



LIVRE BLANC

COMMENT

CONCEVOIR DE  
MEILLEURS RÉSEAUX  
SANS FIL POUR LES  
STADES

par Vladan Jevremovic  
Sortie en septembre 2015



## 01. INTRODUCTION

Un stade est un lieu qui se compose d'un terrain ou d'une piste entouré(e) d'une zone de places assises en forme de cuvette. Le plus grand stade du monde se trouve à Pyongyang, en Corée du Nord, et peut accueillir 150 000 spectateurs. Le deuxième plus grand est celui de Kolkata, en Inde, avec une capacité de 120 000 spectateurs. Il n'existe qu'une poignée de stades de plus de 100 000 places.

En 2014, 934 stades dans le monde comptaient 30 000 sièges ou plus : 228 en Amérique du Nord, 129 en Amérique centrale et du Sud, 243 en Europe, 98 au Moyen-Orient et en Afrique, et 236 dans la région APAC. Les États-Unis comptent à eux seuls 217 stades de 30 000 places ou plus, dont les deux tiers environ sont utilisés principalement pour le football américain. La figure 1 présente la répartition mondiale des stades de grande capacité [1].

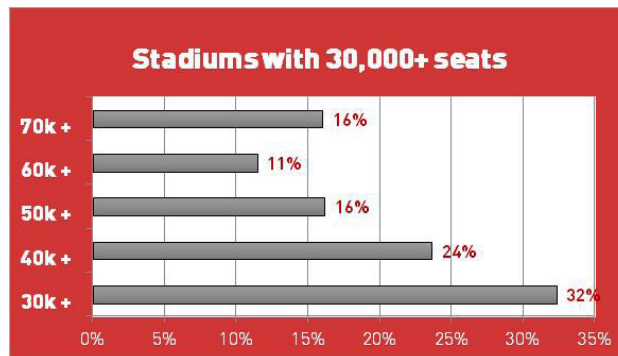


Figure 1 : Répartition des stades de grande capacité dans le monde

Bien que la taille et la configuration des stades varient considérablement, il existe des considérations de conception et de déploiement communes à tous les stades. Ces considérations font l'objet du présent document.

## 02. PROBLÈME

Le stade a une capacité de 60 000 places assises, réparties sur cinq niveaux, comme le montre la figure 2. Les boutiques grand public et les stands de concession sont situés au premier niveau, entre l'entrée du stade et les points d'accès aux gradins. Au même niveau, mais non accessibles au grand public, se trouvent les salles de conférence. Un niveau plus bas, au rez-de-chaussée, se trouvent les salles de presse et les vestiaires des équipes.



Figure 2 : Plan des places dans le stade en 2D

La couverture RF existante provenant des sites macro environnants est moyenne à bonne dans la cuvette, mais médiocre en dessous, dans les arrière-boutiques, dans les salles de conférence et dans les zones de concession. Les sites macro qui couvrent le stade signalent un blocage élevé des appels pendant les événements, comme l'illustre la figure 3. Pour cet exemple, il convient de noter que le pic de blocage de 60 % est signalé pendant les heures de pointe (c'est-à-dire pendant l'événement).

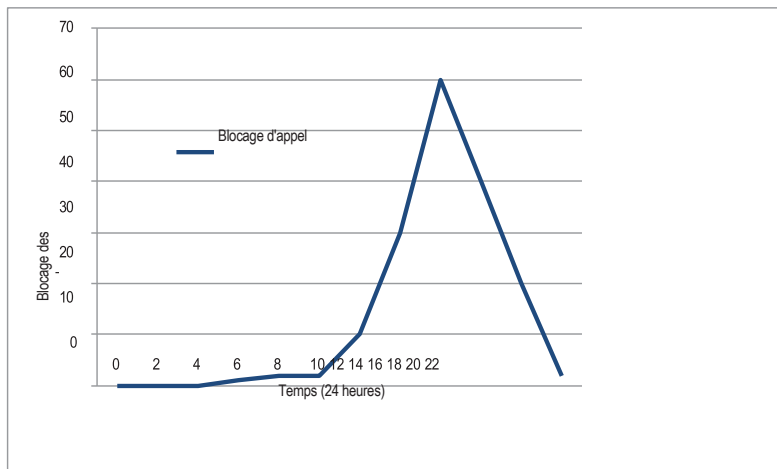


Figure 3 : Statistiques de blocage des appels le jour d'un événement dans un stade

Le problème du blocage des appels ne se limite pas au bâtiment du stade, mais se pose également dans les zones environnantes où les spectateurs se rassemblent avant et après les événements. Ces zones de transit comprennent les parkings, les gares, les voies piétonnes (en surface ou souterraines), etc. Des exemples de ces zones de transit sont présentés à la figure 4.

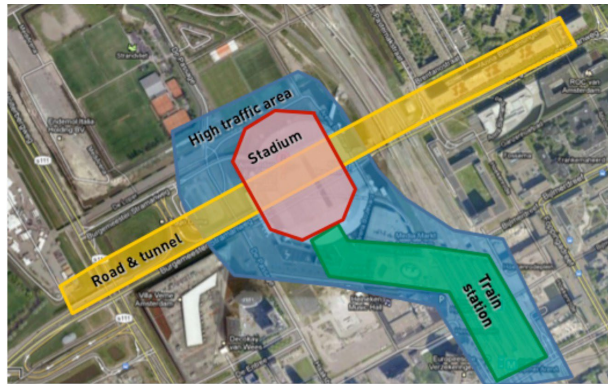


Figure 4 : Vue d'ensemble des zones de transit à l'extérieur du stade

Le réseau du stade doit fournir une couverture et une capacité à la fois au stade et aux zones de transit voisines. Le réseau doit être capable de supporter le trafic lorsque le stade est à pleine capacité pendant un événement, ainsi que le trafic à proximité du site avant et après l'événement.

### 03. SOLUTION

Bien qu'il y ait une couverture macro RF résiduelle dans la zone des sièges, le principal problème est le manque de capacité des sites macro environnants. Le stade a donc besoin de son propre réseau RF pour répondre à la demande pendant les événements. Tous les fournisseurs commerciaux de services sans fil (FSSF) veulent être inclus dans le réseau du stade. Le réseau doit également inclure la sécurité publique et les radios à ressources partagées pour l'exploitation du stade. Un réseau IEEE 802.11 (Wi-Fi) doit également être inclus.

Comme le système à l'intérieur du bâtiment doit inclure plusieurs PSW et le réseau du service d'urgence (ES), une solution optimale consiste à utiliser un système d'antennes distribuées (DAS) hôte neutre, capable de fournir un signal de forte puissance aux antennes de desserte, ce qui est essentiel dans les grands sites où les distances entre les abonnés et les antennes sont importantes. 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.

Bien que les zones de transit situées à l'extérieur du stade bénéficient d'une bonne couverture, elles souffrent d'une capacité insuffisante avant et après les événements. Le DAS doit donc être étendu à ces zones également. Le signal DAS doit être plus fort que le signal macro résiduel pour garantir que les abonnés se connectent au réseau du stade plutôt qu'au réseau macro environnant.

## 04. EXIGENCES EN MATIÈRE DE CONCEPTION

Les exigences en matière de conception pour cette salle de 60 000 places sont les suivantes :

### 4.1 Couverture RF

- \ Le signal du réseau du stade doit être dominant dans l'ensemble de l'enceinte, même s'il y a des zones où la macro-couverture existante donne une lecture "à cinq barres" sur un téléphone.
- \ Pour répondre à cette exigence de signal dominant, la conception RF doit fournir un signal qui est partout de 5 à 7 dB plus fort que le signal macro résiduel. Cette exigence s'applique également aux zones de transit situées à proximité (voir la figure 4 ci-dessus).

### 4.2 CAPACITÉ

- \ Le réseau du stade doit être conçu pour prendre en charge tous les types de services, de la voix à la vidéo en continu.
- \ Les appels vocaux peuvent être plus courts en raison du bruit de la foule dans le stade ; il peut y avoir beaucoup plus de téléchargements de fichiers vers les médias sociaux que d'habitude ; et certains sites peuvent limiter le streaming vidéo ou, comme ce fut le cas lors du Super Bowl 2014, l'interdire complètement.

### 4.3 GESTION DES TRANSFERTS

- \ Établir des zones de transfert claires entre le macro-réseau et le réseau du stade dans les zones de transit à l'extérieur du stade.
- \ Une fois qu'un abonné a quitté le macro-réseau, il doit rester connecté au réseau du stade pendant toute la durée de sa visite sur le site.
- \ Le trafic Handoff est géré par les canaux de contrôle. Un trafic de transfert important peut utiliser la capacité des canaux de contrôle et entraîner le blocage des appels, même si les ressources physiques disponibles sont suffisantes pour acheminer le trafic vocal et de données.

### 4.4 GESTION DES INTERFÉRENCES

- \ Les secteurs non desservis sont une source de signaux parasites. Les interférences peuvent être internes (secteurs DAS non desservis) ou externes (réseau macro).
- \ La minimisation des interférences améliore à la fois la capacité du réseau et le débit maximal réalisable (MADR).

## 05. MEILLEURES PRATIQUES

Lors de la conception d'un réseau, certaines règles doivent être respectées pour obtenir une conception optimale. Il s'agit notamment des règles suivantes :

### 5.1 ENQUÊTE SUR LES SITES

Lors de la visite initiale du site, des informations sur la structure physique, l'architecture et les différentes morphologies à l'intérieur du lieu sont recueillies. De nombreuses informations sont saisies sous forme de photos, de vidéos, de mesures effectuées à l'aide d'outils de collecte de données, de mémos vocaux et d'annotations textuelles. Les emplacements potentiels pour le montage d'antennes, le passage de câbles et l'installation d'équipements sont également repérés.

Au cours de l'étude, la couverture radio macro existante sur le site doit être enregistrée pour tous les opérateurs sans fil qui doivent être inclus dans le réseau, et dans toutes les bandes de fréquences d'intérêt. Il s'agit d'une partie importante de l'étude, car le réseau du stade doit dépasser la couverture macro résiduelle avec une marge confortable. Dans le cas contraire, l'équipement utilisateur (UE) des spectateurs peut être enregistré auprès du réseau macro pendant qu'ils se trouvent sur le site, ce qui n'est pas du tout souhaitable étant donné que l'une des exigences importantes est de décharger les réseaux macro. La figure 5 montre un ingénieur de terrain collectant des données RF et d'autres données sur le site.

Lors de l'étude du site, outre les données RF, l'ingénieur doit identifier les endroits où les antennes peuvent être montées, identifier une pièce suffisamment grande pour abriter la tête de réseau du bâtiment et identifier les chemins de câbles potentiels entre la tête de réseau et les antennes.



Figure 5 : L'ingénieur chargé de l'étude du site recueille des données sur les radiofréquences et d'autres données sur le site.

L'enregistrement des informations directement sur un plan d'étage permet de gagner du temps et facilite l'échange d'informations avec d'autres départements et parties prenantes. De nombreuses informations sont saisies et il est essentiel de les comprendre pour réduire les délais et les coûts de déploiement. Il est également important d'identifier plusieurs endroits où installer les antennes candidates afin que différentes solutions de contrôle des signaux radio et de fourniture de capacité puissent être envisagées lors de la phase ultérieure de conception détaillée de la couverture RF.

La figure 6 montre un exemple de données collectées par un ingénieur au cours d'une étude de site. La figure 6a est une photographie d'une zone générale de l'emplacement potentiel d'une antenne dans la zone des sièges. La figure 6b fait un zoom sur l'emplacement, marqué par une flèche rouge. L'emplacement doit également être identifié sur un plan d'implantation afin que les ingénieurs en conception RF sachent où placer les antennes DAS. La figure 6c illustre le plan de la salle affiché sur une tablette ; une punaise rouge indique l'emplacement de l'antenne.

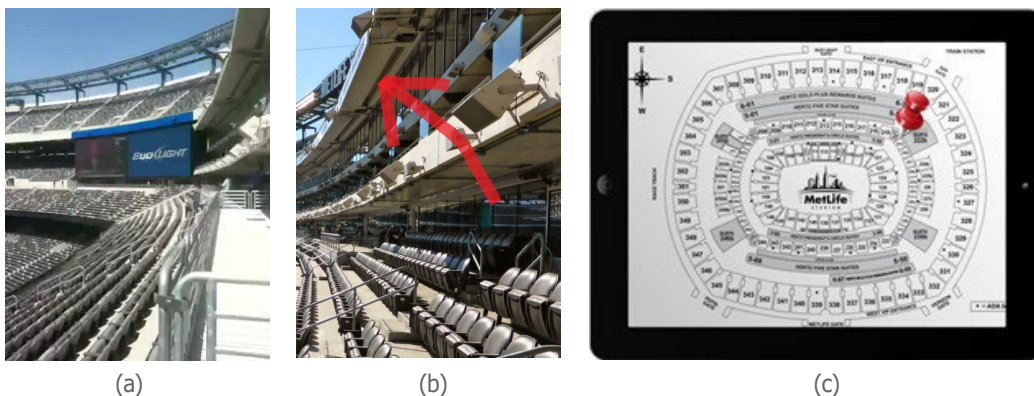


Figure 6 : (a) Zone générale de l'emplacement d'une antenne ; (b) Flèche rouge marquant l'emplacement (C) Punaise rouge indiquant l'emplacement sur un plan du site

## 5.2 MODÉLISATION 3D DÉTAILLÉE

Les stades sont des structures à plusieurs niveaux qui contiennent une grande variété d'environnements de propagation RF. Le plus important est la tribune, qui est modélisée comme une surface inclinée afin de tenir compte de la différence d'élévation entre les rangées de sièges. Dans cette zone, l'UE disposera d'une ligne de visée (LOS) claire vers les antennes de desserte, placées au-dessus des sièges. La figure 7 présente un exemple de modèle 3D d'une cuvette de sièges.



Figure 7 : Modèle 3D d'une cuvette de stade

Les zones de forte capacité situées en dehors de la zone du stade doivent être prises en compte dans la conception. Les loges des entreprises et des médias, les magasins de détail et les stands de concession sont des exemples de points d'accès à la capacité. Les zones de capacité qui ne sont pas accessibles au grand public, telles que les salles de conférence, les salles de presse et les vestiaires des équipes, doivent également être incluses. Des exemples de points d'accès à la capacité sont présentés dans la figure 8.

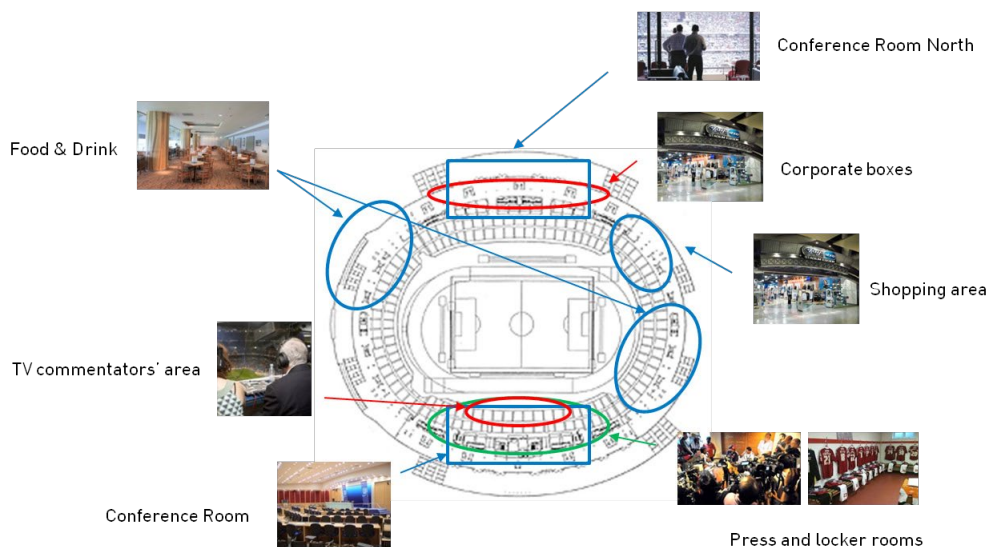


Figure 8 : Points névralgiques du stade en dehors de la zone des places assises

Ces zones sont généralement bien isolées de la cuvette des sièges et ont donc besoin de leurs propres antennes pour être couvertes. Les caractéristiques de propagation des radiofréquences dans les hotspots des stades varient considérablement. À l'intérieur de la cuvette, le signal du DAS est clairement dans la LDV avec l'UE. Sous la cuvette, dans la zone de vente au détail, la LDV est prédominante mais il y a de nombreux signaux réfléchis en raison des murs en béton de la cuvette. Dans les zones situées à l'arrière du bâtiment, où se trouvent les salles de conférence et les vestiaires, la densité des murs est beaucoup plus élevée, ce qui entraîne une diffraction importante du signal et une propagation hors ligne de site (NLOS).

Comme les caractéristiques de propagation aux points chauds diffèrent de celles de la zone des sièges, il est nécessaire de modéliser correctement les points chauds en 3D. La figure 9 montre la zone de vente au détail située juste en dessous des sièges. (Les sièges sont marqués en rouge.)

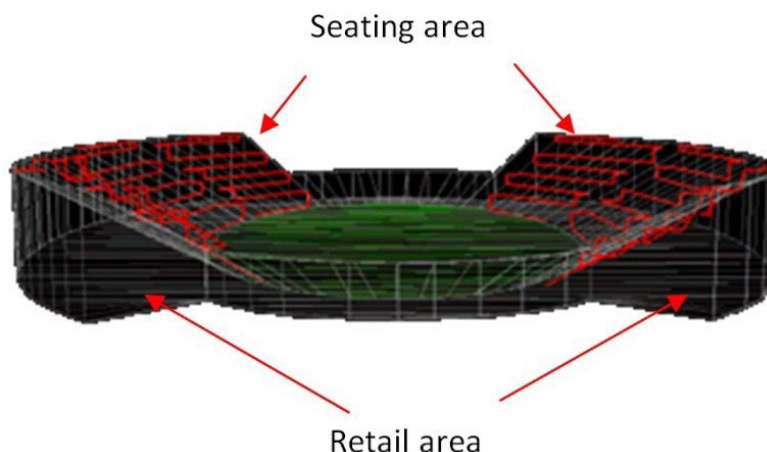


Figure 9 : Modèle 3D "Wire-Mesh" du stade

La réalisation d'un modèle 3D d'un lieu peut prendre de cinq heures pour les petits lieux à 20 heures pour les lieux plus grands et plus complexes. La disponibilité des dessins sous forme électronique (CAO), plutôt que sous forme de dessins sur papier, influe également sur le temps nécessaire à la réalisation du modèle 3D. Souvent, nous concevons le système pour un bâtiment en construction, d'où la nécessité de travailler à partir d'un modèle 3D car nous ne pouvons pas accéder au lieu. Une modélisation correcte du site est importante non seulement pour l'analyse de la propagation, mais aussi pour une bonne estimation de la nomenclature, par exemple pour les longueurs de coaxial ou de fibre.

### 5.3 SECTORISATION

La sectorisation a un double objectif dans la conception d'un réseau radio. Tout d'abord, elle augmente la capacité du réseau car chaque secteur dispose de ses propres cartes de canaux capables d'acheminer le trafic de voix et de données. Les secteurs se voient attribuer une zone spécifique à couvrir et desservent un nombre spécifique d'abonnés. La zone réelle à couvrir et le nombre réel d'abonnés qu'un secteur doit desservir font partie du dimensionnement de la capacité, où des paramètres tels que le nombre de canaux par secteur, les débits de données et le type et la durée des appels et des connexions de données sont pris en compte.

Le deuxième objectif de la sectorisation est de minimiser le nombre de signaux présents dans la zone en limitant la couverture du secteur. La limitation de la couverture limite également les interférences provenant des secteurs non desservis, ce qui améliore la capacité, le rapport signal sur interférence plus bruit (SINR) et le débit de données maximal réalisable (MADR). Dans les zones LOS telles que le gradin, la minimisation du chevauchement des secteurs est obtenue par l'utilisation d'antennes hautement directionnelles.

Il existe quelques types de sectorisation courants. La sectorisation horizontale (anneau) ou verticale (coin) est le plus souvent utilisée lorsque le nombre de secteurs n'est pas très élevé. Des exemples de ces schémas de sectorisation sont présentés dans



Figure 10. L'avantage de ces méthodes est que les mouvements horizontaux ou verticaux des spectateurs n'entraînent pas de transfert important de l'UE.

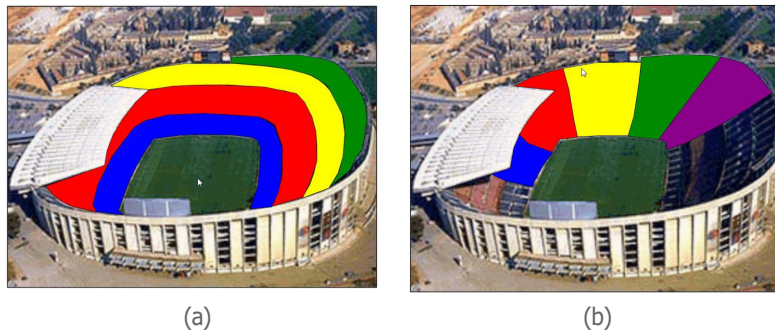


Figure 10 : Exemples de sectorisation de stades en anneau (a) et en coin (b)

Si, par contre, un nombre important de secteurs est nécessaire, la sectorisation hybride ring-and-wedge est la meilleure option. Un exemple de sectorisation mixte avec 24 secteurs est illustré à la figure 11.

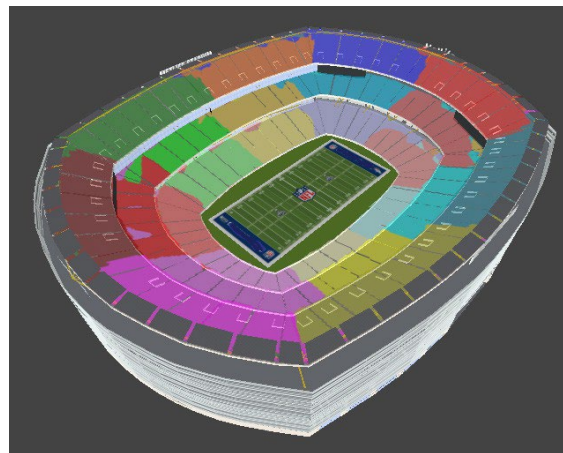


Figure 11 : Exemple de sectorisation mixte avec 24 secteurs

#### 5.4 GESTION DE LA MACRO-COUVERTURE

Dès le début du déploiement des macro-réseaux, les fournisseurs de services Internet ont reconnu le potentiel de revenus des lieux à forte densité d'abonnés, comme les stades. Au début, ils ont essayé d'assurer une bonne couverture des stades ("five-bar") en orientant des secteurs de sites macro proches vers le stade. Cependant, à mesure que les réseaux devenaient plus centrés sur les données, le trafic de données devenait plus encombré et la capacité du site devenait la principale préoccupation. Aujourd'hui, de nombreux stades disposent d'une bonne couverture dans les gradins, mais ont besoin d'un réseau spécialisé pour diriger le trafic vers les sites cellulaires voisins, qui seraient autrement surchargés pendant les événements qui se déroulent dans le stade.

Lors de la conception de la couverture du réseau de stade, une pratique courante consiste à faire en sorte que le signal DAS soit plus fort que le signal macro résiduel d'au moins 5 à 7 dB. Si le signal macro résiduel est déjà fort, un DAS peut nécessiter de nombreuses antennes pour atteindre cet objectif, ce qui peut rendre le coût de déploiement du DAS prohibitif. Le moyen le plus efficace de réduire la couverture macro résiduelle est d'incliner vers le bas les antennes des secteurs voisins qui pointent vers le lieu de réunion, comme le montre la figure 12.

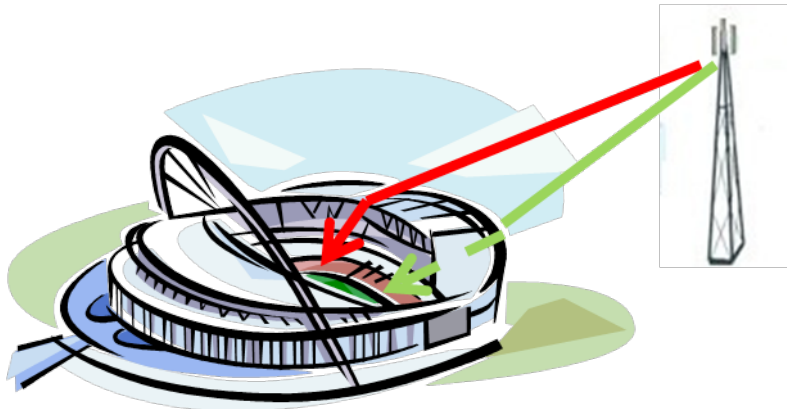


Figure 12 : Inclinaison vers le bas des antennes sectorielles

La ligne rouge de la figure 12 montre le trajet du signal RF avec l'inclinaison initiale de l'antenne vers le bas. Le signal est diffracté par le toit du stade qui cause peu d'atténuation, ce qui permet d'obtenir un signal fort dans la cuvette. Lorsque le secteur est incliné davantage vers le bas, le trajet du signal représenté en vert pénètre dans le mur en béton. Cette solution est souvent préférable car le mur en béton atténue considérablement le signal avant qu'il n'atteigne la cuvette.

## 5.5 GESTION DE L'INTERMODULATION PASSIVE (PIM)

Les réseaux à hôte neutre dotés d'une puissance d'émission élevée sont susceptibles de générer des bruits d'intermodulation passive (PIM). Si le niveau de bruit PIM est suffisamment élevé, il peut réduire la couverture, ralentir le réseau, provoquer des appels interrompus et réduire la durée de vie de la batterie. Les réseaux LTE sont particulièrement sensibles au bruit PIM car le SINR est référencé au bloc de ressources physiques (PRB), qui a une largeur de 180 kHz. Le bruit thermique référencé à 180 kHz est de -121 dBm et, pour qu'un réseau LTE fonctionne correctement, le bruit PIM maximum doit être de -127 dBm ou moins. Pour s'assurer que le bruit PIM est maîtrisé, les étapes suivantes doivent être suivies pendant la phase de conception [2] :

- \ Les combineurs proches de l'amplificateur de puissance doivent avoir une spécification PIM de -162 dBc @ 2x35 dBm pour atteindre le bruit PIM requis.
- \ Les câbles coaxiaux tressés et les connecteurs de type N sont une source connue de bruit PIM et ne doivent pas être utilisés.
- \ Les connecteurs 7/16 DIN argentés doivent être utilisés car ils ont une faible valeur PIM (165 dBc).
- \ N'envisagez que les emplacements d'antenne éloignés d'objets métalliques, car la présence de métal à proximité des antennes génère des perturbations électromagnétiques.
- \ Ne pas utiliser d'équipement pour lequel le fabricant n'a pas spécifié d'indice PIM.
- \ Effectuer des tests PIM sur site avant l'installation de l'antenne, en utilisant une antenne sur un poteau.

## 06. CONCEPTION DÉTAILLÉE DE LA RADIOFRÉQUENCE

### 6.1 DIMENSIONNEMENT DES CAPACITÉS

Pour dimensionner correctement les réseaux de stades, il est nécessaire de déterminer le nombre de secteurs requis pour répondre aux besoins de capacité de chaque opérateur. Le nombre de secteurs par opérateur dépend du nombre de sièges, du taux de pénétration des abonnés de l'opérateur (le pourcentage d'abonnés de l'opérateur par rapport à la population générale) et du profil du trafic mobile de l'opérateur. Pour notre livre blanc, le stade compte 60 000 sièges et le réseau du stade doit transporter trois FSSF : la sécurité publique, le réseau d'exploitation du stade et le Wi-Fi. Les caractéristiques des trois PSF sont les suivantes :

**WSP A :**

- Bande cellulaire (850 MHz), 2 canaux UMTS
- Bande AWS (2100 MHz), 2 canaux UMTS
- Bande 700 MHz (700 MHz), canal LTE-FDD de 10 MHz
- Taux de pénétration des abonnés de 40 % (24 000 abonnés)
  - 75 % d'abonnés LTE (18 000)
  - 25 % d'abonnés HSPA (6 000)
  - Voix sur le réseau 3G

**WSP B :**

- Bande PCS (1900 MHz), 2 canaux UMTS
- Bande de 2,5 GHz, canal LTE-TDD de 10 MHz
- Taux de pénétration des abonnés de 10 % (6 000)
  - 50 % LTE (3 000)
  - 50 % HSPA (3 000)
  - Voix sur le réseau 3G

**WSP C :**

- Bande AWS (1900 MHz), 2 canaux UMTS
- Bande PCS, canal LTE-FDD de 5 MHz
- Taux de pénétration des abonnés de 20 % (12 000)
  - 75 % d'abonnés LTE (9 000)
  - 25 % d'abonnés UMTS (3 000)
  - Appels vocaux sur le réseau 3G

Définissons la répartition du trafic HSPA et LTE par utilisateur dans le stade, comme indiqué dans le tableau 1 qui énumère, pour chaque type de service, la durée de la connexion au réseau pendant l'heure d'affluence, exprimée en milliErlangs (mE) par abonné, et le débit de données fixe en kbps. Il est important de noter qu'un abonné n'est pas limité à une tentative d'utilisation d'un type de service par heure d'affluence ; au contraire, il est censé utiliser, ou tenter d'utiliser, tous les types de services énumérés.

Service type	mE/User	kbps
Email	50	100
Browsing	100	200
Video conf	5	600
Data Download	150	1000
Video Streaming	1	2000

Tableau 1 : Distribution du trafic de données au stade pendant l'heure d'affluence par type de service : Durée (milliErlangs par utilisateur), débit (kbps).

La durée moyenne d'une session de streaming vidéo par abonné (10 mE) est plus courte que dans les autres stades, car moins de clients utilisent ce service en raison du bruit de la foule. La plupart des stades interdisent purement et simplement la diffusion vidéo en continu en raison de la largeur de bande élevée requise pour la prise en charge ; comme certains abonnés avertis sur le plan technique peuvent trouver un moyen de contourner cette interdiction, nous spécifions un temps de connexion très court (1 mE) par abonné. L'essentiel du trafic sur le site consiste à naviguer sur Internet et à télécharger des données, ainsi qu'à envoyer quelques courriels.

On suppose que le trafic vocal est acheminé par le protocole WCDMA (R99), tandis que les données sont acheminées par les protocoles HSPA et LTE. Lors de la définition du profil de l'abonné pour le protocole R99, nous tenons compte du fait que le trafic de données ne passe au protocole R99 que si les protocoles HSPA et LTE ne sont pas disponibles. Par conséquent, la durée des appels de données R99 est très courte, comme le montre le tableau 2.

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

Tableau 2 : Distribution du trafic R99 au stade pendant l'heure d'affluence par type de service : Durée (milliErlangs par utilisateur), et débit de données (kbps)

Pour HSPA et LTE, la couverture SINR dans la zone des sièges est calculée et divisée en intervalles SINR sur la base du schéma de modulation qui peut être réalisé dans chaque intervalle SINR. L'exemple du tableau 3 montre que, dans une région où le rapport SINR du PDSCH LTE est de 20 dB ou plus, la modulation 64-QAM avec un taux de codage  $R=0,93$  est possible et donne une efficacité spectrale de 5,5 bit/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.

Modulation	MCS efficiency	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)

La relation entre le SINR et l'efficacité spectrale dans le tableau 3 est tirée d'un document de recherche [3], mais elle peut également être obtenue directement auprès des fournisseurs. Connaître la relation entre le schéma de modulation du signal, l'efficacité spectrale et le rapport SINR nous permet de calculer le nombre de ressources nécessaires pour prendre en charge chaque type de service énuméré dans les tableaux 1 et 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, il en va de même pour le nombre de ressources nécessaires pour prendre en charge un certain type de service dans chaque zone de rapport SINR. Par exemple, si le SINR est élevé, un seul PRB peut suffire pour prendre en charge le courrier électronique, mais si le SINR est faible, plus d'un PRB peut être nécessaire.

### 6.1.1 EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT DE LA CAPACITÉ DE DONNÉES

Pour le dimensionnement de la capacité LTE, il faut calculer une 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. Supposons que l'analyse de propagation avec 24 secteurs ait produit une carte de couverture SINR de la cuvette du stade qui peut être divisée en quatre plages de SINR, comme le montre la figure 13. Chaque plage de RSIN a un schéma de modulation spécifique avec une valeur d'efficacité spectrale spécifique, comme le montre le tableau 3. La dépendance de l'efficacité spectrale par rapport au SINR est importante car l'efficacité spectrale détermine en fin de compte le débit de données maximal réalisable (MADR) pour chaque plage de SINR. Une distribution uniforme des spectateurs dans la salle est considérée comme une hypothèse raisonnable. Par exemple, si la plage de RSIN 1 couvre 30 % de la salle, on suppose que 30 % des spectateurs se trouvent dans la plage de RSIN 1.

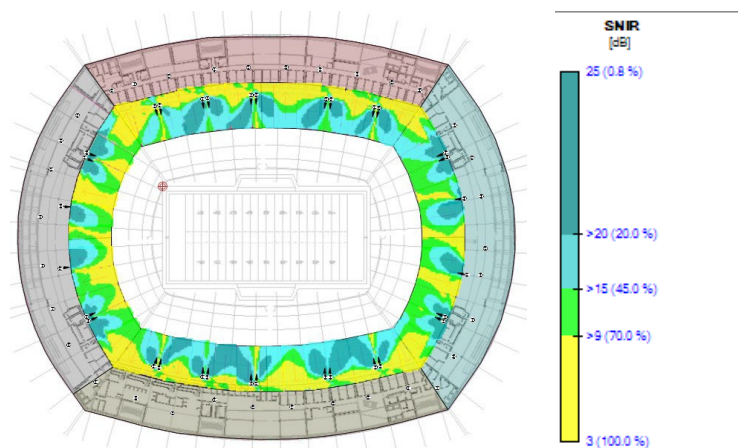


Figure 13 : Couverture SINR du LTE PDSCH utilisée pour l'exemple de dimensionnement des données

Comme le montre la figure 13 (ci-dessus), la plage de SINR 1 du LTE ( $3 \leq \text{SINR} \leq 9$ ) couvre 30 % de la zone. La plage de SINR 2 ( $9 \leq \text{SINR} \leq 15$ ) couvre 25 % de la zone. La gamme de SINR 3 ( $15 \leq \text{SINR} \leq 20$ ) couvre 25 % de la zone, et la gamme de SINR 4 ( $\text{SINR} > 20$ ) couvre 20 % de la zone. En supposant une distribution uniforme des spectateurs, le pourcentage d'utilisateurs LTE dans une plage de SINR donnée est le même que le pourcentage de couverture de SINR pour cette plage. Par souci de concision, il n'est pas nécessaire de répéter cet exercice avec le SINR HSPA ; le calcul de la distribution du SINR HSPA donne 30 % d'utilisateurs HSPA dans la plage de SINR HSPA 1, 25 % dans la plage 2, 15 % dans la plage 3 et 20 % dans la plage 4.

Supposons qu'il y ait 1 000 abonnés dans un secteur. D'après la répartition des abonnés pour le PSM A dans la section 6.1, sur ces 1 000 abonnés, 750 sont des abonnés LTE et 250 des abonnés HSPA. Nous calculons ensuite le trafic HSPA et LTE en heures pleines (en Erlangs) sur la base du nombre d'abonnés dans chaque plage de SINR, et le trafic en heures pleines par abonné, comme indiqué dans le tableau 1. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Métriques	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
SNIR	5	11	22	24
Pourcentage de couverture	30.0%	25.0%	25.0%	20.0%
Abonnés	75	63	63	50
Emails	3.75	3.13	3.13	2.50
Navigation sur Internet	7.50	6.25	6.25	5.00
Vidéoconférence	0.75	0.63	0.63	0.50
Téléchargement des données	11.25	9.38	9.38	7.50
Diffusion vidéo en continu	0.08	0.06	0.06	0.05

Tableau 4a : Utilisateurs HSPA et trafic aux heures de pointe (Erlangs) par type de service et gamme de SINR

Métriques	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
SNIR	3	9	15	20
Distribution abonnés	30.0%	25.0%	25.0%	20.0%
	225	188	188	150
courriels	11.3	9.4	9.4	7.5
navigation	22.5	18.8	18.8	15.0
conf vidéo	1.1	0.9	0.9	0.8
téléchargement de données	33.8	28.1	28.1	22.5
streaming vidéo	0.2	0.2	0.2	0.2

Tableau 4b : Utilisateurs LTE et trafic aux heures de pointe (Erlangs) par type de service et gamme de SINR

Le nombre de ressources nécessaires pour prendre en charge les types de services dans les différentes gammes est ensuite calculé. Le tableau 5 montre la répartition des ressources par plage de SINR pour les réseaux HSPA et LTE dans cet exemple.

NOMBRE DE CODES HSPA PAR CONNEXION				
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 5a : Ressources HSPA par type de service et par plage de SINR

NOMBRE DE BLOCS DE RESSOURCES PRIMAIRES PAR CONNEXION				
Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Courriels	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 5b : Ressources LTE par type de service et par plage de SINR

Sur la base des tableaux 4 et 5, et compte tenu du nombre total de ressources HSPA et LTE dans un secteur, la probabilité de blocage pour chaque type de service peut être calculée. 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 les services multiples utilisée pour ce calcul est tirée de la recommandation de l'UIT-R [4]. Les taux de blocage obtenus pour les technologies HSPA et LTE, par type de service et par plage de SINR, sont indiqués dans le tableau 6.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Emails	11.5%	4.0%	4.0%	4.0%
Navigation	21.8%	11.5%	4.0%	4.0%
Vidéoconférence	55.3%	28.1%	4.0%	4.0%
Téléchargement des données	74.2%	41.9%	7.8%	4.0%
Diffusion vidéo en continu	95.0%	65.9%	15.1%	7.8%

Tableau 6a : taux de blocage HSPA par type de service et plage de SINR

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Courriels	3.2%	3.2%	3.2%	3.2%
Navigation	6.4%	3.2%	3.2%	3.2%
Vidéo conf	12.6%	6.4%	6.4%	3.2%
Téléchargement des données	18.5%	9.5%	6.4%	6.4%
Diffusion vidéo en continu	34.8%	18.5%	12.6%	9.5%

Tableau 6b : taux de blocage LTE 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 chaque type de service dans l'ensemble de la zone des sièges (plages de SINR 1 à 4). Le tableau 6b montre que 9,5 % des tentatives de diffusion vidéo en continu à l'aide du LTE à partir de la zone où le SINR LTE dépasse 20 dB (plage 4) sont bloquées en raison de l'insuffisance des ressources LTE. De même, 7,8 % des tentatives de diffusion vidéo en continu à partir des zones de la plage 4 sont bloquées en raison de ressources HSPA insuffisantes. . Alors que les taux de blocage des deux technologies sont similaires dans les zones où le SINR est bon (plages 3 et 4), dans les zones où le SINR est faible (plages 1 et 2), le LTE présente des taux de blocage systématiquement inférieurs, même s'il compte 750 abonnés et occupe 10 MHz de spectre, contre 250 abonnés HSPA desservis par 4 canaux HSPA (20 MHz).

Si les taux de blocage calculés indiqués dans le tableau 6 ne sont pas acceptables, il faut augmenter le nombre de secteurs (pour réduire le nombre d'abonnés par secteur), 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 calculé sur la base du trafic offert (tableau 4) et du taux de blocage (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
Emails	3.32	3.00	3.00	2.40
Navigation	5.86	5.53	6.00	4.80
Vidéo conf	0.34	0.45	0.60	0.48
Téléchargement des données	2.90	5.45	8.64	7.20
Diffusion vidéo en continu	0.00	0.02	0.05	0.05

Tableau 7a : Trafic HSPA transporté pendant les heures de pointe par type de service et plage de SINR

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Emails	10.9	9.1	9.1	7.3
Navigation	21.1	18.1	18.1	14.5
Vidéo conf	1.0	0.9	0.9	0.7
Téléchargement des données	27.5	25.4	26.3	21.1
Diffusion vidéo en continu	0.1	0.2	0.2	0.1

Tableau 7b : Trafic LTE transporté pendant les heures de pointe par type de service et plage de SINR

Pour déterminer le trafic offert aux heures d'affluence, on additionne les données des tableaux 4a et 4b. Le trafic offert est de 77,8 Erlangs pour le HSPA et de 229,5 Erlangs pour le LTE. Pour déterminer le trafic transporté aux heures d'affluence, on additionne les données des tableaux 7a et 7b. Le trafic HSPA transporté est de 60,1 Erlangs et le trafic LTE transporté est de 212,5 Erlangs. Le taux composite de blocage des appels (BR) est calculé comme suit :

Le taux de blocage composite est de 22,7 % pour le HSPA et de 7,4 % pour le LTE. Il est clair que la technologie LTE présente de meilleures statistiques de blocage des appels que la technologie HSPA, même si elle prend en charge trois fois plus d'abonnés que la technologie HSPA, sur seulement la moitié du spectre.

Le rapport cyclique est défini comme le rapport entre le trafic transporté et le trafic maximal théorique lorsque toutes les ressources sont utilisées pendant une heure entière. Il est de 20 % pour le HSPA et de 42,5 % pour le LTE. L'utilisation des données HSPA est de 13,1 gigaoctets au cours d'une heure chargée, tandis que l'utilisation des données LTE est de 51 gigaoctets. Ces valeurs s'appliquent à un secteur, et comme la PSW A compte 24 secteurs, les chiffres relatifs au trafic et à l'utilisation des données doivent être multipliés par 24 pour obtenir le trafic total de la PSW A pour l'ensemble du stade. Le trafic total dans le stade pour le PSW A est de 314,4 Go pour le HSPA et de 1 224 Go pour le LTE.

Des calculs similaires peuvent être effectués pour le WSP B et le WSP C. En supposant que les statistiques de capacité du WSP A sont acceptables, nous pouvons utiliser ces informations pour calculer le nombre de secteurs requis pour le WSP B et le WSP C. Le calcul de la capacité du WSP A a montré que 250 abonnés HSPA peuvent être pris en charge avec 4 canaux HSPA, ce qui correspond à environ 63 abonnés HSPA par canal. De même, 750 abonnés LTE peuvent être pris en charge dans un canal LTE-FDD de 10 MHz, ce qui équivaut à 375 abonnés dans un canal LTE FDD de 5 MHz, utilisé par le fournisseur d'accès à Internet C. Le même nombre d'abonnés LTE (375) peut être pris en charge dans un canal LTE-TDD de 10 MHz utilisé par le fournisseur d'accès à Internet B, si le canal est configuré de manière symétrique en liaison montante et en liaison descendante. En tenant compte de la répartition des abonnés par technologie, conformément au point 6.1, nous obtenons la configuration sectorielle suivante au stade:

WSP A : 24 UMTS, 24 LTE

WSP B : 24 UMTS, 8 LTE

WSP C : 24 UMTS, 24 LTE

## 6.12 DIMENSIONNEMENT DE LA CAPACITÉ VOCALE

La capacité vocale est dimensionnée par la partie WCDMA du signal UMTS.

Comme pour les calculs de capacité de données, nous commençons par déterminer la couverture  $E_b/N_0$  ( $E_b/N_0$  est le rapport entre l'énergie par bit et la densité spectrale de puissance du bruit), nous séparons la couverture en quatre plages  $E_b/N_0$  différentes et nous identifions les types de services qui peuvent être utilisés dans chaque plage. La carte  $E_b/N_0$  pour un niveau de stade est présentée à la figure 14.



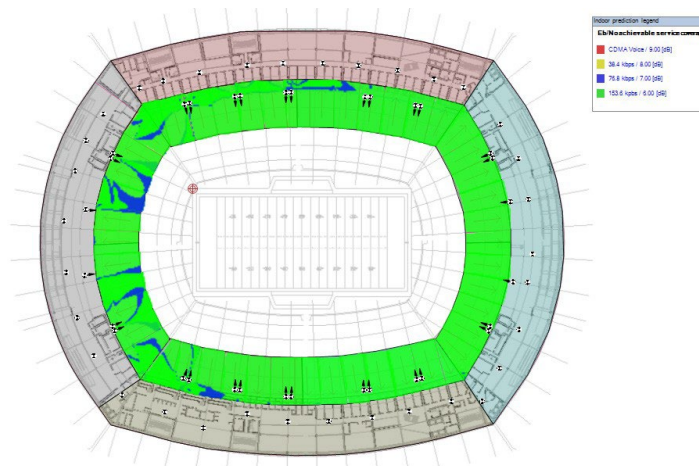


Figure 14 : Carte de couverture Eb/N0 utilisée pour l'exemple de dimensionnement de la voix

Dans l'hypothèse d'une répartition uniforme des abonnés, le pourcentage d'abonnés se connectant au service dans une plage Eb/N0 donnée est le même que le pourcentage de couverture pour cette plage. La répartition des utilisateurs par plage Eb/N0 et le trafic R99 dans chaque plage (en Erlangs) sont indiqués dans le tableau 8.

Métriques	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Eb/No	9	8	7	6
Distribution	1.0%	1.0%	9.0%	90.0%
Utilisateurs	10	10	90	900
Voix	0.3	0.3	3.0	29.7
Courriels	-	0.0	0.3	2.7
Navigation	-	-	0.3	2.7
Téléchargement des données	-	-	-	2.7

Tableau 8 : Trafic de données à l'heure de pointe R99 (en Erlangs), par type de service, dans chaque plage Eb/N0

Seuls les codes OVSF avec un facteur d'étalement allant jusqu'à SF128 sont utilisés pour les types de service indiqués dans le tableau 8. Le nombre requis de codes OVSF par type de service et par plage Eb/N0 est indiqué dans le tableau 9.

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 9 : Codes OVSF, par type de service, dans chaque plage Eb/N0

Comme pour les technologies HSPA et LTE, les taux de blocage des appels sont calculés conformément à la norme [4] et sont indiqués dans le tableau 10.

Type de service	Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4
Voix	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%
Courriels	-	6.5%	6.5%	6.5%
Navigation	-	-	13.4%	13.4%
Téléchargement des données	-	-	-	28.0%

Tableau 10 : Taux de blocage R99, par type de service, dans chaque plage Eb/N0

Pour un secteur comptant 1 000 abonnés, le taux de blocage vocal R99 est de 1,6 % dans l'ensemble de la zone des places assises. La plupart des réseaux UMTS macro utilisent un taux de blocage des appels aux heures d'occupation compris entre 1 et 2 %. 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 3G et 4G. La conclusion est que le taux de blocage des appels pour le trafic R99 est acceptable et que, par conséquent, la configuration à 24 secteurs est suffisante pour prendre en charge le trafic vocal des abonnés 3G et 4G pour le WSP A.

## 6.2 CONCEPTION DE LA COUVERTURE RF

Pour que le signal RF soit dominant sur le site, il doit être légèrement plus fort que le signal résiduel provenant des sites de macrocellules environnants. Dans notre exemple, nous supposons que la puissance de réception du signal de référence macro LTE (RSRP) se situe entre -80 et -85 dBm dans l'ensemble de la zone des sièges. En déployant des antennes à gain élevé très directives, nous pouvons obtenir une puissance de réception du signal de référence de -75 dBm (ou plus) sur 90 % de la zone, comme le montre la figure 15.

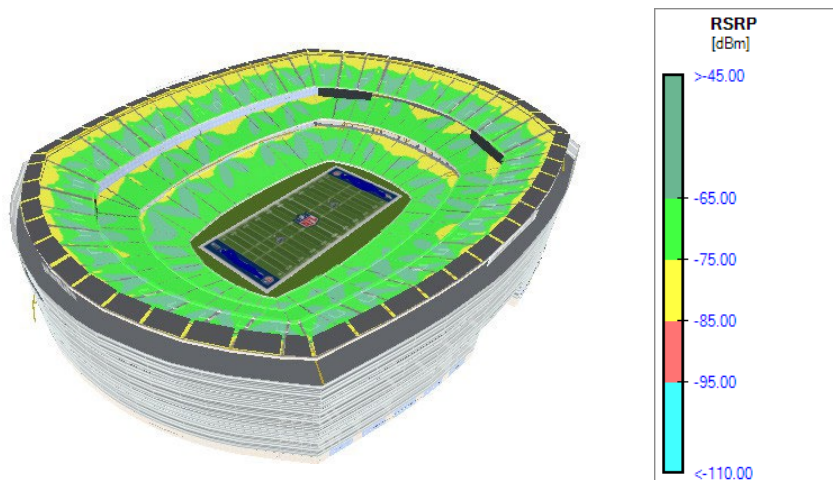


Figure 15 : Couverture LTE RSRP au stade

Le schéma de modulation utilisé dans les réseaux LTE est directement lié au SINR du PDSCH, car un SINR élevé permet une modulation d'ordre élevé, telle que la modulation 64-QAM. La modulation d'ordre élevé a une efficacité spectrale élevée, ce qui permet d'obtenir un débit de données maximal réalisable (MADR) élevé dans le réseau. Cependant, un grand nombre de secteurs implique également de nombreux chevauchements de secteurs qui peuvent causer des interférences et réduire le rapport signal sur bruit (SINR). La figure 16 présente un exemple de diagramme SINR d'un PDSCH LTE à 24 secteurs.

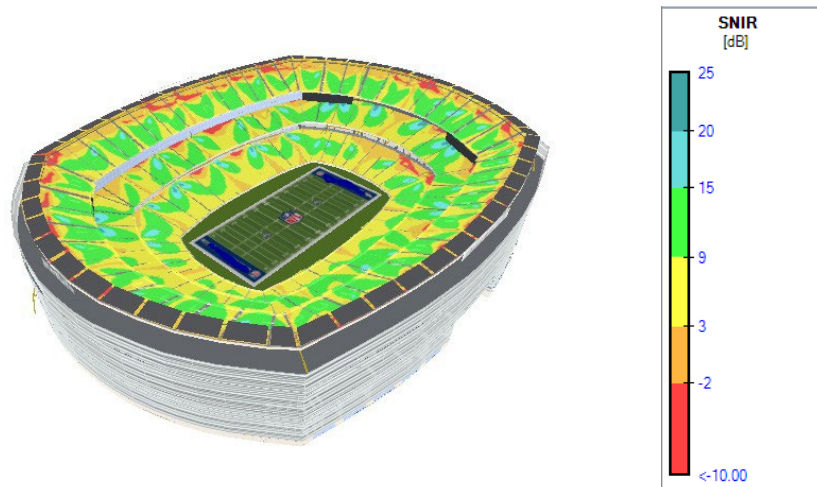


Figure 16 : Couverture LTE PDSCH SINR au stade

Sur la base de la distribution de la couverture SINR, la distribution MADR SISO en liaison descendante dans le stade est ensuite calculée, comme le montre la figure 17.

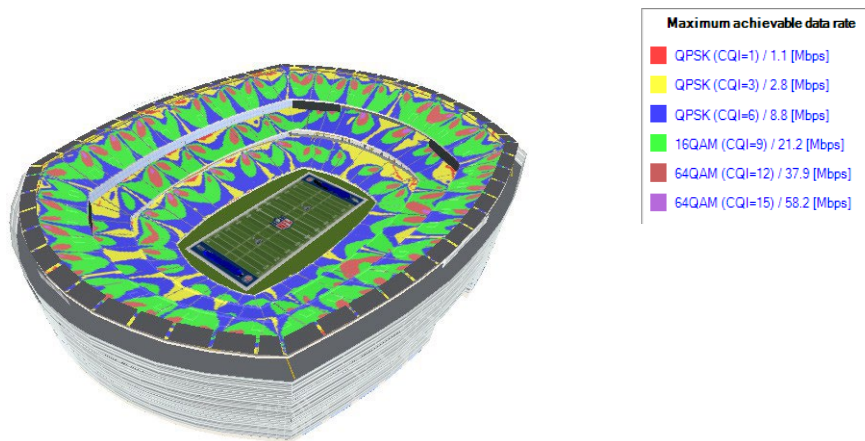


Figure 17 : Couverture LTE MADR SISO en liaison descendante au stade

## 07. CONCLUSION

Une solution DAS à hôte neutre est rentable pour les réseaux de stades dans lesquels plusieurs réseaux commerciaux et non commerciaux doivent partager l'infrastructure. Les réseaux de stades se caractérisent par une très forte densité d'utilisateurs qui ont besoin de nombreux secteurs pour satisfaire leurs besoins en données. L'utilisation d'antennes DAS hautement directionnelles, qui assurent une bonne isolation spatiale des signaux, permet de répondre à l'exigence de sectorisation élevée. Cela permet également de contrôler le chevauchement des secteurs et de minimiser les interférences entre secteurs.

L'environnement de propagation des radiofréquences est très différent dans le stade : LOS pure dans la zone des sièges, LOS avec de nombreuses réflexions dans les zones de vente au détail situées sous la cuvette, NLOS dans les vestiaires et les salles de conférence. Pour modéliser correctement la couverture, il est essentiel de procéder à une modélisation en 3D du site. La plupart des stades disposent de places assises en plein air et présentent donc souvent une couverture macro résiduelle importante dans ces zones. Comme le signal du réseau du stade doit être dominant partout dans l'enceinte, il est essentiel d'effectuer une étude RF pour déterminer la force du signal résiduel avant de concevoir le DAS. Étant donné que les spectateurs ont tendance à passer du temps à l'extérieur du stade avant et après les événements, la zone de conception devrait être étendue aux parkings, aux rues secondaires et aux gares routières et ferroviaires voisines.

Enfin, les réseaux DAS à hôte neutre dotés d'amplificateurs de forte puissance sont susceptibles de générer des perturbations électromagnétiques (PIM), qui peuvent avoir de graves répercussions sur le réseau du stade. Le LTE est particulièrement sensible à la MIP parce qu'il a une faible puissance de bruit thermique ( -121 dBm). Lors de la conception, il faut veiller à éviter la génération de MIP en utilisant des équipements ayant une valeur MIP de 162 dBc à 2x35 dBm. Les connecteurs 7/16 DIN argentés doivent être utilisés à la place des connecteurs de type N, car ils ont une valeur PIM inférieure. En outre, les antennes ne doivent pas être placées à proximité de structures métalliques, car elles ont tendance à générer des PIM.

## RÉFÉRENCES

- [1] <http://www.worldstadiums.com/>
- [2] Rogers Canada, webinaire PIM
- [3] "System Level Simulation of LTE Networks", J.C. Ikuno, M. Wrulich, M. Rupp, IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010-mai
- [4] "Méthodologie de calcul des besoins en spectre pour la composante terrestre des télécommunications mobiles internationales", UIT-R M.1768-1, 2013-avril  
[http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1768-1-201304-I!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1768-1-201304-I!!PDF-E.pdf)

## 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 tentent d'exploiter pleinement la valeur des réseaux de voix et de données à l'intérieur des bâtiments, 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 83 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 à l'intérieur des bâtiments 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.

[www.ibwave.com](http://www.ibwave.com)