



LIVRE BLANC

LA CONCEPTION

D'UN RÉSEAU SANS FIL  
SOUTERRAIN POUR UNE

TRANSPORT

FERROVIAIRE : DÉFIS ET  
MEILLEURES PRATIQUES

par Vladan Jevremovic, PhD

## 01. INTRODUCTION

Le transport ferroviaire rapide est un terme courant pour désigner le type de service de train de passagers local que l'on trouve dans de nombreuses grandes villes à travers le monde. En 2013, 178 villes dans le monde disposaient d'un système de transport ferroviaire rapide, avec 7 000 gares et 8 000 kilomètres de voies ferrées. Les systèmes les plus fréquentés au monde sont ceux de Tokyo, avec 3,2 milliards de passagers par an, suivis par ceux de Séoul et de Pékin, avec 1,5 milliard de passagers par an.

Le coût total du réseau est de 2,5 milliards d'euros. Le plus grand système est celui de New York, qui compte 468 stations de transport en commun, suivi de près par Séoul avec 429 stations, et Paris, loin derrière, avec 300 stations [1].

Bien que le transport ferroviaire rapide diffère d'une ville à l'autre, il présente certaines caractéristiques communes. Un système de transport ferroviaire rapide couvre toujours la zone urbaine centrale de la ville ("centre-ville"), la principale zone commerciale et/ou touristique, et doit également atteindre les principales zones environnantes où vivent les navetteurs ("banlieues"). Comme la majeure partie du trafic a lieu lorsque les navetteurs se rendent à leur travail et en reviennent, les heures les plus chargées ("heures de pointe") se situent le matin, en fin d'après-midi et en début de soirée. Dans un système typique, la plupart des stations du centre urbain sont situées sous terre et interconnectées par des tunnels, tandis que dans les zones suburbaines, certaines stations peuvent être situées sous terre et d'autres au niveau du sol. Les distances entre les stations urbaines sont généralement plus courtes que les distances entre les stations suburbaines.

Une gare située dans une zone urbaine centrale dessert généralement plus d'une ligne ferroviaire. Certaines gares exploitent deux lignes ferroviaires à partir d'un seul quai. D'autres gares accueillent plus de lignes ferroviaires en creusant plus profondément sous terre et disposent de plusieurs quais, superposés les uns aux autres. Ces quais sont reliés entre eux par des escaliers, des escaliers roulants et des ascenseurs. La figure 1 présente une vue simplifiée d'une gare à quais multiples.



Figure 1 : Gare ferroviaire souterraine avec plusieurs quais de gare

Il existe de nombreux exemples dans le monde de stations de transport rapide partageant des installations avec des services ferroviaires régionaux de passagers ; parmi les plus connus, on peut citer Union Station à Washington DC, Amsterdam Centraal railway station et London Victoria station. Ces gares disposent également d'un grand nombre de magasins et de cafés situés dans la zone d'accès général entre l'entrée de la gare et l'entrée des quais. Il faut en tenir compte lors du dimensionnement des réseaux sans fil, car les possibilités de shopping et de restauration incitent les navetteurs à passer plus de temps à la gare qu'ils ne le feraient autrement.

## 02. PROBLÈME

Si la couverture macro près de l'entrée de la gare et à l'intérieur du hall d'entrée est acceptable, la couverture au-delà des guichets, dans les escaliers roulants, les couloirs, les quais de gare et à l'intérieur des tunnels est souvent médiocre, voire inexistante. La gare est desservie par des trains rapides et des trains régionaux. Les deux systèmes sont situés sur des quais distincts, et chaque quai se termine par un large tunnel avec deux ensembles de voies qui transportent le trafic dans les deux sens. Le nouveau réseau sans fil de la gare doit prendre en charge les principaux fournisseurs de services sans fil de la ville, ainsi que le réseau des services d'urgence de la ville ("premiers intervenants") et le Wi-Fi. Le réseau doit couvrir l'intérieur des tunnels reliant les stations ; toutefois, il n'est pas nécessaire que le Wi-Fi soit fourni dans les tunnels. Le réseau des services d'urgence doit être disponible à tout moment à l'intérieur des trains, même lorsque deux trains sont arrêtés l'un à côté de l'autre dans un tunnel. Les zones de couverture cibles sur le site sont illustrées à la figure 2.



### 03. EXIGENCES EN MATIÈRE DE CONCEPTION

Les exigences spécifiques en matière d'aménagement du site sont les suivantes :

#### 3.1 COUVERTURE RF

La couverture RF de la station doit être assurée pour les technologies sans fil suivantes :

- \ GMS
- \ UMTS
- \ LTE
- \ Radio à ressources partagées (sécurité publique)
- \ Wi-Fi (802.11n)

Les bandes de fréquences suivantes doivent être incluses dans le réseau :

- \ 700 MHz
- \ Bande SMR (800 MHz)
- \ Bande cellulaire (850 MHz)
- \ Bande PCS (1900 MHz)
- \ Bande AWS (2100 MHz)
- \ 2,4 GHz

La couverture de la gare doit inclure le hall d'entrée avec les magasins, les quais, les guichets, les escaliers, les escaliers roulants et les couloirs. Une vue en 3D est présentée à la figure 3. La couverture doit également s'étendre aux tunnels pour toutes les technologies à l'exception du Wi-Fi et pour toutes les bandes à l'exception de la bande des 2,4 GHz. Une exigence importante est que la couverture des services d'urgence à l'intérieur des trains doit être présente même lorsque les trains sont arrêtés dans un tunnel l'un à côté de l'autre.

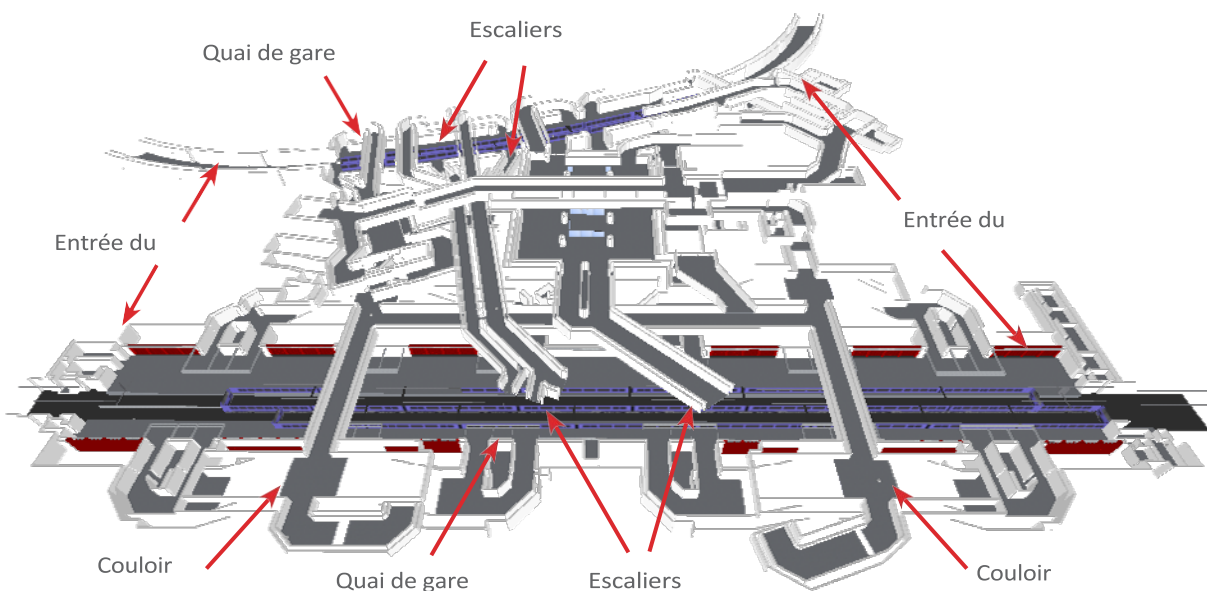


Figure 3 : Vue 3D de la gare

Les valeurs cibles de l'intensité du signal RF sont les suivantes :

\ GSM BCCH	-85 dBm
\ UMTS CPICH	-85 dBm
\ RSRP LTE	-95 dBm
\ Radio à ressources partagées Rx	-95 dBm
\ Wi-Fi Rx	-75 dBm

Pour la radio à ressources partagées, la couverture est requise à 100 % de la station et des tunnels. Pour les technologies cellulaires, la couverture est requise sur 95 % de la station et des tunnels. Pour le Wi-Fi, la couverture est requise sur 95 % de la station uniquement. Ces valeurs de conception sont typiques des réseaux sans fil.

## 32 CAPACITÉ

Aux heures de pointe, 120 trains s'arrêtent à la gare. En moyenne, un train passe 30 secondes à la gare pour charger et décharger les passagers. Un train typique est composé de 10 voitures, et chaque voiture peut transporter jusqu'à 150 passagers. Le hall d'entrée abrite une douzaine de magasins de détail et plusieurs petits restaurants. Aux heures de pointe, il y a 1 000 navetteurs, commerçants et employés de restaurant dans la zone du hall d'entrée. Dans cet exemple, quatre FSSF ont besoin d'une couverture sur le site, et la répartition de leur technologie et de la pénétration de la clientèle est la suivante :

### \ WSP A : 30% de taux de pénétration

- GSM 5 %
- UMTS 35
- LTE 60%

### \ WSP B : 25% de taux de pénétration

- GSM 5 %
- UMTS 40
- LTE 55%

### \ WSP C : taux de pénétration de 25%.

- GSM 5 %
- UMTS 45
- LTE 50

### \ WSP D : taux de pénétration de 20

- GSM 10 %
- UMTS 60%
- LTE 30%

Un réseau WSP est dimensionné pour supporter le trafic aux heures de pointe avec des taux de blocage d'appels spécifiés. Pour un réseau uniquement vocal tel que le GSM, le taux cible de blocage des appels vocaux se situe entre 1 % et 5 %, 2 % étant le taux le plus couramment utilisé. Pour les réseaux voix et données tels que UMTS et LTE, le taux de blocage des appels varie en fonction du débit de données ; une application qui nécessite un débit de données élevé, comme le téléchargement de données ou la diffusion vidéo en continu, aura un taux de blocage des appels plus élevé. Dans ce cas, on calcule un taux composite de blocage d'appel qui prend en compte les taux de blocage d'appel pour les applications individuelles. Un taux de blocage composite typique est de 5 % ou plus.

### 3.3 GESTION DES TRANSFERTS

L'objectif de la gestion du transfert est d'établir une zone de transfert claire entre deux secteurs. Il existe deux types de transfert : les transferts entre les macro-réseaux et le réseau interne au bâtiment, et les transferts entre les secteurs du réseau interne au bâtiment. La majeure partie de la station étant souterraine, le chevauchement résiduel des signaux du réseau macro est très faible, principalement près de l'entrée de la station, où se trouvent les magasins de détail et les restaurants. En fonction du nombre d'abonnés à la station, un PSW peut nécessiter plusieurs secteurs pour prendre en charge le trafic des abonnés. Dans ce cas, la zone de transfert entre les secteurs doit être limitée aux zones de transit telles que les passerelles, les escaliers roulants ou les escaliers. Une autre zone de transfert potentielle se trouve à l'intérieur des tunnels, où le transfert doit être effectué alors que le train se déplace à pleine vitesse. La section 5.1 fournit plus d'informations à ce sujet.

## 04. SOLUTION

Comme le système à l'intérieur du bâtiment doit inclure plusieurs PSW et le réseau du service d'urgence (ES), une solution optimale est l'utilisation d'un système d'antennes distribuées (DAS) hôte neutre. Les ES et les WSP peuvent être déployés dans un DAS convergent, ou deux DAS distincts peuvent être construits, l'un pour les ES et l'autre pour tous les WSP. La décision de déployer une architecture DAS convergente ou distincte doit être prise en fonction de la PIRE, des bandes de fréquences et des technologies déployées. Au niveau de la station, les amplificateurs DAS (unités distantes) sont connectés par des câbles coaxiaux à des antennes ponctuelles. Dans les tunnels, la couverture est assurée par des câbles rayonnants, parfois appelés "leaky feeders", qui sont connectés à des unités distantes. Les points d'accès Wi-Fi sont déployés dans toute la station mais ne partagent pas les antennes et le câblage avec le DAS. Le Wi-Fi ne permettant pas une mobilité totale, il n'y a pas d'exigence de couverture Wi-Fi dans les tunnels. En règle générale, la couverture Wi-Fi ne peut être assurée à l'intérieur des wagons que si les points d'accès Wi-Fi utilisent un réseau cellulaire comme liaison sans fil. Dans ce cas, le réseau cellulaire partage sa capacité avec le réseau Wi-Fi et le débit de données maximal réalisable du Wi-Fi à l'intérieur des wagons est limité par le débit de données maximal réalisable pour le réseau dans les tunnels.

## 05. MEILLEURES PRATIQUES

### 5.1 COUVERTURE RF

La meilleure façon d'assurer la couverture de la station est d'utiliser plusieurs antennes à source ponctuelle. Sur un long quai avec un plafond haut ou ouvert, il est préférable d'utiliser des antennes directionnelles placées aux extrémités opposées. Dans les endroits où le plafond est bas, tels que les allées, les halls d'entrée et les escaliers comme ceux illustrés à la figure 2, les antennes omnidirectionnelles sont les mieux adaptées. La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) de l'antenne doit être inférieure à 30 dBm afin de limiter l'intermodulation passive (PIM). Le sujet de l'intermodulation passive est traité plus en détail au point 5.4.

Comme indiqué dans la section 2, la gare dispose de deux quais. Le quai des trains régionaux (quai 1), équipé de deux antennes directionnelles, est illustré à la figure 4.

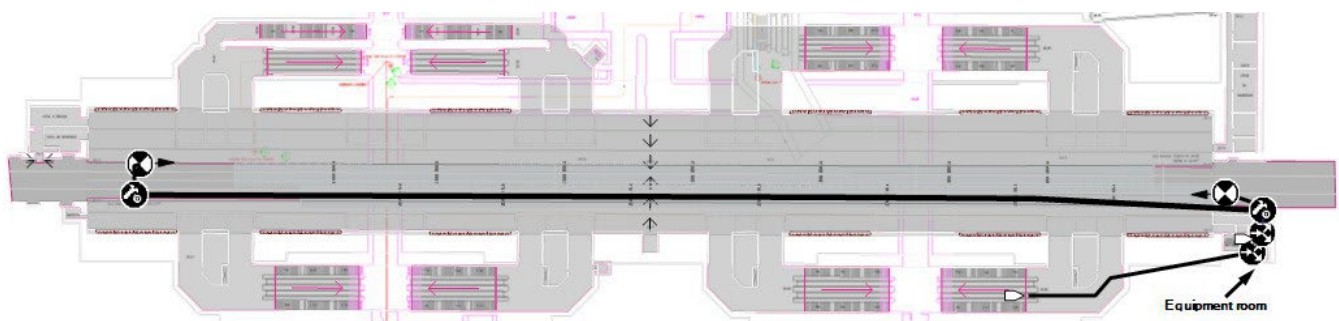


Figure 4 : Plate-forme 1 avec antennes directionnelles aux extrémités opposées

Une illustration 3D du quai 1 avec deux trains arrêtés l'un à côté de l'autre est présentée dans la figure 5.

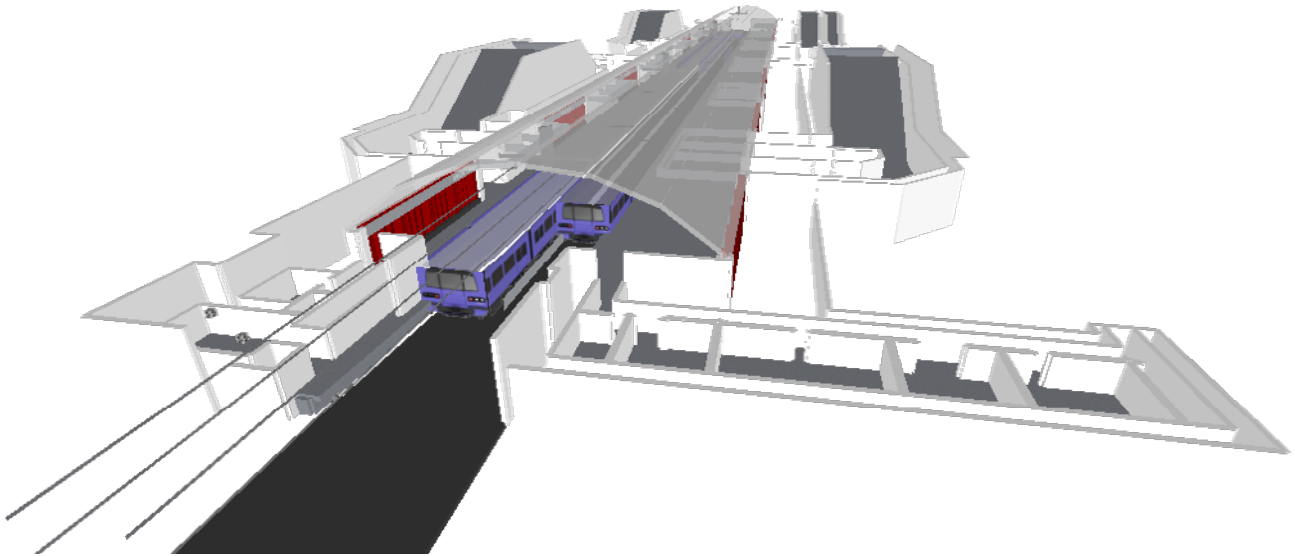


Figure 5 : Quai 1 avec deux trains présents

La figure 6 présente une illustration en 3D de la plate-forme de transport ferroviaire rapide (plate-forme 2) avec un train à quai.

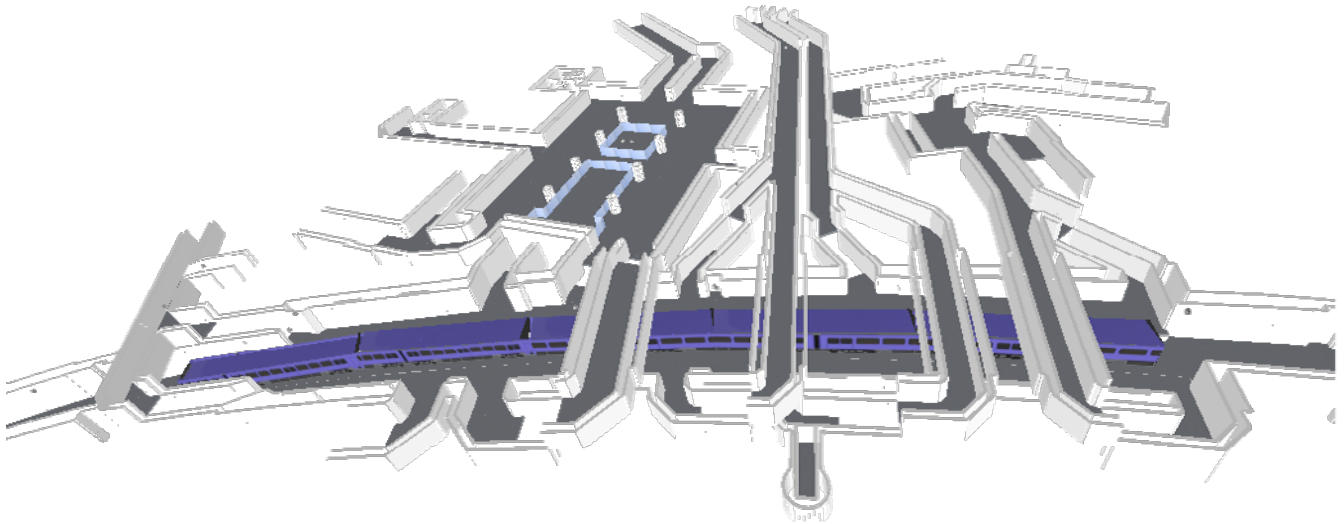


Figure 6 : Quai 2 avec un train présent

S'il existe une ligne de vue (LOS) entre les sorties du tunnel, des antennes directionnelles à source ponctuelle montées aux extrémités opposées peuvent fournir une couverture suffisante. Dans le cas contraire, il est recommandé d'utiliser des câbles rayonnants. Dans un tunnel à deux voies, les câbles rayonnants transportant les signaux de sécurité publique doivent être montés le long des parois opposées afin d'assurer une couverture même lorsque les trains sont arrêtés l'un à côté de l'autre. La figure 7 illustre ce cas, avec des câbles rayonnants montés sur des murs opposés.

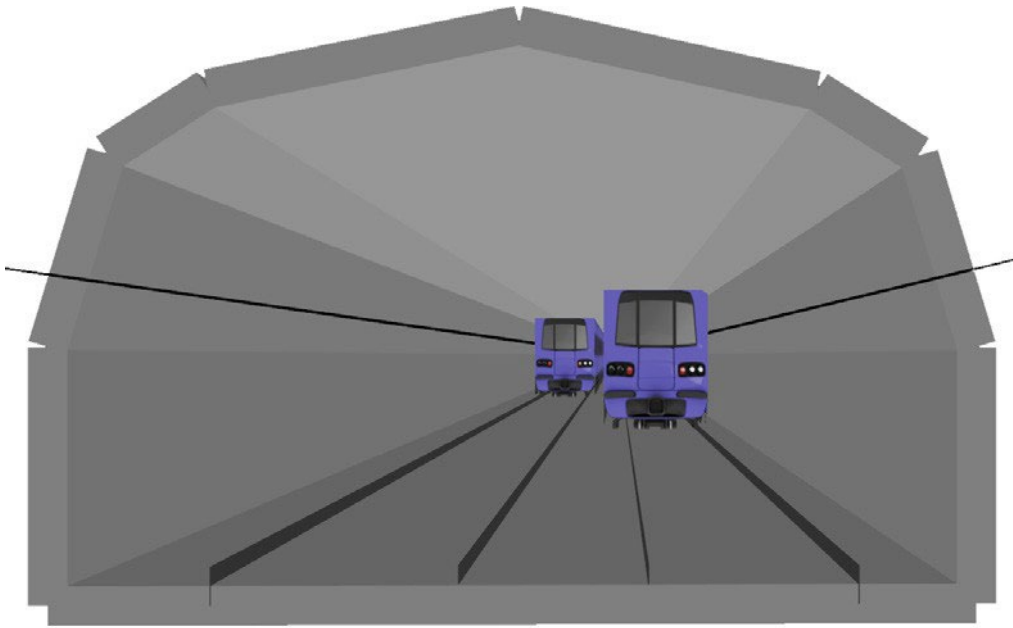


Figure 7 : Câbles rayonnants montés le long de murs opposés dans un tunnel

Examinons maintenant les limites de longueur des câbles rayonnants. Le câble Eupen RMC 78-HLFR présente une perte de couplage de 69 dB à 1900 MHz et une perte de 6,4 dB par 100 mètres [2]. En supposant qu'une unité distante (UR) de forte puissance (10 W) soit utilisée pour alimenter le câble, et en supposant également une puissance de réception de -85 dBm à l'intérieur du train et un affaiblissement de pénétration d'environ 5 dB pour des fenêtres de 1 cm d'épaisseur [3], l'affaiblissement maximal sur le trajet est de  $40 + 85 - 5 = 120$  dB. Compte tenu de l'affaiblissement de couplage de 69 dB, l'affaiblissement maximal admissible dû à la longueur du câble est de  $120 - 69 = 51$  dB. Avec une perte de 6,4 dB par 100 mètres, cette perte maximale de 51 dB est atteinte après seulement 800 mètres. Deux câbles partant de chaque extrémité peuvent couvrir des tunnels d'une longueur maximale de 1,6 km.

Dans un tunnel de plus de 1,6 kilomètre, il est possible d'utiliser des EF en cascade pour étendre la couverture. Toutefois, l'utilisation d'EF en cascade augmente le bruit de la liaison montante par canal, ce qui réduit le débit de données et la capacité de la liaison montante. Pour maintenir les performances de la liaison montante, le rapport porteuse/bruit (C/N) du secteur avec les EF en cascade doit être calculé et comparé au C/N cible de la liaison montante.

La "fenêtre de recherche" est un paramètre UMTS qui définit la distance maximale du chemin qui peut être résolue au niveau du récepteur. Selon la spécification du protocole 3GPP RRC [4], la fenêtre de recherche UMTS a l'une des trois valeurs suivantes : 40 chips ( $\pm 20$  chips), 256 chips ( $\pm 128$  chips) et 2560 chips ( $\pm 1280$  chips) : 40 puces ( $\pm 20$  puces), 256 puces ( $\pm 128$  puces) et 2560 puces ( $\pm 1280$  puces). Compte tenu de la durée d'une puce UMTS (0,26 ms), la différence de trajet maximale résoluble si la fenêtre de recherche est fixée à 40 puces est de 1 560 mètres ; si la fenêtre de recherche est fixée à 256 puces, la différence de trajet maximale est de 10 kilomètres, et pour 2560 puces, elle est de 100 kilomètres. Si la propagation par trajets multiples est supérieure à la différence maximale de trajet, elle est traitée comme une interférence. Pour lutter contre les interférences causées par un retard excessif du signal, la taille de la fenêtre de recherche doit être ajustée. Par exemple, un secteur UMTS qui se connecte à un câble rayonnant d'une longueur supérieure à 1,5 kilomètre doit avoir une fenêtre de recherche de 256 puces, et non de 40.

La technologie LTE contrecarre la propagation par trajets multiples en introduisant une "période de garde", c'est-à-dire un intervalle de transmission sur la liaison descendante entre des symboles OFDM consécutifs. Cet intervalle de transmission est appelé "préfixe de cycle" (CP) et, selon la norme 3GPP [5], la période de garde est de 5,2 ms pour le CP normal et de 16,7 ms pour le CP étendu si l'espacement des sous-canaux est de 15 kHz. Une durée de CP de 5,2 ms équivaut à une différence de trajet maximale de 1 560 mètres, tandis qu'une durée de CP de 16,7 ms équivaut à une différence de trajet de 5 kilomètres. Par conséquent, un secteur LTE qui se connecte à des câbles rayonnants en cascade d'une longueur supérieure à 1,56 kilomètre doit avoir une durée de CP étendue. Les câbles rayonnants en cascade de plus de 5 kilomètres ne doivent pas être utilisés avec cette technologie.



Si plusieurs secteurs sont utilisés dans un tunnel, un chevauchement de couverture suffisant doit être maintenu pour permettre plusieurs tentatives de transfert. Lors du calcul du chevauchement de la couverture, il convient de tenir compte de la vitesse du train dans la zone de transfert et du fait que l'intensité du signal provenant des deux secteurs doit être supérieure au niveau cible pendant les tentatives de transfert consécutives [6]. Étant donné qu'une tentative de transfert prend 2 à 3 secondes et qu'au moins 3 tentatives de transfert devraient être possibles dans la zone de chevauchement, un train devrait passer au moins 10 secondes dans la zone de transfert. Par exemple, si la vitesse du train est de 36 km/h, la zone de transfert doit avoir une longueur de 100 mètres et les 100 derniers mètres du câble rayonnant connecté à un secteur du tunnel doivent chevaucher les 100 premiers mètres du câble rayonnant connecté au secteur suivant.

### 5.3 DIMENSIONNEMENT DES CAPACITÉS

Le dimensionnement de la capacité détermine le nombre de secteurs nécessaires pour supporter le trafic de pointe sur le site. Comme indiqué dans la section 3.2, il y a en moyenne deux trains par minute et chaque train passe 30 secondes à la gare. Cela implique qu'il y a au moins deux trains à la gare pendant les heures de pointe. Toutefois, il s'agit là de chiffres moyens et, pour calculer la capacité maximale aux heures de pointe, il faut tenir compte du fait qu'occasionnellement, jusqu'à quatre trains peuvent se trouver simultanément à la gare. Chaque train compte jusqu'à 10 voitures, et chaque voiture peut accueillir jusqu'à 150 passagers, de sorte que quatre trains peuvent transporter jusqu'à 6 000 navetteurs à l'heure de pointe. Si l'on tient compte de la présence de 1 000 personnes supplémentaires dans la zone de shopping et de restauration du hall d'entrée, le nombre maximum de personnes présentes à la gare aux heures de pointe est de 7 000.

Aux heures de pointe, selon la répartition de la pénétration de la clientèle indiquée au point 3.2, le prestataire de services d'accès à l'internet A compte 2 100 abonnés à la gare, les prestataires de services d'accès à l'internet B et C en comptent 1 750 chacun et le prestataire de services d'accès à l'internet D en compte 1 400. Si nous supposons que deux trains circulent dans le tunnel à l'heure de pointe, il y a 3 000 navetteurs de plus dans le tunnel, c'est-à-dire que le PSF A a 900 abonnés dans le tunnel, les PSF B et C en ont 750 chacun, et le PSF D en a 600.

L'étape suivante consiste à ventiler le nombre d'abonnés par technologie, tant à l'intérieur des tunnels que dans les stations. En tenant compte de la répartition en pourcentage des technologies indiquée au point 3.2, la répartition est indiquée dans le tableau 1.

	GSM		UMTS		LTE	
	station	tunnel	station	tunnel	station	tunnel
WSP A	105	45	735	315	1260	540
WSP B	88	38	700	300	962	413
WSP C	88	38	787	337	875	375
WSP D	140	60	840	360	420	180

Tableau 1 : Nombre d'abonnés par technologie et localisation

#### 5.3.1 DIMENSIONNEMENT DE LA CAPACITÉ DE DONNÉES

La première étape consiste à définir des profils d'abonnés pour chaque technologie et chaque FSSF. Pour chaque type de service, la durée de la connexion au réseau pendant l'heure d'occupation est exprimée en milliErlangs (mE) par abonné. Il est important de noter qu'un abonné n'est pas limité à une tentative de service par heure d'occupation, mais qu'il peut tenter d'utiliser tous les types de services énumérés. Un débit fixe (en kbps) doit être défini pour chaque type de service. Le tableau 2 présente un exemple de profil d'abonné et de répartition du trafic de données dans une station de métro.

Type de service	mE/Utilisateur	kbps
Courriels	50	100
Navigation	100	200
Vidéo conf	20	600
Téléchargement des données	150	1000
Diffusion vidéo en continu	100	2000

Tableau 2 : Répartition du trafic de données sur le site pendant les heures d'affluence, par type de service : Durée de l'appel (milliErlangs par utilisateur) Débit de données (Kbps)

On suppose que le trafic vocal est acheminé par le protocole WCDMA (R99), tandis que les données 3G et 4G sont acheminées par les protocoles HSPA et LTE respectivement. La couverture LTE SINR dans le site est calculée et divisée en intervalles sur la base du schéma de modulation qui peut être réalisé dans chaque intervalle. La relation entre le SINR, la modulation et l'efficacité spectrale est tirée d'un document de recherche [7]. L'exemple du tableau 3 montre que, dans la région où le LTE PDSCH SINR  $\geq 20$  dB, la modulation 64-QAM avec un taux de codage  $R = 0,93$  est possible, ce qui donne une efficacité spectrale de

5,5 bits/s/Hz. Avec un SINR compris entre 15 et 20 dB, l'efficacité spectrale est de 3,9 bit/s/Hz, avec un SINR compris entre 9 et 15 dB, l'efficacité est de 2,4 bit/s/Hz, etc. Ces valeurs d'efficacité MCS supposent une configuration SISO.

Modulation	Efficacité des MCS	SINR
QPSK	1.18	3
16 QAM	2.40	9
64 QAM	3.90	15
64 QAM	5.55	20

Tableau 3 : Exemple LTE montrant la relation entre le schéma de modulation, l'efficacité MCS (bit/s/Hz) et le SINR (dB)

En connaissant la relation entre le schéma de modulation du signal, l'efficacité spectrale et le SINR, on peut calculer le nombre de ressources nécessaires pour prendre en charge chaque type de service énuméré dans le tableau 2. Ces "ressources" sont différentes selon les technologies : Les ressources LTE sont des blocs de ressources physiques (PRB) ; les ressources UMTS sont des codes orthogonaux HSPA ; etc. Comme l'efficacité spectrale varie en fonction du rapport SINR, le nombre de ressources nécessaires pour prendre en charge un certain type de service dans chaque zone de rapport SINR varie également. Par exemple, si le SINR est élevé, il faudra moins de PRB pour prendre en charge le courrier électronique que si le SINR est faible.

Ensuite, nous produisons la carte de couverture SINR de la liaison descendante LTE. Le chevauchement des secteurs ayant une incidence sur le rapport SINR, il convient d'émettre une hypothèse sur le nombre de secteurs dans le réseau. La gare comporte deux niveaux de quai et deux niveaux supplémentaires. Il est raisonnable de supposer qu'un secteur est nécessaire pour chaque quai de gare. Nous supposons également que chaque secteur couvre un niveau supplémentaire. La figure 8 montre la couverture LTE SINR de la gare.

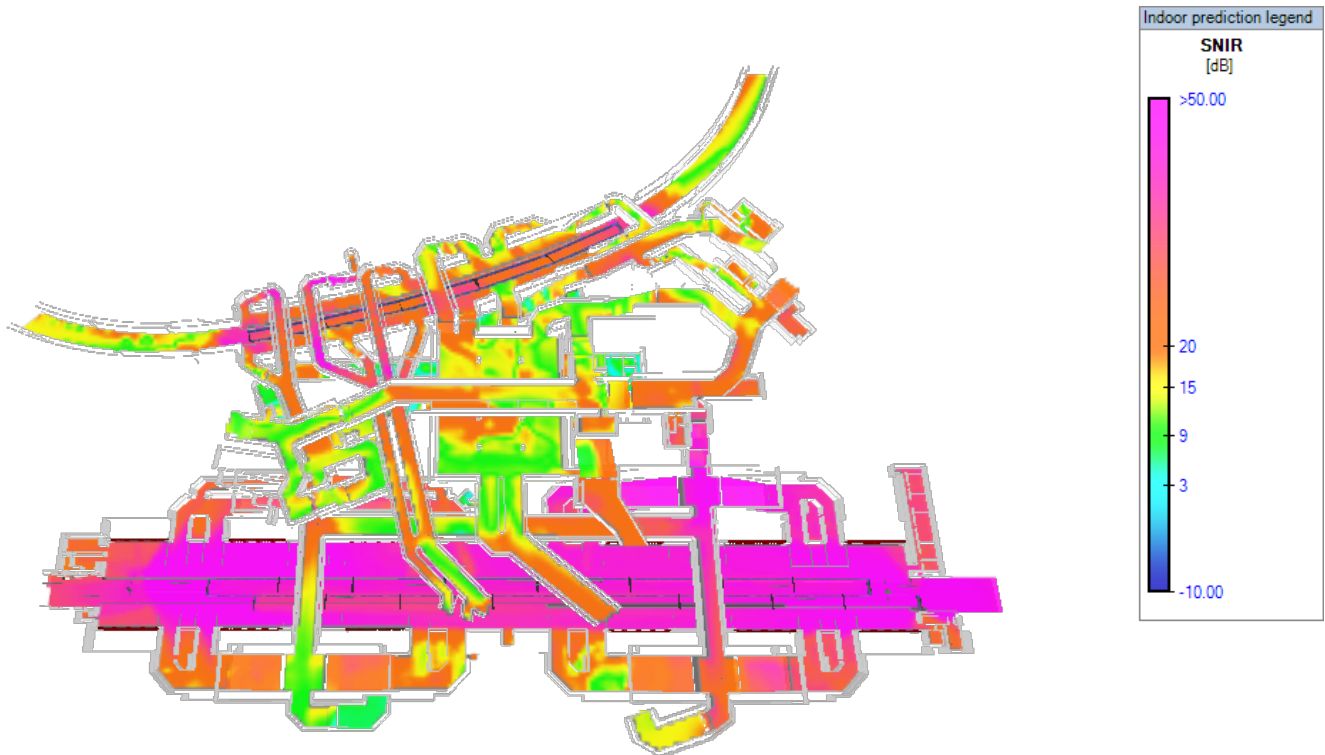


Figure 8 : Couverture SINR du PDSCH LTE utilisée pour l'exemple de dimensionnement de la capacité de données

La plage de SINR 1 ( $3 \leq \text{SINR} \leq 9$ ) couvre 10 % de la zone, la plage de SINR 2 ( $9 \leq \text{SINR} \leq 15$ ) couvre 20 % de la zone, la plage de SINR 3 ( $15 \leq \text{SINR} \leq 20$ ) couvre 20 % de la zone, et la plage de SINR 4 ( $\text{SINR} > 20$ ) couvre 50 % de la zone. En supposant une distribution uniforme des navetteurs (hypothèse raisonnable), le pourcentage d'utilisateurs LTE dans chaque plage de SINR est le même que le pourcentage de couverture de SINR pour cette plage.

Supposons que le LTE dispose d'un canal de 10 MHz et qu'il y ait 500 abonnés par secteur LTE, soit un total de 1 000 abonnés LTE à la station. Le trafic LTE en heures pleines (en Erlangs) est calculé sur la base du nombre d'abonnés par plage de SINR et du trafic en heures pleines par abonné, comme indiqué dans le tableau 2. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Métriques	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
SNIR	3	9	15	20
Distribution	10.0%	20.0%	20.0%	50.0%
Abonnés	100	200	200	500
courriels	5.0	10.0	10.0	25.0
navigaton	10.0	20.0	20.0	50.0
conf vidéo	2.0	4.0	4.0	10.0
téléchargement de données	15.0	30.0	30.0	75.0
streaming vidéo	10.0	20.0	20.0	50.0

Tableau 4 : Trafic LTE à l'heure de pointe offert (Erlangs) par type de service et gamme de SINR

On calcule ensuite le nombre de ressources nécessaires pour prendre en charge les types de service dans les différentes gammes. Le tableau 5 montre, pour cet exemple, la distribution des PRB LTE pour chaque plage de SINR.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Emails	1	1	1	1
Navigation sur Internet	2	1	1	1
Vidéoconférence	4	2	2	1
Téléchargement des données	6	3	2	2
Diffusion vidéo en continu	12	6	4	3

Tableau 5 : Nombre de PRB LTE par type de service et plage de SINR

Sur la base des tableaux 4 et 5, et compte tenu du nombre total de PRB dans le canal de 10 MHz, le taux de blocage pour chaque type de service peut être calculé. Le taux de blocage est défini comme le pourcentage de tentatives de connexion au réseau qui sont refusées en raison de l'insuffisance des ressources du réseau. La formule du taux de blocage pour des services multiples utilisée pour ce calcul est tirée de la recommandation de l'UIT-R [8]. Le tableau 6 présente le taux de blocage rencontré pour chaque type de service et chaque plage de SINR. On a supposé implicitement que le retard des paquets LTE était égal à une longueur de trame (10 ms) pour tous les services.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Emails	2.1%	2.1%	2.1%	2.1%
Navigation	4.2%	2.1%	2.1%	2.1%
Vidéo conf	8.3%	4.2%	4.2%	2.1%
Téléchargement des données	12.2%	6.2%	4.2%	4.2%
Diffusion vidéo en continu	23.5%	12.2%	8.3%	6.2%

Tableau 6 : Taux de blocage LTE rencontré (%) pendant l'heure d'affluence par type de service et plage de SINR

Le tableau 6 est essentiel pour le dimensionnement du réseau, car il indique le taux de blocage pour tous les types de services dans l'ensemble de la station (page 1-4). Par exemple, nous constatons que 6,2 % des tentatives de diffusion vidéo en continu à l'aide de la technologie LTE à partir de la zone où le rapport SINR

> 20 dB (plage 4) sont bloqués en raison de ressources LTE insuffisantes.

Si les taux de blocage calculés indiqués dans le tableau 6 sont jugés inacceptables, il faut augmenter le nombre de secteurs, recalculer la carte SINR et recommencer les calculs de capacité. Il s'agit d'un processus itératif qui se poursuit jusqu'à ce que des taux de blocage acceptables soient trouvés.

Le trafic transporté aux heures d'affluence est ensuite calculé sur la base du trafic offert (tableau 4) et du taux de blocage rencontré (tableau 6) pour chaque type de service. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4	Total
Emails	4.9	9.8	9.8	2.48	24.5
Navigation	9.6	19.6	19.6	7.42	48.9
Vidéo conf	1.8	3.8	3.8	4.88	9.8
Téléchargement des données	13.2	28.1	28.7	7.22	71.9
Diffusion vidéo en continu	7.6	17.6	18.3	4.62	46.9

Tableau 7 : Trafic LTE à l'heure de pointe (Erlangs) par type de service et gamme de SINR

Pour déterminer le trafic total offert aux heures d'affluence sur le site, on additionne les données du tableau 4. Pour déterminer le trafic transporté aux heures d'affluence, on additionne les données du tableau 7. Le trafic LTE offert est de 420 Erlangs tandis que le trafic LTE acheminé est de 398 Erlangs. Le taux composite de blocage des appels (BR) est calculé comme suit :

$$BR = (1 - \{\text{trafic transporté} / \text{trafic offert}\}) \text{ ce}$$

qui, pour cet exemple, donne 5,2%.

Le coefficient d'utilisation est défini comme le rapport entre le trafic transporté et le trafic maximal théorique lorsque toutes les ressources sont utilisées pendant toute l'heure d'activité, et il est calculé à 39,8 %. L'utilisation des données correspond au trafic transporté pendant l'heure d'affluence et s'élève à 150,4 gigaoctets (Go).

Si les statistiques de capacité pour deux secteurs LTE transportant le trafic de 1 000 abonnés sont jugées acceptables, les fournisseurs d'accès à Internet B et C peuvent utiliser ce même plan de sectorisation puisqu'ils ont près de 1 000 abonnés LTE. Pour le fournisseur de services Internet A (1 200 abonnés), la carte de couverture SINR et les statistiques de capacité doivent être recalculées pour trois secteurs LTE. Le fournisseur d'accès D n'ayant que 500 abonnés, son plan de sectorisation ne prévoit qu'un seul secteur.

Le même exercice peut être répété pour le HSPA. Comme dans le cas du LTE, nous supposons que le délai de transmission des paquets HSPA est de 10 ms. En supposant la même configuration à deux secteurs, la carte de couverture HSPA SINR est présentée à la figure 9.



Figure 9 : Couverture HSPA SINR utilisée pour l'exemple de dimensionnement de la capacité de transmission de données

La plage de SINR 1 du HSPA ( $5 \leq \text{SINR} \leq 11$ ) couvre 6 % de la zone, la plage de SINR 2 ( $11 \leq \text{SINR} \leq 22$ ) couvre 19 % de la zone, la plage de SINR 3 ( $22 \leq \text{SINR} \leq 24$ ) couvre 17 % de la zone, et la plage de SINR 4 ( $\text{SINR} > 24$ ) couvre 58 % de la zone. Supposons un canal RF de 5 MHz et 800 abonnés HSPA. Nous calculons ensuite le trafic aux heures d'affluence (en Erlangs) en fonction du nombre d'abonnés par plage de SINR et du trafic aux heures d'affluence par abonné, comme indiqué dans le tableau 2. Les résultats sont présentés dans le tableau 8.

Métriques	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
SINR	5	11	22	24
Pourcentage de couverture	6.0%	19.0%	17.0%	58.0%
Utilisateurs	48	152	136	464
Emails	0.24	0.76	0.68	2.32
Navigation sur Internet	0.72	2.28	2.04	6.96
Vidéoconférence	0.48	1.52	1.36	4.64
Téléchargement des données	0.72	2.28	2.04	6.96
Diffusion vidéo en continu	0.48	1.52	1.36	4.64

Tableau 8 : Trafic HSPA à l'heure de pointe offert (Erlangs) par type de service et plage de SINR

Le nombre de codes HSPA nécessaires pour prendre en charge les types de services dans les zones est calculé d'une manière similaire à celle utilisée pour les blocs de ressources (RB) LTE. La répartition des codes HSPA par plage de SINR est indiquée dans le tableau 9.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Courriels	3	1	1	1
Navigation sur Internet	6	3	1	1
Vidéoconférence	19	8	1	1
Téléchargement des données	31	13	2	1
Diffusion vidéo en continu	63	25	4	2

Tableau 9 : Nombre de codes HSPA par type de service et plage de SINR

Sur la base des tableaux 8 et 9, et compte tenu du nombre total de codes HSPA dans les deux secteurs, les probabilités de blocage pour chaque type de service sont calculées. Les valeurs de taux de blocage rencontrées pour chaque type de service et plage de SINR sont indiquées dans le tableau 10.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Courriels	84.5%	46.1%	46.1%	46.1%
Navigation	97.7%	84.5%	46.1%	46.1%
Vidéoconférence	100.0%	99.4%	46.1%	46.1%
Téléchargement des données	100.0%	100.0%	71.0%	46.1%
Diffusion vidéo en continu	100.0%	100.0%	91.8%	71.0%

Tableau 10 : taux de blocage HSPA rencontré par type de service et plage de SINR

Le trafic transporté aux heures d'affluence est calculé sur la base du trafic offert (tableau 8) et du taux de blocage rencontré (tableau 10) pour chaque type de service. Les résultats sont présentés dans le tableau 11.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Emails	0.37	4.10	3.67	12.51
Navigation	0.11	2.35	7.33	25.02
Vidéo conf	0.00	0.02	1.47	4.54
Téléchargement des données	0.00	0.01	5.91	6.80
Diffusion vidéo en continu	0.00	0.00	1.12	13.43

Tableau 11 : Trafic HSPA à l'heure de pointe (Erlangs) par type de service et gamme de SINR

Le trafic HSPA offert (tableau 8) est de 336 Erlangs et le trafic transporté (tableau 11) est de 120 Erlangs. Le taux de blocage composite est de 64,3 %, le cycle d'utilisation est de 80 % et l'utilisation des données est de 35,8 gigaoctets (Go). Il est clair que le blocage est trop élevé, car les services à haut débit de données tels que la vidéo en continu et le téléchargement de données ont un taux de blocage de plus de 50 % presque partout. Cela signifie que deux secteurs HSPA avec un canal RF chacun ne sont pas suffisants pour prendre en charge 800 abonnés. Pour améliorer les statistiques, il faut soit augmenter le nombre de secteurs HSPA, soit augmenter le nombre de canaux RF par secteur.

### 5.3.2 DIMENSIONNEMENT DE LA CAPACITÉ VOCALE

Le dimensionnement de la capacité vocale repose sur l'hypothèse que le trafic vocal sera acheminé par la partie WCDMA (R99) du signal UMTS. Comme il a été supposé que la VoIP n'est pas mise en œuvre dans le réseau LTE, la capacité vocale doit tenir compte à la fois des abonnés 3G et 4G. Le nombre d'abonnés à la téléphonie vocale est indiqué dans le tableau 12.

	Voix	
	station	tunnel
WSP A	1995	855
WSP B	1662	713
WSP C	1662	712
WSP D	1260	540

Tableau 12 : Nombre d'abonnés aux services vocaux 3G et 4G

Lors de la définition du profil de l'abonné pour le R99, nous tenons compte du fait que le trafic de données ne passera au R99 que si le HSPA et le LTE ne sont pas disponibles. Par conséquent, la probabilité d'un appel de données R99 est très faible, comme le montre la distribution du trafic R99 dans le tableau 13.

Type de service	mE/Utilisateur	kbps
Voix	33	12.2
Emails	3	64
Navigation	3	128
Téléchargement des données	3	384

Tableau 13 : Distribution du trafic R99 sur le site pendant l'heure d'affluence, par type de service : Durée de l'appel (milliErlangs par utilisateur), débit de données (kbps)

Comme pour les calculs de capacité de données, nous commençons par déterminer la couverture Eb/No (Eb/No est le rapport entre l'énergie par bit et la densité spectrale de puissance du bruit), nous divisons la couverture en quatre plages Eb/No différentes et nous identifions les types de services qui peuvent être utilisés dans chaque plage. La carte de couverture Eb/No qui en résulte est présentée à la figure 10, dans l'hypothèse d'une configuration à deux secteurs.

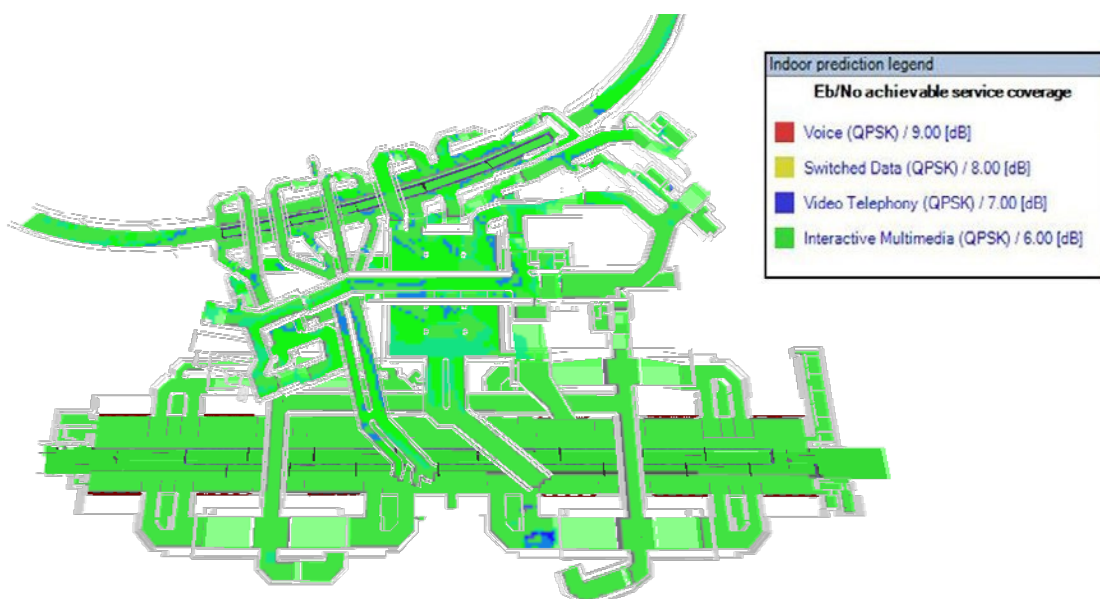


Figure 10 : Carte de couverture Eb/No utilisée pour l'exemple de dimensionnement de la voix

La zone de couverture dans laquelle un abonné peut se connecter à la vidéotéléphonie (en bleu foncé sur la figure 10) est également la zone dans laquelle une connexion aux données commutées et à la voix est possible. Dans l'hypothèse d'une distribution uniforme des abonnés, le pourcentage d'abonnés se connectant au service dans une plage Eb/No donnée est le même que le pourcentage de couverture pour cette plage. Si l'on suppose qu'il y a 1 000 abonnés R99 par secteur pour un total de 2 000 abonnés sur le site, la répartition des utilisateurs et le trafic R99 par plage Eb/No (en Erlangs) sont indiqués dans le tableau 14.

Métriques	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Eb/No	9	8	7	6
Distribution	0.1%	0.5%	4.5%	95.0%
Utilisateurs	2	10	90	1900
Voix	0.1	0.3	3.0	62.7
Emails	-	0.0	0.3	5.7
Navigation	-	-	0.3	5.7
Téléchargement des données	-	-	-	5.7

Tableau 14 : Trafic à l'heure de pointe de R99 (Erlangs) par type de service et gamme Eb/No

Seuls les codes OVSF avec un facteur d'étalement allant jusqu'à SF128 sont utilisés pour les types de service indiqués dans le tableau 14. Les nombres requis de codes OVSF pour chaque type de service et gamme Eb/No sont indiqués dans le tableau 15.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Voix	1	1	1	1
Emails	-	4	4	4
Navigation	-	-	8	8
Téléchargement des données	-	-	-	16

Tableau 15 : Nombre de codes OVSF par type de service et plage Eb/No

Comme pour les technologies HSPA et LTE, les taux de blocage des appels sont calculés conformément à la norme [8]. Les résultats sont présentés dans le tableau 16.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Voix	1.1%	1.1%	1.1%	1.1%
Courriels	-	4.4%	4.4%	4.4%
Navigation	-	-	8.9%	8.9%
Téléchargement des données	-	-	-	18.6%

Tableau 16 : Taux de blocage rencontrés dans le cadre de R99 (%) par plage Eb/No

Le taux de blocage R99 est le pourcentage de tentatives de connexion au réseau qui sont refusées pendant les heures d'affluence en raison de l'insuffisance des ressources du réseau. Pour deux secteurs comptant 2 000 abonnés, le taux de blocage vocal R99 est légèrement supérieur à 1 % sur l'ensemble du site. La plupart des réseaux UMTS macro utilisent un taux de blocage des appels pendant les heures d'affluence compris entre 1 % et 5 %, 2 % étant le taux le plus courant. D'autres types de services R99 ont des taux de blocage plus élevés, mais cela n'est pas très préoccupant car ils sont pris en charge avec de meilleurs taux dans les réseaux HSPA et LTE. La conclusion est que le taux de blocage des appels pour le trafic R99 est acceptable et que la configuration à deux secteurs est donc suffisante pour prendre en charge le trafic vocal des abonnés 3G et 4G.

Comme indiqué à la section 4, bien qu'il ne soit pas nécessaire d'assurer une couverture Wi-Fi dans les tunnels parce que la technologie Wi-Fi ne prend pas en charge le haut débit et le transfert, il est possible d'assurer une couverture Wi-Fi à l'intérieur du train en plaçant un point d'accès dans chaque voiture. Ces points d'accès peuvent utiliser le signal cellulaire existant dans le tunnel et à la gare comme liaison de retour sans fil. C'est ce qu'on appelle le "train Wi-Fi", qui est distinct du Wi-Fi fourni dans les gares. Le "train Wi-Fi" partage la capacité avec le WSP qui fournit la liaison de retour sans fil et son débit de données maximal réalisable est limité par le débit de données de la liaison de retour.



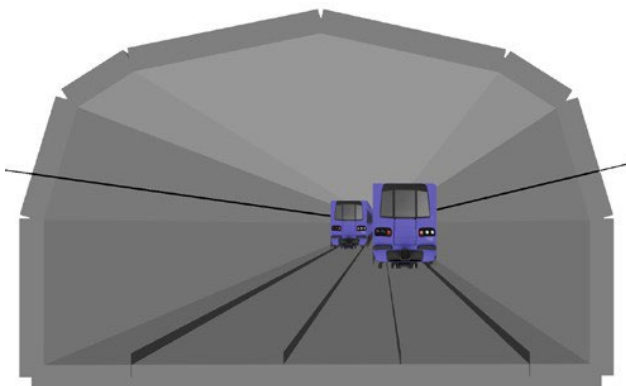
## 5.4 DÉFIS ENVIRONNEMENTAUX

Les gares et les tunnels comptent parmi les environnements les plus difficiles pour le déploiement d'un système sans fil à l'intérieur d'un bâtiment. Dans ce type de lieux, plus que dans tout autre, l'environnement dicte la conception RF et la maintenance du réseau. Voici quelques-unes des meilleures pratiques issues des défis environnementaux :

- \ L'emplacement de l'équipement doit être choisi en tenant compte de la facilité d'accès et non de la facilité d'installation. S'il faut choisir entre une unité distante DAS au milieu du tunnel pour alimenter une antenne bidirectionnelle ou une unité distante et une antenne ponctuelle à chaque entrée, c'est cette dernière solution qu'il faut retenir, car deux unités distantes à l'entrée du tunnel sont moins coûteuses à entretenir qu'une seule unité distante à l'intérieur du tunnel.
- \ Une petite salle accessible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 est préférable à une grande salle accessible uniquement lorsque la station est fermée au public.
- \ Lors du choix de l'emplacement des EF, il faut se demander si les vandales peuvent facilement repérer l'équipement et l'endommager ou le voler.
- \ Chaque EF doit disposer d'une batterie de secours, car les coupures de courant sont fréquentes dans les gares et les tunnels. Lors du dimensionnement de l'alimentation de secours par batterie, il convient de tenir compte du fait que ces coupures de courant sont fréquentes mais de courte durée.
- \ Si le câble rayonnant est utilisé à l'intérieur d'un tunnel, il doit être correctement fixé aux murs, car les vibrations des murs causées par le passage des trains peuvent détacher le câble et dégrader ses performances.
- \ Les tunnels sont parfois exposés à des fuites d'eau, de sorte que toutes les connexions doivent être imperméabilisées car la rouille peut provoquer une intermodulation passive (PIM). Il est préférable d'utiliser des composants passifs dotés d'un indice de protection contre les infiltrations (IP) élevé, car ils sont plus résistants à l'eau [9].
- \ Une autre source de MIP est la poussière, qui est abondante à l'intérieur des tunnels.
- \ Certaines stations peuvent connaître des instabilités de courant alternatif, ce qui peut réduire la durée de vie de l'équipement. Il convient d'utiliser des convertisseurs d'énergie pour passer du courant alternatif au courant continu et inversement, afin de filtrer les instabilités.
- \ Les antennes ponctuelles de la gare doivent être placées loin de tout objet métallique, qui est une source connue de MIP. Dans les gares, de tels objets sont suspendus au plafond ou fixés aux murs. Toutefois, l'objet métallique le plus important est le train lui-même, dont les parois sont en métal. Par conséquent, les antennes qui couvrent les quais ne doivent pas être montées immédiatement au-dessus des voies ferrées.

## 06. CONCEPTION DÉTAILLÉE DE LA COUVERTURE RF

La couverture GSM pour le PSW A dans un tunnel, sur les deux quais et dans l'ensemble de la gare est illustrée dans les figures 11 à 14. Il est à noter que l'intensité du signal à l'intérieur des trains est de -85 dBm ou plus, même lorsque les trains sont côte à côte, ce qui est le pire des scénarios.



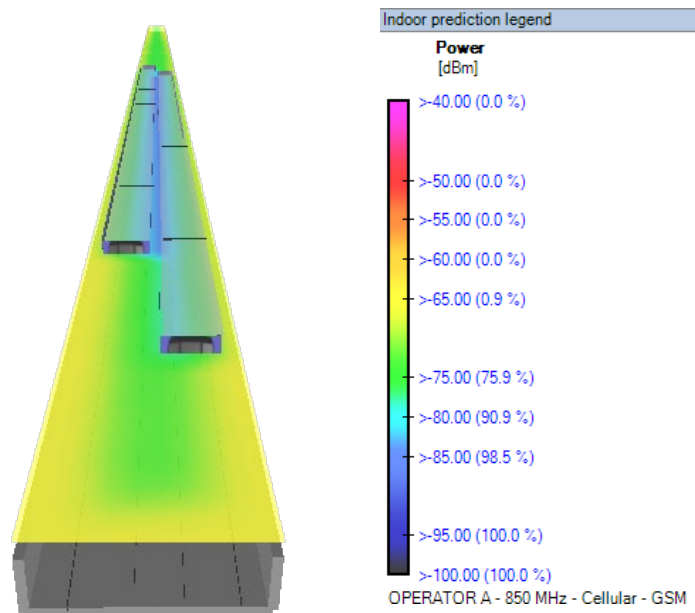


Figure 11 : Couverture GSM dans un tunnel et à l'intérieur des trains (câbles rayonnants sur les deux parois)

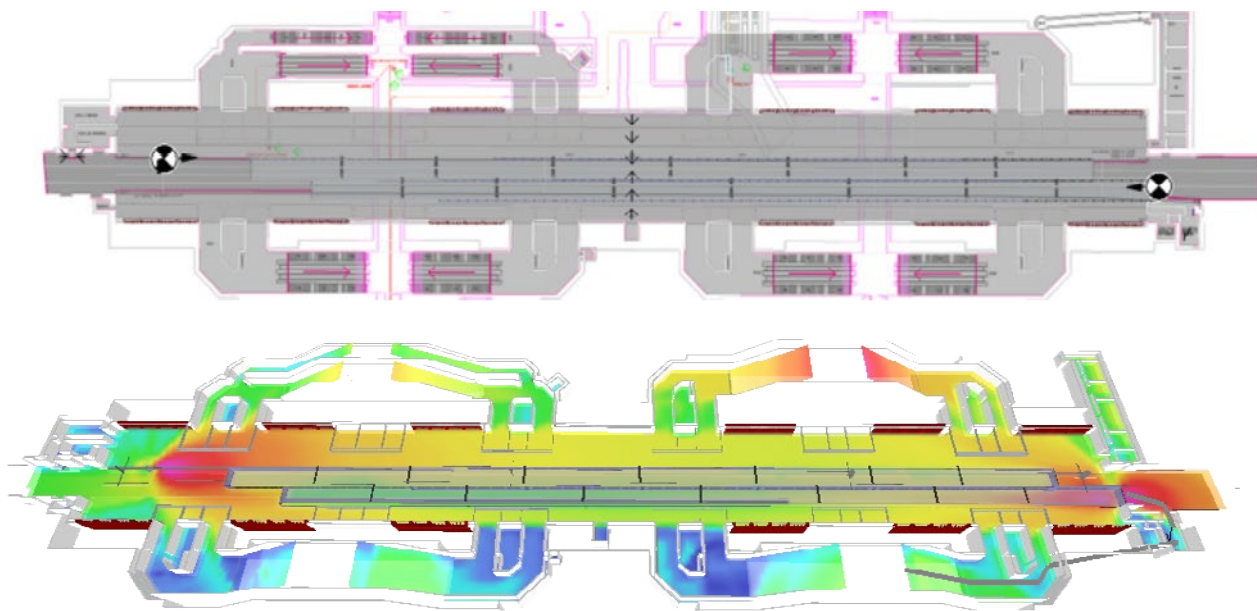


Figure 12 : Couverture GSM au quai 1 avec deux trains à quai

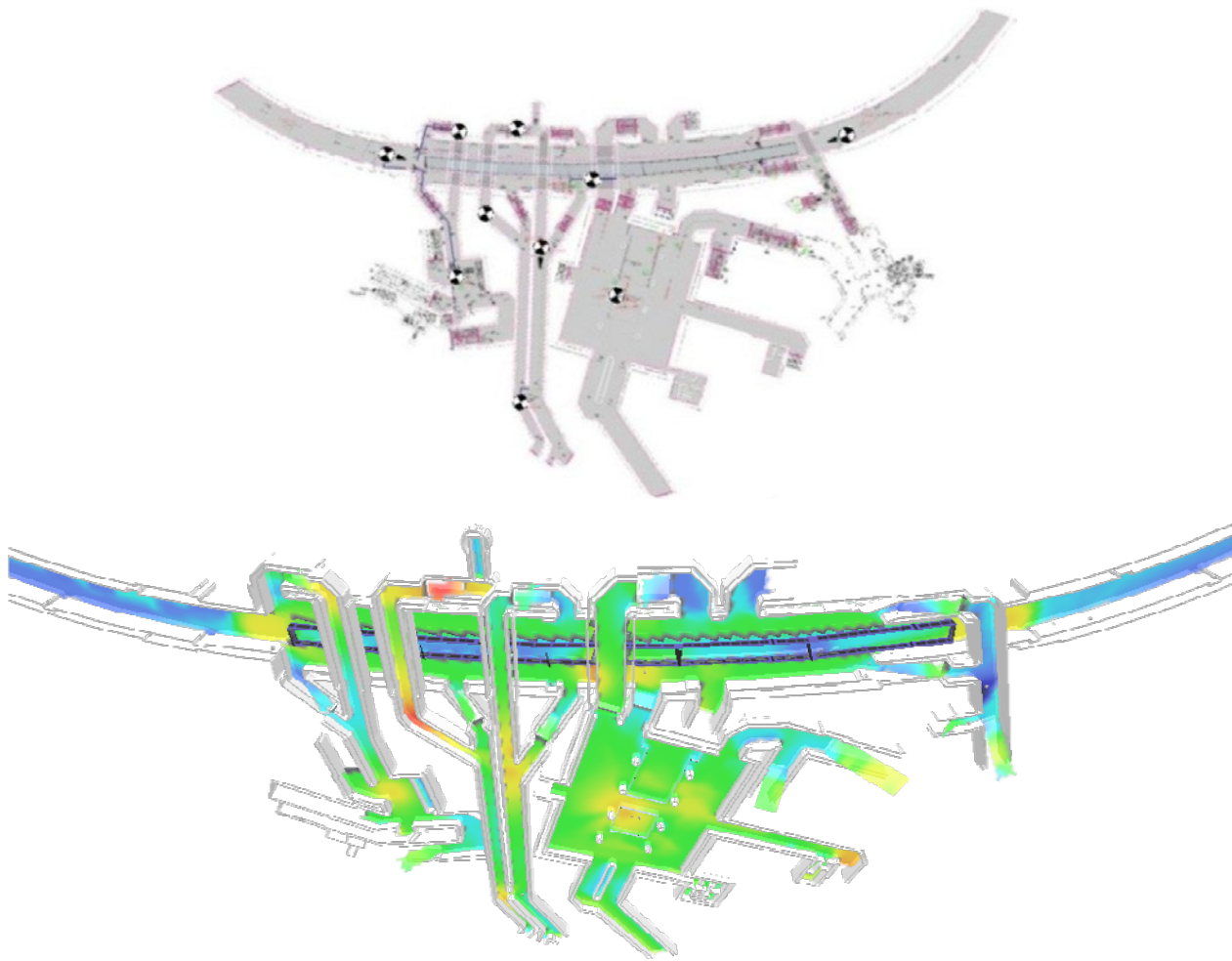


Figure 13 : Couverture GSM au quai 2 avec un train à quai



Figure 14 : Couverture GSM à la station

Pour les réseaux centrés sur les données, la couverture du rapport signal-brouillage-plus-bruit (SINR) est essentielle, car une bonne couverture SINR facilite les débits de données élevés. La figure 15 montre le rapport SINR du LTE à la station.

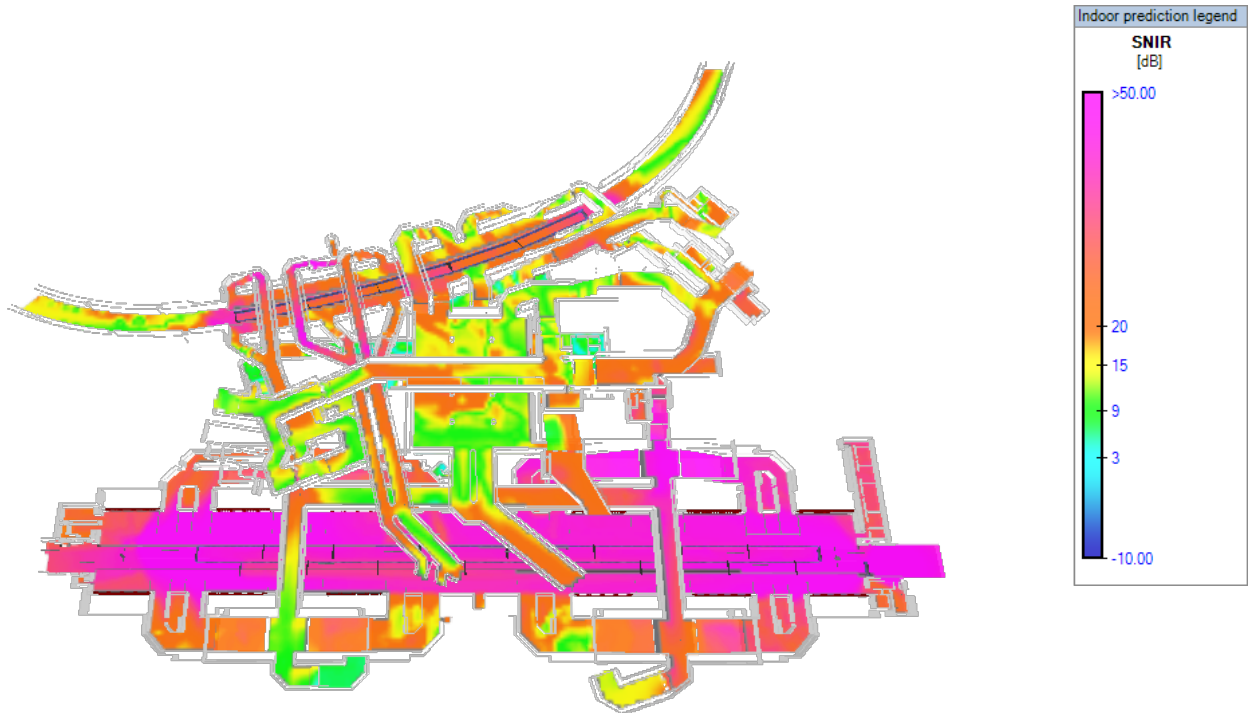


Figure 15 : Couverture SINR LTE

La couverture LTE de la gare est assurée par 14 antennes. Des antennes directionnelles sont utilisées sur les côtés opposés des quais (Amphenol Jaybeam modèle 7478000 avec un gain de 11,5 dBi) ; des antennes omnidirectionnelles sont utilisées ailleurs (Kathrein modèle 741 572 avec un gain de 2,15 dBi). Les interférences du réseau macro sont limitées au hall d'entrée de la station, non représenté. Le rapport SINR est très élevé au niveau des plates-formes et plus faible là où les secteurs des bâtiments se chevauchent. Par conséquent, le débit maximal réalisable (MADR) est également très élevé au niveau des plates-formes et plus faible ailleurs, comme le montre la figure 16.

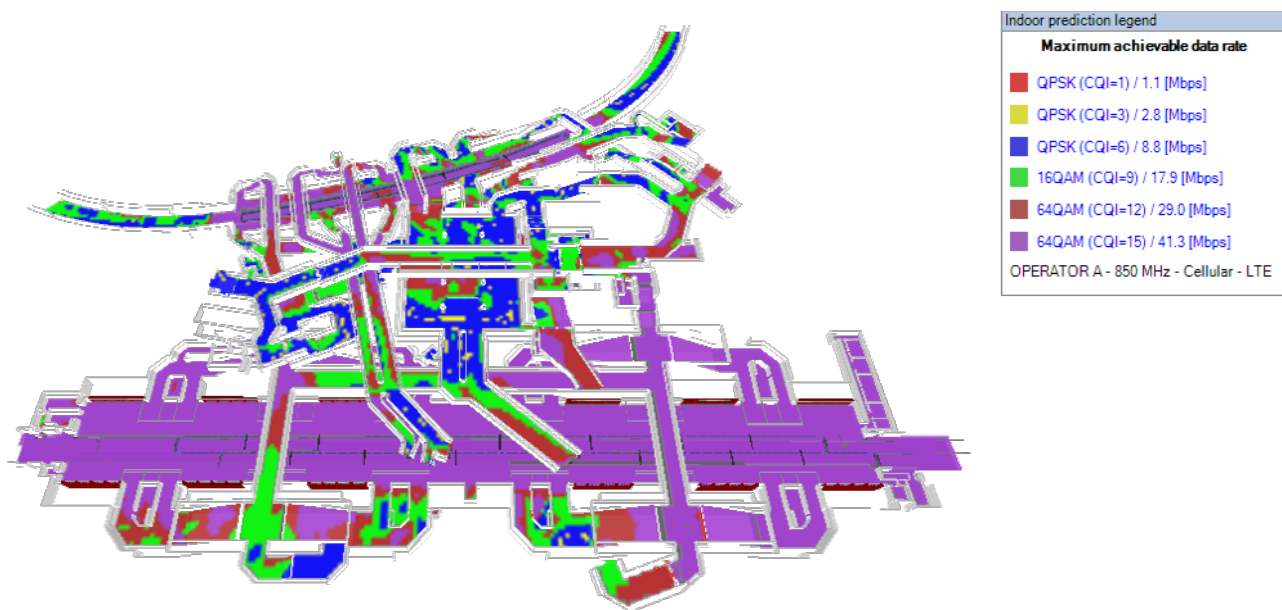


Figure 16 : Couverture LTE MADR

## 07. CONCLUSION

Une gare ferroviaire desservant à la fois des trains régionaux et des trains locaux de transport rapide dispose d'une mauvaise couverture macro existante et a besoin d'un système sans fil dédié à l'intérieur du bâtiment. À titre d'exemple, dans cette gare, quatre PSF doivent être inclus dans le réseau interne au bâtiment, ainsi qu'un réseau Wi-Fi et un réseau pour les premiers intervenants (sécurité publique). La couverture Wi-Fi de la station ne s'étend pas aux tunnels, alors que tous les autres services sans fil nécessitent également une couverture dans les tunnels de connexion. Les quatre WSP prennent en charge les technologies 2G, 3G et 4G sur différentes bandes de fréquences, ce qui dicte l'utilisation d'un DAS à hôte neutre comme solution. La station étant une structure à plusieurs niveaux, la modélisation en 3D du site est essentielle. Dans les tunnels, le réseau doit fournir une couverture à l'intérieur des trains, même lorsque ceux-ci sont arrêtés les uns à côté des autres. Dans la plupart des tunnels, cette exigence impose l'utilisation de câbles rayonnants, également connus sous le nom de "leaky feeders".

Plusieurs facteurs environnementaux spécifiques à ces lieux rendent la conception et la maintenance difficiles. Les gares ferroviaires comportent de nombreux objets métalliques et, comme la proximité d'objets métalliques provoque une MIP, il est souvent difficile de trouver de bons emplacements pour les antennes. Dans les tunnels, l'humidité peut faire rouiller les connecteurs et les vibrations causées par le passage des trains peuvent desserrer les câbles rayonnants ; ces deux conditions génèrent de la MIP et dégradent donc les performances du réseau. Les longs tunnels peuvent nécessiter des amplificateurs en cascade pour maintenir la couverture ; cependant, les amplificateurs en cascade peuvent augmenter le bruit de la liaison montante, ce qui affecte la capacité de la liaison montante et le débit de données. Une autre façon de maintenir la couverture dans les tunnels est d'installer plusieurs secteurs ; cependant, il faut prévoir un chevauchement suffisant de la couverture des secteurs pour permettre plusieurs tentatives de transfert à la vitesse nominale du train.

En règle générale, il est préférable de placer les équipements de manière à ce qu'ils soient faciles d'accès plutôt que moins coûteux à déployer, car ils nécessitent une maintenance fréquente. Il faut également faire attention au vandalisme et rendre l'équipement aussi discret que possible. Les nombreuses exigences font de ce type de lieu l'un des plus coûteux à concevoir et à exploiter.

## RÉFÉRENCES :

1. Séminaire web d'iBwave : "Concevoir des réseaux sans faille dans les systèmes de métro", 2013
2. Fiche technique Eupen, câbles rayonnants, RMC 78 (RMC 78-HLFR), 2012, [http://www.eupen.com/weimages/rf/radiating/data\\_sheet/01\\_cable/rmc/RMC-78 Rev09\\_2012-10-09.pdf](http://www.eupen.com/weimages/rf/radiating/data_sheet/01_cable/rmc/RMC-78 Rev09_2012-10-09.pdf)
3. B. De Backer, H. Borjeson, F. Olyslager et D. De Zutter : "The Study of Wave-Propagation through a Windowed Wall at 1.8 GHz", IEEE 46th Vehicular Technology Conference on Mobile Technology for the Human Race, Volume 1, 1996.
4. 3GPP TS 25.331 V3.5.0 (2000-12) "RRC Protocol Specification" (Release 999), page 397, section 10.3.7.60
5. S. Sesia, I. Toufik, M. Baker : "LTE - The UMTS Long Term Evolution : From Theory to Practice", première édition, Wiley and Sons, 2009, pages 131-132.
6. Morten Tolstrup : "Indoor Radio Planning : A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE", deuxième édition, Wiley and Sons, 2011, page 394.
7. "System Level Simulation of LTE Networks", J.C. Ikuno, M. Wrulich, M. Rupp, IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010-mai
8. "Méthodologie de calcul des besoins en spectre pour la composante terrestre des télécommunications mobiles internationales", UIT-R M.1768-1, 2013-avril
9. Maxim Integrated Application Note 4126, "Understanding the IP (Ingress Protection) Ratings of iButton Data Loggers and Capsule", octobre 2007, <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4126>

## À propos d'iBwave

iBwave développe des solutions pour aider les opérateurs sans fil, les intégrateurs de systèmes et les fabricants d'équipement, essentiellement tous ceux qui ont un intérêt dans le réseau, à apporter des communications sans fil de voix et de données solides et fiables à l'intérieur, de manière rentable. Nos clients s'efforcent d'exploiter pleinement la valeur des réseaux de voix et de données à l'intérieur, afin de générer des revenus et de satisfaire les abonnés. Nos logiciels et nos services professionnels sont utilisés par près de 700 opérateurs de télécommunications, intégrateurs de systèmes et fabricants d'équipements de premier plan dans 87 pays. Nous aidons nos clients à exploiter pleinement la valeur des réseaux sans fil de voix et de données, à accroître leur compétitivité en améliorant l'expérience de l'utilisateur, en réduisant le taux de désabonnement et en générant des revenus grâce aux applications de données afin de maintenir l'ARPU. Nos solutions de conception optimisent les dépenses d'investissement et permettent au réseau d'atteindre son plein potentiel. Notre équipe est composée d'ingénieurs en radiofréquences chevronnés, de visionnaires commerciaux et de gourous de la technologie, ainsi que d'un grand nombre de professionnels du service pour vous guider et vous soutenir. Nos dirigeants sont des vétérans de la technologie sans fil dans les bâtiments, dont la vision permet à l'entreprise de rester à la pointe du progrès dans ce domaine.