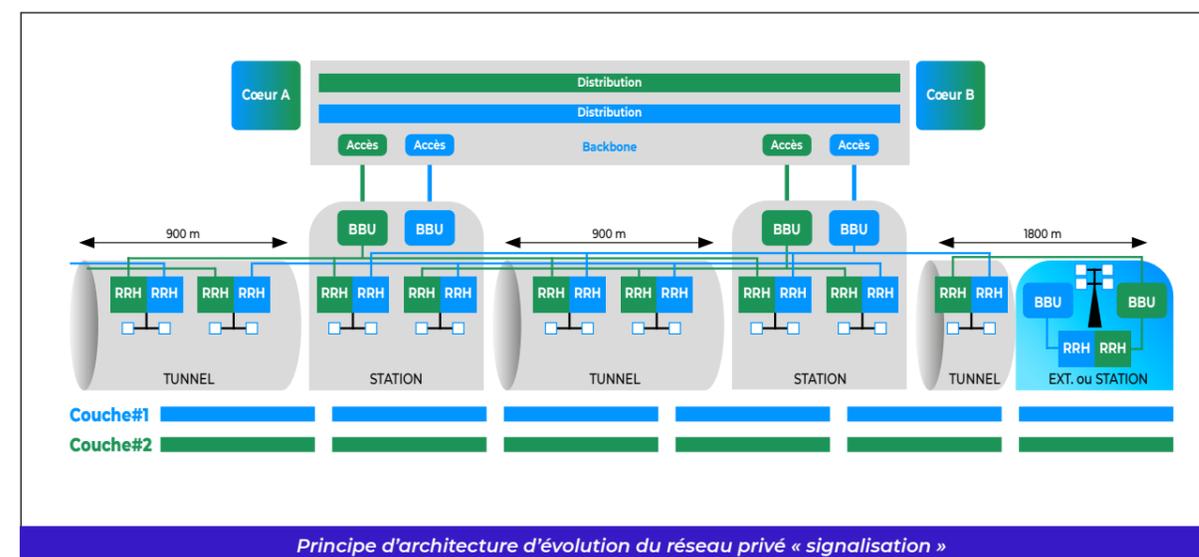
Enfin, pour répondre à la contrainte de sécurisation du système de la même manière que l'existant, il est nécessaire de doubler la couche d'accès radio. Ainsi, si un équipement d'accès radio (BBU ou RRH) tombe en panne, un deuxième prend la suite. De plus, le cœur de réseau est lui aussi dupliqué sur deux sites géographiques distincts pour qu'à tout moment le système fonctionne.

## 3.2 Architecture cible

L'architecture du **réseau de communication « Signalisation » 4G/5G 5,9 GHz ITS** le long des linéaires de voies est conçue pour répondre aux besoins fonctionnels des exploitants avec une sécurisation renforcée, ce qui assure une grande fiabilité et une grande résilience au système.

### Les caractéristiques de cette architecture sont les suivantes :

- Les relais (RRH) sont doublés ;
- Un relais (RRH) **5,9 GHz** est installé tous les 120 m environ en intérieur ;
- Un relais (RRH) **5,9 GHz** est installé tous les 150 m environ en extérieur ;
- Les relais (RRH) installés en tunnels sont reliés à des antennes dos à dos en voûte ;
- Les relais (RRH) installés en extérieur sont fixés sur des mâts de 10 m de hauteur ;
- Les équipements d'accès (BBU) sont doublés, pour raccorder les deux couches radio ;
- Les cœurs de réseau sont dupliqués et géographiquement séparés pour assurer une sécurisation du fonctionnement.



## 3.3 Coûts de déploiement

Par extrapolation à nos deux lignes de métro standard, nous pouvons calculer le nombre d'équipements nécessaires à la réalisation d'un **réseau de communication « Signalisation » 4G/5G 5,9GHz** le long des linéaires de voies.

Quantitatif Equipements	TOTAL
 BBU	62
 RRH	224
 Antenne en Station	64
 Antenne en Tunnel	131
 Antenne Extérieure	32
 Alimentation Energie BBU/RRH	286
 Coax RRH vers Antenne Station/Tunnel	1 950 m
 Coax RRH vers Antenne sur mât 10 m	640 m
 Fibre optique (paire)	112 400 m
 Cœur de réseau	2

### Pour calculer le coût de déploiement, nous avons pris certaines hypothèses d'installation :

- Les deux cœurs de réseau géographiquement séparés, supportent chacun un maximum de 500 utilisateurs ;
- Un câble de fibre optique est déroulé en entrelacement entre les équipements d'accès (BBU) et les relais (RRH) ;
- Un câble énergie est déroulé entre la station la plus proche et chaque relais ;
- Le coût des études et de gestion du projet est pris à 25 % du coût du matériel ;
- Le coût de la maintenance annuelle est pris à 15 % du coût des équipements actifs et 5 % du coût des équipements passifs.

### Ne sont pas pris en compte dans ce chiffrage :

- La marge d'un éventuel intégrateur ni de coût de maîtrise d'œuvre ;
- Les coûts des applicatifs télécom (MCPTT...) ;
- Les coûts de migration des applicatifs ainsi que les terminaux ;
- Les coûts d'accès au réseau de transmission entre les cœurs de réseau et les stations de métro.

### Le coût de déploiement est synthétisé dans le tableau suivant :

Coût de revient sur 15 ans	Réseau « Signalisation »
Investissements (CAPEX)	16 651 000 €
Exploitation annuelle (OPEX)	456 000 €
Exploitation et maintenance sur 15 ans	23 395 000 €

# 4

## Le cas des réseaux mobiles commerciaux

**L**es réseaux radio des opérateurs mobiles publics (Orange, SFR, Bouygues Telecom, Free) sont désormais largement présents dans les emprises des métros, y compris à l'intérieur dans les tunnels et les stations. Ainsi, il est légitime de se poser la question de leur utilisation par les exploitants de métros, et ce d'autant plus que ces opérateurs proposent des services dédiés aux entreprises de plus en plus ciblés.

Sans entrer dans le détail des coûts, il existe plusieurs raisons qui dissuadent à un opérateur d'importance vitale tel qu'un exploitant de métros de s'orienter vers ce type de solutions.

En premier lieu, les réseaux des opérateurs publics ne sont pas conçus pour absorber de gros débits montants (de l'utilisateur vers le réseau). En effet, la plupart des usages publics vont dans le sens descendant (réseau vers utilisateur), contrairement au besoin d'un opérateur de transports (déchargement de flux vidéo et de données du train vers le sol). Les réseaux mobiles publics ne sont donc pas dimensionnés pour les applications « métro ».

Deuxièmement, les opérateurs publics peinent à garantir l'écoulement des flux de données. La ressource radio est, en effet, partagée avec le grand public, et il n'y a pas de priorisation de l'un par rapport à l'autre. Avec l'arrivée de la 5G, et des bandes plus larges, les opérateurs sont maintenant en mesure de proposer des tranches (« slicing ») allouées à un client particulier. Mais malgré cela, leur système n'est pas sécurisé : si un relais tombe en panne, l'exploitant de métro n'a plus de réseau sur une zone donnée et son exploitation risque d'être impactée. En plus, il faudrait que ce relais soit traité immédiatement par la maintenance, ce qui est loin d'être garanti quand on fait appel à un mainteneur extérieur.

Dernier inconvénient, en s'abonnant aux services d'un opérateur mobile public, un opérateur de métros deviendrait dépendant de celui-ci, avec peu de levier pour discuter des prix alors qu'un transfert des services vers un autre opérateur serait une opération risquée et tout aussi coûteuse.

Tout au mieux les réseaux des opérateurs mobiles commerciaux peuvent être utilisés :

- Pour fournir du trafic « données » supplémentaires qui dépasserait les capacités du réseau privé (débordement),
- Pour assurer un niveau de sécurisation supplémentaire à ceux des réseaux privés.



# 5

## Les synergies possibles

## 5.1 Réseau « Voix/Bas débit »

Un **réseau « Voix/Bas débit » 4G/5G en bande 700 MHz** a vocation à demeurer car il assure un service « voix » dans toutes les emprises, y compris les stations. Son fonctionnement en bande basse lui assure une bonne couverture et la réutilisation d'infrastructures antennaires existantes, et donc un coût réduit.

Son cœur de réseau peut être mutualisé avec celui d'un autre réseau 4G/5G.

## 5.2 Réseau « Haut débit »

Les **réseaux « Données » et « Signalisation »** peuvent être fusionnés pour ne former qu'un seul réseau **« Haut débit » en 2,6 GHz ou 3,8-4,0 GHz**. Il est préférable de passer sur l'une de ces deux bandes plutôt que de choisir la bande 5,9 GHz car on ne dispose que de 20 MHz au maximum sur la bande 5,9 GHz, contre 40 MHz sur la bande 2,6 GHz et 200 MHz sur la bande 3,8-4,0 GHz. Cela permet ainsi de meilleurs débits. Par ailleurs, la couverture est meilleure sur ces fréquences plus basses.

Les contraintes les plus exigeantes doivent ainsi s'appliquer à ce réseau nouvellement constitué. Par rapport à l'architecture du réseau voix données ici avant, il s'agit d'assurer le doublement des accès radio (BBU) afin de sécuriser entièrement le réseau nouvellement constitué. Ce dernier prend désormais la dénomination de réseau radio multi-service.

Ainsi :

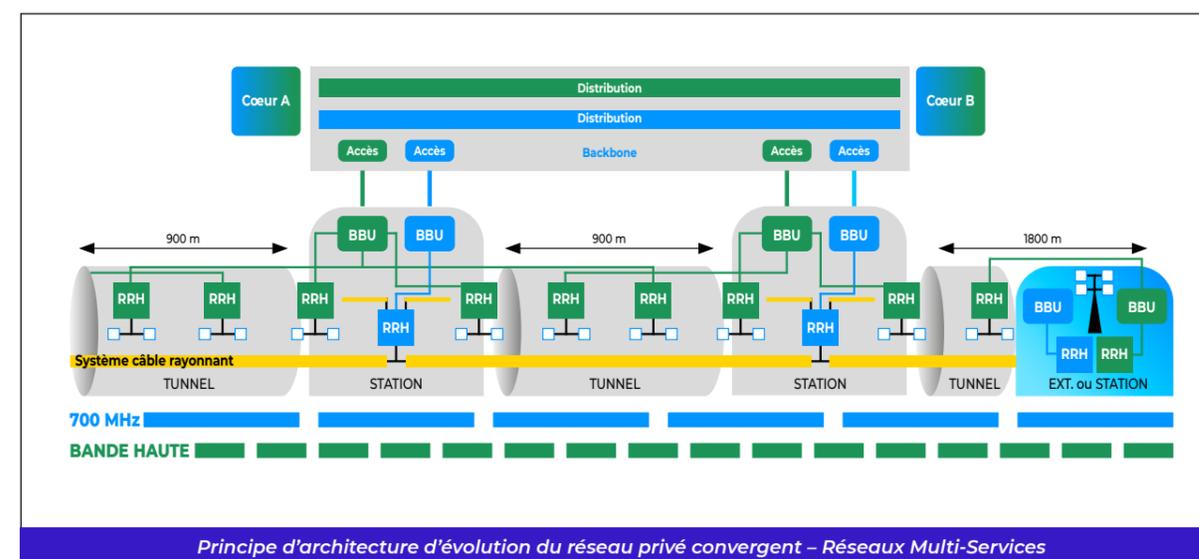
- En cas de défaillance d'un relais, le réseau « Haut débit » va s'appuyer sur le réseau 700 MHz pour continuer à fonctionner en mode dégradé ;
- Deux cœurs de réseau dupliqués et géographiquement séparés, dimensionnés pour 1000 utilisateurs car on regroupe les utilisateurs de deux réseaux ;
- Le réseau nouvellement constitué peut réserver de manière exclusive d'une largeur de bande de 5 MHz sur ce réseau, dédiée uniquement à la signalisation. Le reste de la bande reste dédié alors à la transmission de données.

## 5.3 Architecture cible

L'architecture des **réseaux de communication « Voix » 4G/5G 700 MHz** dans les stations et les linéaires de voies (en bleu), et **« Haut débit » 4G/5G 2,6 GHz ou 3,8-4,0 GHz** dans les linéaires de voies (en vert) est dimensionnée pour répondre aux besoins fonctionnels et de sécurisation des exploitants. Les équipements d'accès (BBU) sont doublés et dédiés à un seul réseau. Les cœurs de réseaux sont géographiquement séparés et mutualisés aux deux réseaux.

**Les caractéristiques de cette architecture sont les suivantes :**

- Les relais (RRH) ne sont pas redondés ;
- 1 relais (RRH) est installé en **700 MHz** par station ;
- 1 relais (RRH) **2,6 GHz** ou **3,8-4,0 GHz** est installé tous les 250 m environ en intérieur ;
- Les relais (RRH) installés en tunnels sont fixés sur des antennes dos à dos en voûte ;
- Les relais (RRH) installés en extérieur sont sur des mâts de 10 m de hauteur ;
- Les équipements d'accès (BBU) sont doublés et raccordent chacun une couche radio indépendamment ;
- Les cœurs de réseau sont dupliqués et géographiquement séparés pour assurer une sécurisation du fonctionnement.



## 5.4 Coûts de déploiement

Par extrapolation à nos deux lignes de métro standard, nous pouvons calculer le nombre d'équipements nécessaires à la réalisation d'un **réseau de communication « Voix » 4G/5G 700 MHz** dans les stations et le long des linéaires de voies, et d'un **réseau « Haut débit » 4G/5G 2,6 GHz** ou **3,8-4,0 GHz** le long des linéaires de voies.

Quantitatif Equipements	TOTAL
 BBU 700 MHz/Bande haute	92
 RRH	153
 Antenne en Station	32
 Antenne en Tunnel	131
 Antenne Extérieure	49
 Alimentation Energie BBU/RRH	245
 Coax RRH vers Antenne Station/Tunnel	1 630 m
 Coax RRH vers Antenne sur mât 10 m	980 m
 Fibre optique (paire)	63 000 m
 Coeur de réseau	2

### Pour calculer le coût de déploiement, nous avons pris certaines hypothèses d'installation :

- Deux cœurs de réseau géographiquement séparés, chacun pour un maximum de 1000 utilisateurs ;
- Un câble de fibre optique est déroulé entre les équipements d'accès (BBU) et les relais (RRH) ;
- Un câble énergie est déroulé entre la station la plus proche et chaque relais ;
- Le coût des études et de gestion du projet est pris à 25 % du coût du matériel ;
- Le coût de la maintenance annuelle est pris à 15 % du coût des équipements actifs et 5 % du coût des équipements passifs ;

### Ne sont pas pris en compte dans ce chiffrage

- La marge d'un éventuel intégrateur ni de coût de maîtrise d'œuvre ;
- Les coûts des applicatifs télécom (MCPTT...) ;
- Les coûts de migration des applicatifs ainsi que les terminaux ;
- Les coûts d'accès au réseau de transmission entre les cœurs de réseau et les stations de métro.

### Le coût de déploiement est synthétisé dans le tableau suivant :

Coût de revient sur 15 ans	Réseau « Voix » + « Haut débit »
Investissements (CAPEX)	12 353 000 €
Exploitation annuelle (OPEX)	446 000 €
Exploitation et maintenance sur 15 ans	19 046 000 €

En comparant les coûts de revient de cette solution réseau optimisée à ceux des réseaux séparés, on constate **une économie de l'ordre de 46 %**. Par ailleurs les coûts de la solution optimisée sont inférieurs à ceux de la solution réseau envisagée pour supporter l'application de signalisation seule.

## Conclusion

Les conclusions de l'analyse réalisée dans ce livre blanc sont sans appel. La réalisation d'une infrastructure commune de communication de voix, données et signalisation permet de réduire de **moitié l'investissement et les coûts d'exploitation** par rapport à des projets d'infrastructures séparées. Il s'agit d'une réalité qu'il n'est plus possible d'ignorer.

A l'instar d'autres activités de transport et d'autres technologies (filaire...), les exploitants de métro doivent désormais clairement distinguer :

- Le réseau de communication sans fil à proprement parlé dont la fonction est d'assurer des échanges de flux de données sur l'ensemble des espaces (ouvert au public au privatif) du réseau de métro.
- Les applicatifs ou usages qui ont vocation à utiliser le réseau de communication sans fils.

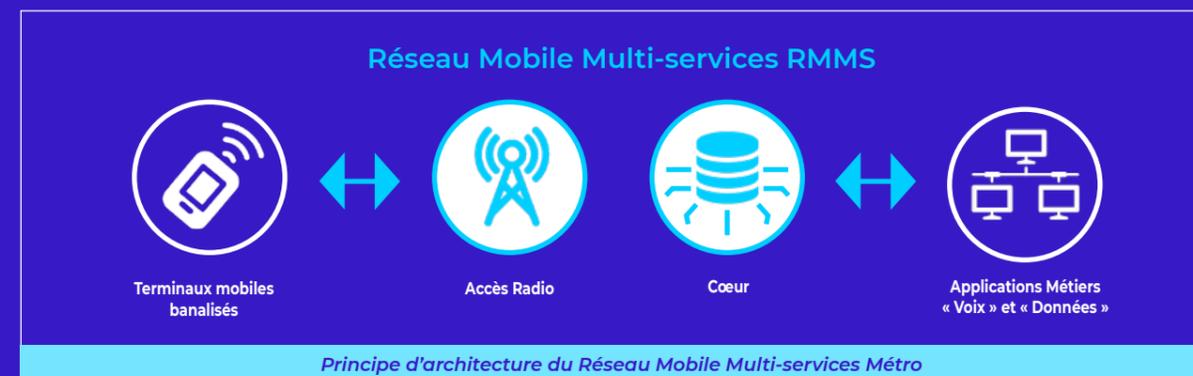
Le réseau de communication sans fil unique constitue donc le **« Réseau mobile multi-services »** du réseau de métro.

Cette approche est celle qui a été retenue dans le cadre de la mise en oeuvre du futur réseau de communication ferroviaire FRMCS. Sa transposition dans le monde métro apparaît d'autant plus logique.

Le défi des exploitants du réseau métro est plus d'ordre organisationnel que technique. En effet, les caractéristiques techniques et économiques des réseaux sans fil décrites ici avant sont connues depuis de nombreuses années. Des tests en grandeur nature (Projet SYSTUF en 2014) ont déjà permis de qualifier le principe du réseau multi-services en conditions réelles. La généralisation de cette approche requerra un rapprochement entre les équipes techniques qui gèrent respectivement,

- Les systèmes de signalisation.
- Les systèmes information.

Une impulsion émanant de la direction générale s'avère donc indispensable. Il s'agit d'adapter l'organisation à la nouvelle donne technologique. Le bénéfice des synergies exposées dans ce livre blanc est à ce prix.



# Glossaire

<b>3GPP</b>	3 <sup>rd</sup> Generation Partnership Project
<b>4G</b>	4 <sup>e</sup> génération
<b>5G</b>	5 <sup>e</sup> génération
<b>AMOSS</b>	Agence des Communications Mobiles Opérationnelles de Sécurité et de Secours
<b>ARCEP</b>	Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse
<b>BBU</b>	Base Band Unit
<b>CBTC</b>	Communication Based Train Control
<b>FRMCS</b>	Future Railway Mobile Communication System
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>GSM-R</b>	Global System for Mobile communications – Railways
<b>ITS</b>	Intelligent Transportation System
<b>Mbit/s</b>	Mégabits par seconde
<b>MCPTT</b>	Mission Critical Push To Talk
<b>MHz</b>	MHz
<b>RRH</b>	Remote Radio Head
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>TETRA</b>	Terrestrial Trunked Radio
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency
<b>UITP</b>	Union internationale des transports publics
<b>WiFi</b>	Wireless Fidelity

## A propos de LD expertise

Active depuis 2002, LD est une société de services qui démontre une expertise reconnue dans les infrastructures réseaux au service des professionnels. Cette expertise couvre les réseaux filaires, sans fil et les infrastructures SI de type Data Center.

LD œuvre auprès de ses clients sous la forme de prestations de :

- Conseil : veille technologique, réglementaire et stratégique.
- Ingénierie et suivi de projet : spécifications fonctionnelles, cadrage et conception de réseaux, mesures, suivi de mise en œuvre.