



**LIVRE BLANC**

# **MEILLEURES PRATIQUES EN MATIÈRE DE CONCEPTION 5G**

Par Vladan Jevremovic, PhD

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CONCEPTION 5G VS LTE : QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ?.....</b>	<b>3</b>
2.1	LA BANDE D'ONDES MILLIMÉTRIQUES (24 GHz ET PLUS).....	3
2.2	ANTENNES UE 5G .....	4
2.3	modélisation de la formation de la poutre dans iBwave.....	5
2.4	LA TAILLE D'UN OBJET A-T-ELLE UNE IMPORTANCE ?.....	9
2.5	LIMITE CHAMP PROCHE/CHAMP ÉLOIGNÉ .....	9
2.6	CONFORMITÉ AUX RAYONNEMENTS EMF .....	11
2.7	COUVERTURE NON-LOS AUX FRÉQUENCES D'ONDES MILLIMÉTRIQUES.....	11
<b>3</b>	<b>COUVERTURE CHAMP D'APPLICATION LIMITATIONS.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>13</b>
	<b>À propos d'iBwave.....</b>	<b>13</b>

# 1 INTRODUCTION

Les réseaux 5G ont posé quelques défis majeurs en matière de conception de réseau par rapport aux réseaux LTE. Ces défis sont principalement liés à l'introduction de la bande de haute fréquence (au-dessus de 24 GHz) et aux réseaux d'antennes à formation de faisceau. L'objectif de cet article est d'identifier les défis, et la façon de les relever en utilisant iBwave Design, un outil de conception et de planification de réseaux intérieurs.

## 2 CONCEVOIR 5G VS LTE : QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ?

### 2.1 LA BANDE D'ONDES MILLIMÉTRIQUES (24 GHz ET PLUS)

La manière la plus simple d'évaluer l'impact de la bande de haute fréquence (également appelée "bande d'ondes millimétriques") sur la propagation des signaux RF et leur portée est d'examiner la formule de transmission de Friis. Cette formule établit une relation entre le signal de réception ( $P_r$ ), le signal d'émission ( $P_t$ ), la distance ( $d$ ) entre les deux, la longueur d'onde du signal ( $\lambda$ ), le gain de l'antenne du récepteur ( $A_r$ ) et le gain de l'antenne de l'émetteur ( $A_t$ ) :

$$P_r = \frac{A_r A_t}{d^2 \lambda^2} P_t$$

Cette équation est valable en visibilité directe (LOS) entre l'émetteur et le récepteur. Lorsque la fréquence de fonctionnement augmente, la longueur d'onde du signal diminue. Si tous les autres paramètres restent inchangés, le fait de doubler la fréquence de fonctionnement réduit le signal de réception de 6 dB. Si le réseau LTE fonctionne dans la bande AWS (2,1 GHz), le réseau 5G qui fonctionne à 28 GHz aura une perte supplémentaire de  $20 \cdot \log_{10}(28/2,1) = 22,5$  dB.

Pour compenser cette perte supplémentaire, les réseaux 5G à ondes millimétriques s'appuient sur un gain d'antenne élevé, tant à l'émission qu'à la réception. Le gain d'antenne élevé est obtenu grâce à la formation de faisceau, qui crée également des faisceaux très étroits. Ces faisceaux hautement directionnels ont un gain plus élevé que les antennes directionnelles LTE, ce qui compense en partie l'affaiblissement de propagation plus important. Un autre avantage des antennes à formation de faisceau est la réduction des interférences. Les faisceaux étroits isolent très bien le signal de service des signaux d'interférence, ce qui améliore le rapport SINR et le débit. L'inconvénient de la formation de faisceaux est l'augmentation de la complexité du circuit d'antenne, la taille plus importante du panneau d'antenne et une plus grande consommation d'énergie.

Toutefois, malgré la compensation partielle de l'affaiblissement de propagation, les réseaux 5G à bande large ont une portée beaucoup plus courte que les réseaux 5G sub-6 GHz. C'est pourquoi ils ne sont pas utilisés pour une couverture globale du réseau, mais plutôt dans des lieux à forte densité d'utilisateurs.

**Meilleures pratiques :** Utiliser les réseaux à ondes millimétriques 5G dans les lieux à forte capacité. Utiliser les réseaux sub-6 GHz pour une couverture macro générale.

## 2.2 UE ANTENNES 5G

Bien qu'il existe de nombreux fabricants de téléphones intelligents, nous allons nous concentrer sur les deux fabricants les plus courants : Apple (iPhone) et Samsung.

Les informations sur les antennes de l'iPhone 5G sont très rares. Apple ne publie pas les spécifications des antennes, de sorte que les informations accessibles au public proviennent de rapports de démontage RF de l'iPhone, publiés par des passionnés de technologie. L'un de ces rapports, publié dans Microwave Journal [1], affirme que l'iPhone 12 est équipé de deux modules d'antennes 5G à ondes millimétriques. Un module est intégré sur le côté du châssis et l'autre au dos de la carte logique. Le rapport indique également que ces modules "ressemblent à un module d'ondes millimétriques Qualcomm [...] car Qualcomm est le seul fabricant connu de ce type de module". Dans la présentation 5G de Qualcomm [2], le budget de la liaison UL à ondes millimétriques indique un gain de réseau d'antennes UE de 6 dBi. D'après la théorie des réseaux d'antennes, le gain de 6 dBi correspond à un réseau de 4 antennes, car  $10 \cdot \log_{10}(4) = 6$  dBi. Nous pouvons donc conclure que l'iPhone 12 possède deux modules d'antennes à ondes millimétriques et que chaque module possède un réseau de 4 antennes avec un gain d'antenne de formation de faisceau de 6 dBi. Mais qu'en est-il de la technologie MIMO ? Ces modules sont-ils MIMO, et si oui, s'agit-il de 2x2 MIMO ou de 4x4 MIMO ?

Les deux modules d'antenne sont séparés dans l'espace. Si le réseau d'antennes du premier module a une polarisation de  $+45^\circ$  et celui du second module une polarisation linéaire de  $-45^\circ$ , alors ces deux modules constituent deux flux MIMO et nous avons 2x2 MIMO.

Cependant, si chaque module dispose de deux réseaux à polarisation croisée colocalisés, l'un avec une polarisation  $+45^\circ$  et l'autre avec une polarisation  $-45^\circ$ , nous avons alors un MIMO 4x4. Dans ce cas,  $\frac{1}{4}$  des informations est transmis sur la polarisation  $+45^\circ$  dans le module 1, un autre  $\frac{1}{4}$  est transmis sur la polarisation  $-45^\circ$  dans le même module, un autre  $\frac{1}{4}$  est transmis sur la polarisation  $+45^\circ$  dans le second module, et le dernier  $\frac{1}{4}$  est transmis sur la polarisation  $-45^\circ$  dans le second module. Mais la séparation entre les modules est-elle suffisante pour décorréler les signaux ? Sans la décorrélation des signaux, nous ne pouvons pas séparer les flux  $+45^\circ$  (ou les flux  $-45^\circ$ ) du premier et du deuxième module. Il s'avère que la séparation est suffisante à la fréquence des ondes millimétriques. La séparation entre les modules n'est que de 4-5 centimètres, mais à  $f=30$  GHz, cette distance se traduit par 4-5 longueurs d'onde, ce qui est suffisant pour décorréler les signaux de même polarisation. Ainsi, cette configuration d'antenne dans l'iPhone 12 est 4x4 MIMO avec un gain d'antenne de formation de faisceau de 6 dBi.

Samsung est plus loquace en ce qui concerne ses informations sur les antennes à ondes millimétriques. Dans [3], ils affirment que les téléphones Samsung ont un réseau de 4 antennes avec un gain de 7 dBi et un total de 4 flux. L'antenne à ondes millimétriques de Samsung est donc une antenne MIMO 4x4 avec un gain de 7 dBi pour la formation de faisceaux. Ce gain est comparable à celui de l'antenne de l'iPhone 12. Cela confirme également de manière indirecte nos hypothèses concernant les antennes de l'iPhone 12, car Samsung et l'iPhone ont des performances/caractéristiques similaires. Dans la même présentation, Samsung précise également la largeur de faisceau horizontale et verticale de son antenne pour smartphone.

Il ne semble pas que les modules RF sub-6 GHz des téléphones intelligents soient dotés d'antennes à formation de faisceau pour l'instant.

**Meilleure pratique :** Dans la conception iBwave, réglez le gain d'antenne de l'UE à 6-7 dBi lors de la conception des réseaux à ondes millimétriques 5G. Pour les réseaux 5G inférieurs à 6 GHz, nous pouvons conserver le même gain que pour l'UE LTE.

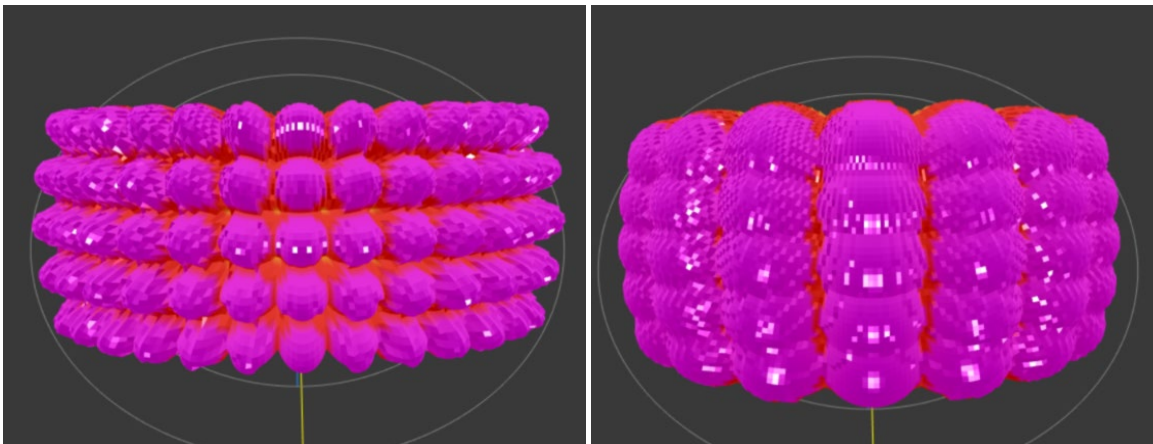
## 2.3 modélisation de la formation des poutres dans iBwave

Les diagrammes d'antenne eNodeB 5G à formation de faisceau sont créés par de grands réseaux bidimensionnels (planaires). Les réseaux typiques sont de 8x8, 16x16 ou de taille similaire. Un réseau 8x8 est un réseau 8x8x2, car chaque emplacement d'antenne possède deux antennes colocalisées à polarisation linéaire : une avec une polarisation de +45° et une avec une polarisation de -45°. Ainsi, un réseau 8x8x2 comporte 128 antennes ; la moitié d'entre elles créent un diagramme de polarisation linéaire +45° et l'autre moitié un diagramme de polarisation linéaire -45°.

La théorie de la 5G nous apprend que le bloc de signal de synchronisation (SSB) est toujours transmis et que chaque SSB de l'eNodeB peut avoir son propre créneau de transmission, différent des autres faisceaux de l'eNodeB. Cette fonction permet à un UE de mesurer l'intensité du signal SSB dans les créneaux horaires où le signal SSB est attendu. Ces mesures sont communiquées à l'eNodeB, qui détermine alors le faisceau SSB optimal pour cet UE.

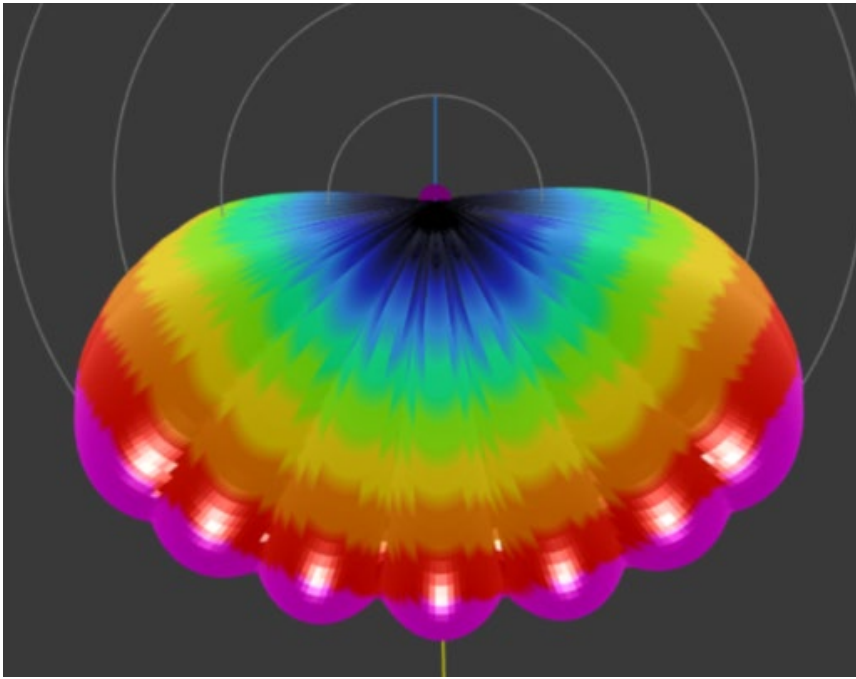
Les faisceaux SSB doivent se chevaucher davantage car ils doivent capter tous les UE dans le rayon d'action de l'eNodeB. Les faisceaux qui transportent le signal PDSCH ont besoin de moins de chevauchement entre eux, car ils doivent minimiser l'interférence à l'UE. Par conséquent, les faisceaux SSB sont plus larges que les faisceaux PDSCH.

A titre d'exemple, nous montrons les diagrammes de rayonnement des antennes PDSCH et SSB beamforming :

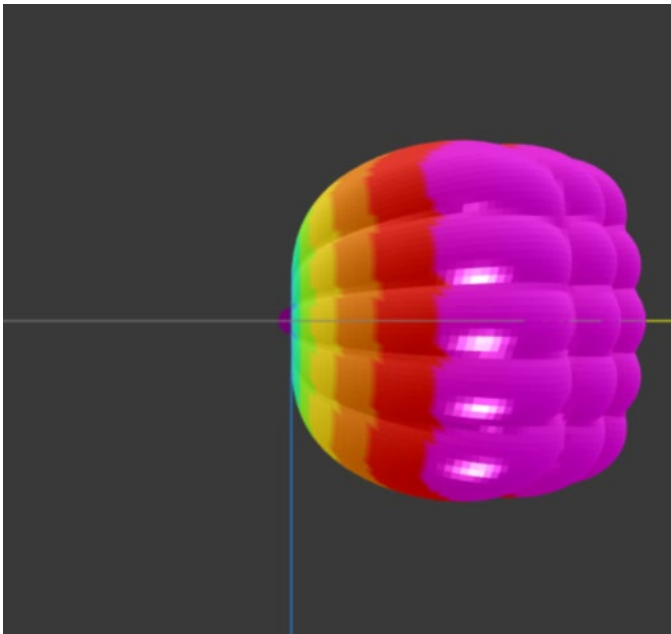


**Figure 1 :** Diagrammes de rayonnement PDSCH et SSB avec formation de faisceau, côte à côte - modèle MATLAB

Bien que les faisceaux SSB ne soient pas transmis simultanément, au fil du temps, ils sont tous transmis au moins une fois, formant un modèle de rayonnement agrégé de formation de faisceaux :



**Figure 2 :** Diagramme de rayonnement de la formation de faisceaux 8x8, plan H - modèle MATLAB



**Figure 3 :** Diagramme de rayonnement agrégé de formation de faisceaux 8x8, plan V - modèle MATLAB

Le diagramme de rayonnement agrégé de la formation de faisceaux est la somme des faisceaux SSB individuels. En tant que tel, ce diagramme de rayonnement agrégé est utilisé pour calculer les cartes thermiques SS-RSRP, qui indiquent la couverture du signal eNodeB 5G. Ainsi, la carte thermique SS-RSRP est un indicateur clé de performance pour la couverture 5G, tout comme la carte thermique RSRP est un indicateur clé de performance pour la couverture LTE.

Dans le fichier vex d'iBwave Design, nous modélisons le diagramme de rayonnement SSB global, ainsi que les diagrammes de rayonnement SSB et PDSCH individuels. Le premier modèle est utilisé pour calculer le SS-RSRP, tandis que le second est utilisé pour calculer le SINR et le MADR du PDSCH. Une capture d'écran du fichier .vex d'iBwave l'illustre :

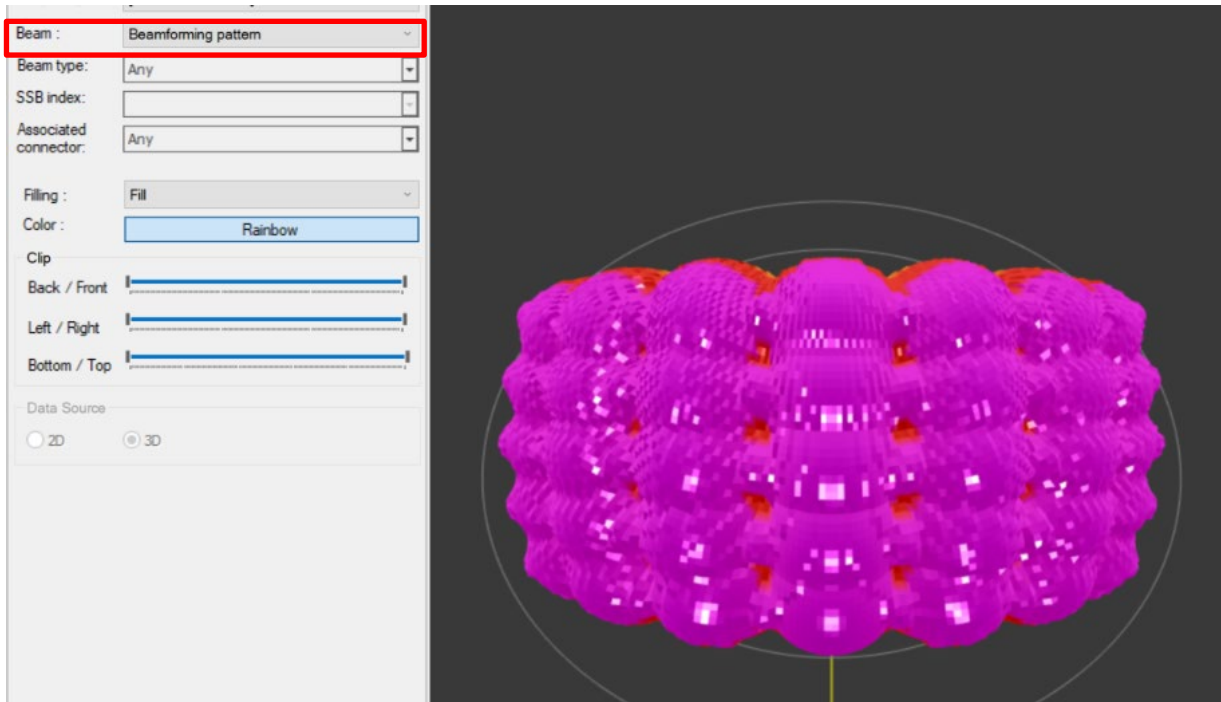


Figure 4 : Diagramme de rayonnement 8x8 agrégé dans le fichier vex d'iBwave Design - le modèle MATLAB

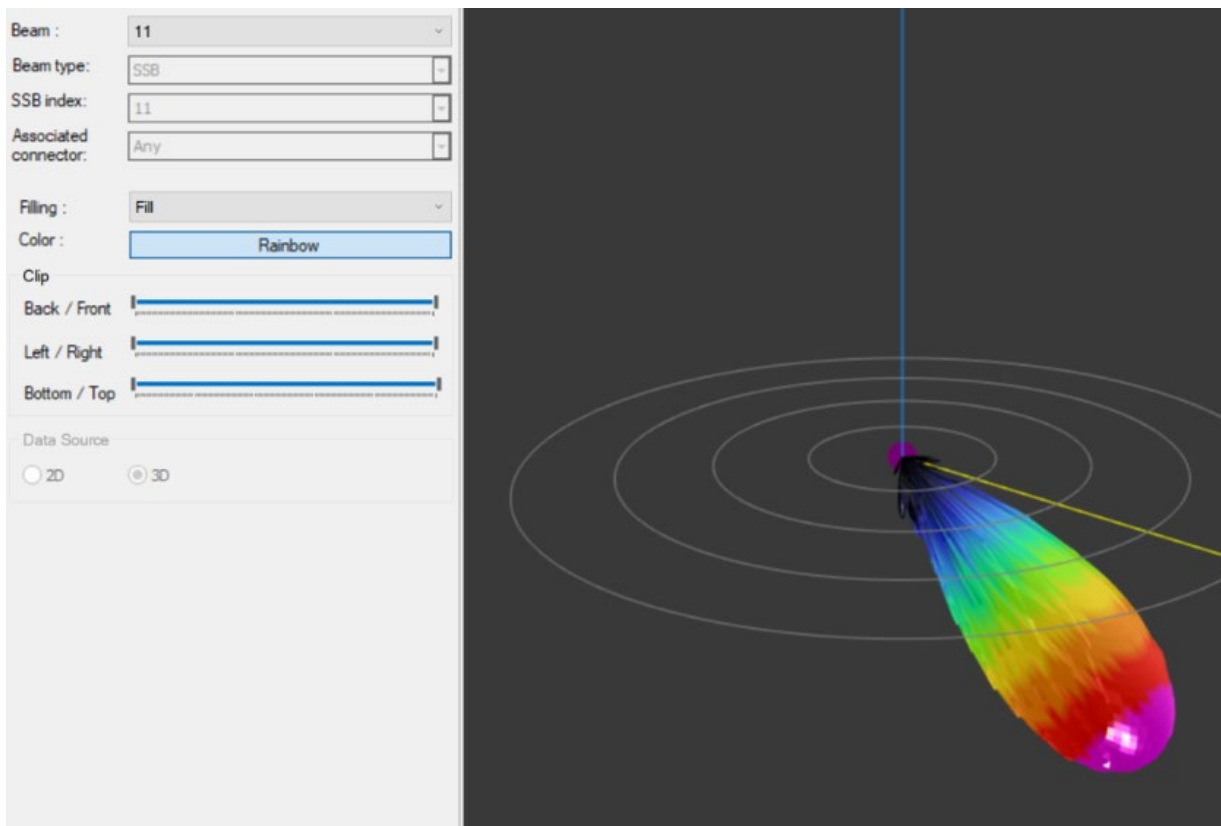
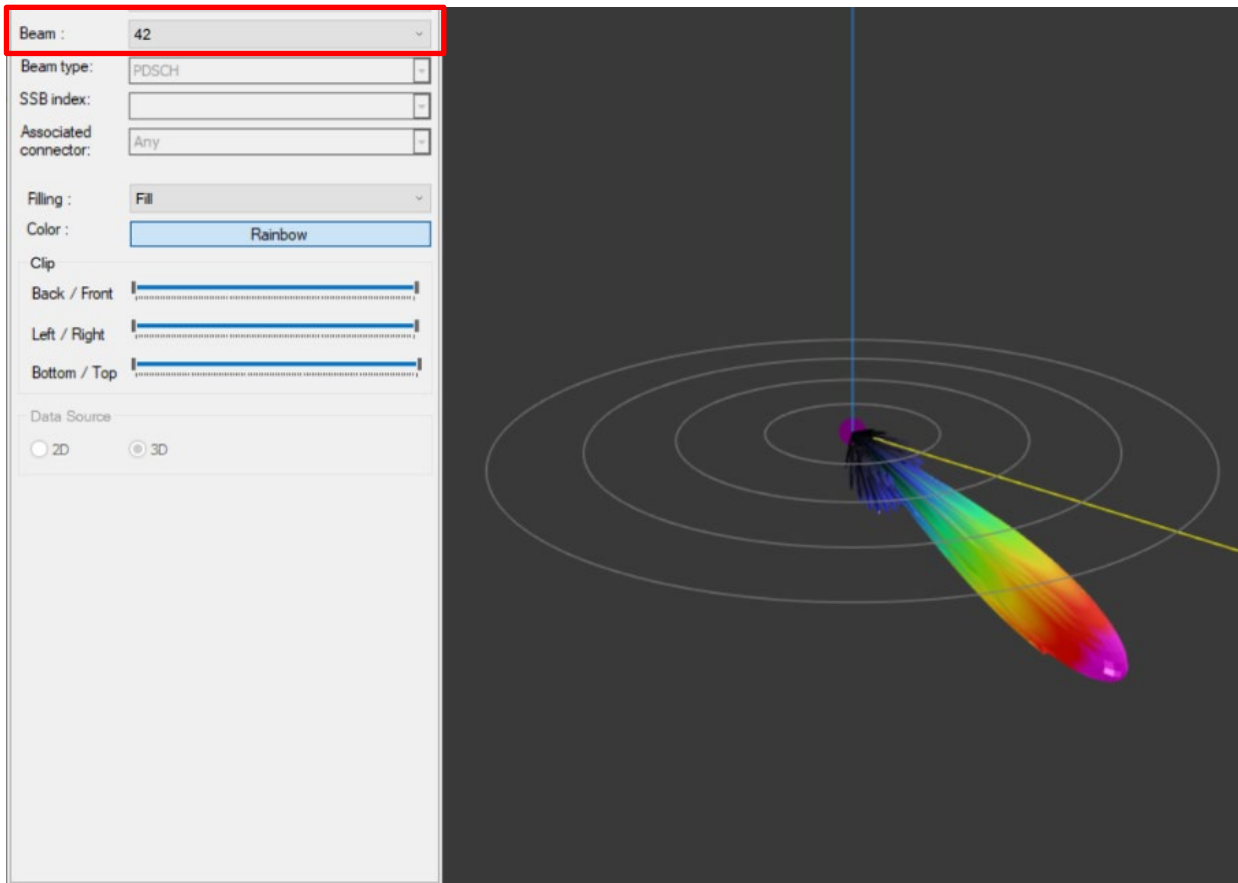


Figure 5 : Diagramme de rayonnement SSB 8x8 avec formation de faisceaux Fichier vex d'iBwave Design - le modèle MATLAB



**Figure 6 :** Diagramme de rayonnement du PDSCH à formation de faisceaux 8x8 dans le fichier vex - le modèle MATLAB

Bien que nous permettions aux équipementiers de modéliser l'agrégation des diagrammes de rayonnement individuels dans les fichiers vex pour petites cellules, il n'est pas obligatoire d'avoir les deux dans le fichier vex. Cependant, les deux sont nécessaires dans le fichier si nous voulons calculer avec précision le SS-RSRP et le PDSCH-SINR, et par conséquent le MADR. Bien que notre logiciel permette de calculer le PDSCH-SINR sans les motifs individuels, le calcul résultant sous-estimerait largement le PDSCH-SINR et le MADR.

**Bonne pratique :** Vérifiez toujours les diagrammes de rayonnement des petites cellules 5G en cliquant sur "view pattern". Dans le menu déroulant "Beam", vérifiez que vous pouvez sélectionner "Beamforming pattern" et les faisceaux individuels numérotés 1,2,3.... Si les faisceaux numérotés ne sont pas présents dans le menu déroulant, les faisceaux individuels ne sont pas modélisés, PDSCH-SINR et MADR ne peuvent pas être calculés avec précision, et les cartes thermiques PDSCH-SINR et MADR sont inexactes.



## 2.4 LA TAILLE D'UN OBJET A-T-ELLE UNE IMPORTANCE ?

En dessous de 6 GHz, les objets qui contribuent à la perte de pénétration et de réflexion sont les murs, les sols et les plafonds, ainsi que les places assises dans les stades. Aux fréquences inférieures à 6 GHz, ces objets sont grands par rapport à la longueur d'onde, ce qui garantit la réflexion spéculaire. Le terme "réflexion spéculaire" signifie que les signaux entrants et réfléchis sont des ondes planes, également appelées "rayons". Si un objet est petit ou comparable à la longueur d'onde, le signal entrant se disperse lorsqu'il frappe cet objet, et il n'y a pas beaucoup de réflexion du signal. C'est pourquoi il n'est pas nécessaire de modéliser le mobilier de bureau dans les réseaux de moins de 6 GHz.

À 30 GHz, la longueur d'onde n'est que de 1 cm, de sorte que la plupart des objets sont beaucoup plus grands que la longueur d'onde. Cela signifie qu'une modélisation très détaillée est nécessaire ; par exemple, dans un environnement de bureau, tous les meubles de bureau (chaises, tables, étagères, etc.) devraient être modélisés. Cependant, les mesures sur le terrain indiquent que ce n'est pas tout à fait le cas. Une réflexion significative à 28 GHz n'a été observée qu'à partir de grands tableaux blancs, de miroirs et de téléviseurs à écran plat. Nous n'avons pas observé de réflexion significative sur d'autres objets dans les bureaux. iBwave travaille à la mesure des propriétés de ces matériaux à 24-40 GHz et les inclura dans notre base de données dans le courant de l'année.

**Meilleure pratique :** Pour les ondes millimétriques, incluez de grands tableaux blancs, des miroirs et des téléviseurs à écran plat dans votre modèle de plan d'étage, car ces objets reflètent bien le signal à la fréquence des ondes millimétriques.

## 2.5 LIMITE CHAMP PROCHE/CHAMP ÉLOIGNÉ

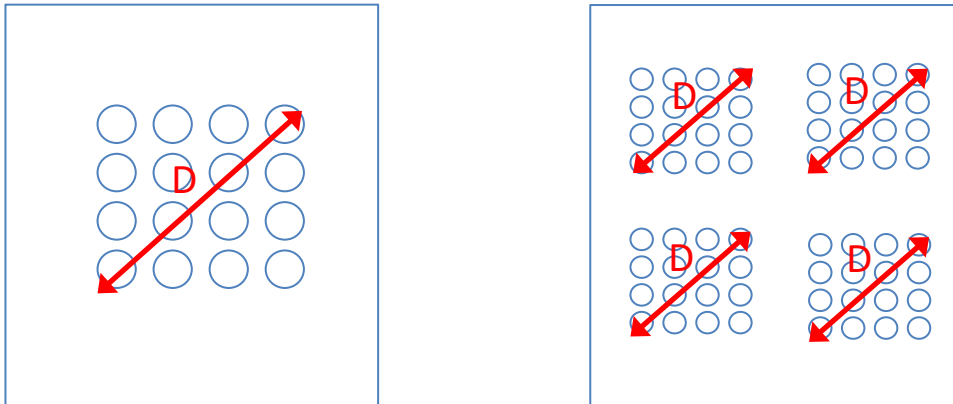
Il existe deux zones de rayonnement pour les ondes électromagnétiques loin de l'antenne : le champ proche et le champ lointain. Une brève description du phénomène de champ proche et de champ lointain est donnée dans [4]. Le terme technique pour la limite entre les deux est appelé la distance de Fraunhofer. Cette distance est calculée comme suit  $d = 2 \frac{D^2}{\lambda}$ . D est la plus grande dimension de l'antenne rayonnante, et  $\lambda$  est la longueur d'onde du signal transmis.

Supposons que la diagonale du panneau d'antenne soit  $D = 0,5$  mètre. Si nous supposons que la taille du panneau est la même que celle du réseau d'antennes planaires situé derrière lui, la distance de Fraunhofer est la suivante :

$d = 5,8$  mètres à 3,5 GHz

$d = 50$  mètres à 30 GHz

Cependant, nous ne sommes pas certains que la taille du panneau est la même que celle de l'antenne planaire qui se trouve derrière. Pour le vérifier, nous devons ouvrir le panneau pour inspecter ce qui se trouve en dessous. Si nous le faisons, nous pourrions voir quelque chose comme ceci :



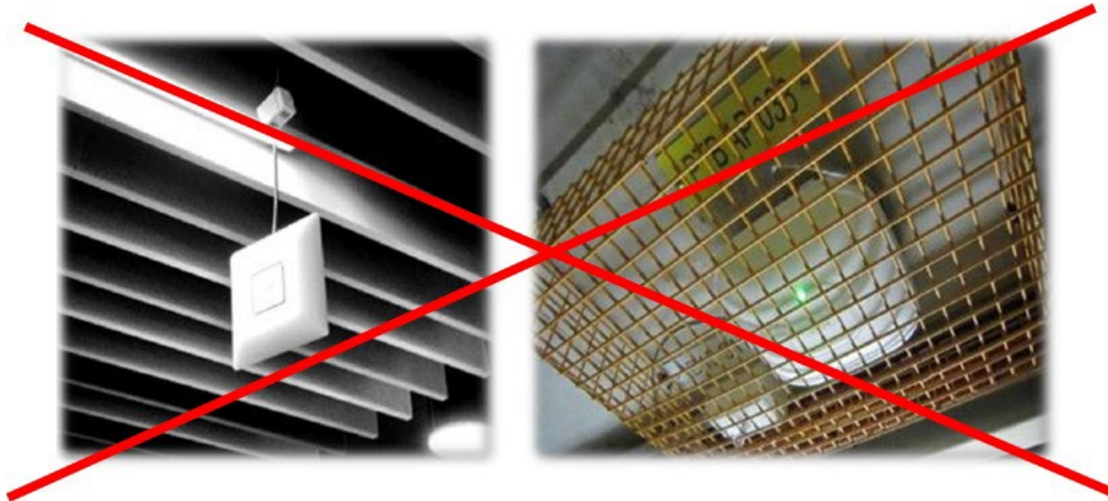
**Figure 7 :** Deux exemples de la plus grande dimension  $D$  d'un réseau d'antennes à formation de faisceau planaire, flèche rouge.

La figure de gauche montre un seul réseau planaire, tandis que la figure de droite montre quatre réseaux planaires indépendants. Ces derniers génèrent quatre faisceaux de formation de faisceau indépendants, chaque faisceau pouvant desservir un utilisateur différent. Si les utilisateurs sont bien séparés dans l'espace, cette configuration augmente la capacité d'un facteur 4, car les faisceaux peuvent émettre simultanément. Cette configuration est réalisable aux fréquences d'ondes millimétriques, où chacun des quatre réseaux a une  $D$  de l'ordre de 10 à 15 cm. En supposant que  $D = 10$  cm, la distance de Fraunhofer est de

$$d = 2 \text{ mètres à } 30 \text{ GHz}$$

S'il n'est pas possible d'ouvrir le panneau, la deuxième meilleure méthode consiste à mesurer la distance de Fraunhofer. Pour ce faire, on mesure la puissance de réception à des distances prédéterminées,  $d = 1, 2, 4, 8, \dots$  mètres du côté large de l'antenne. En champ lointain, la puissance reçue diminue de 6 dB lorsque la distance est doublée. Ainsi, si la puissance diminue de 6 dB entre 2 et 4 mètres, la distance de Fraunhofer se situe entre 2 et 4 mètres. Si nous voulons plus de précision, nous pouvons effectuer une autre série de mesures à 1,5 et 3 mètres. Si le signal chute à nouveau de 6 dB, la distance de Fraunhofer se situe entre 2 et 3 mètres. Si le signal chute de moins de 6 dB, la distance de Fraunhofer se situe entre 3 et 4 mètres. Nous pouvons effectuer d'autres mesures de cette manière jusqu'à ce que nous déterminions la distance de Fraunhofer avec la précision souhaitée.

Il est important d'établir la limite du champ lointain car les objets très réfléchissants dans le champ proche de l'antenne peuvent modifier de manière significative le diagramme de rayonnement de l'antenne. Si la limite champ proche/champ lointain est fixée à 2 mètres, l'espace libre autour de l'antenne à formation de faisceau doit être de 2 mètres. Cela signifie qu'aucun objet hautement réfléchissant ne doit se trouver dans le rayon de 2 mètres autour de l'antenne.



**Figure 8 :** Objets très réfléchissants dans le champ proche d'une antenne.

**Meilleure pratique :** Déterminez la distance de Fraunhofer et choisissez des emplacements d'antenne où il n'y a pas d'objets réfléchissants à cette distance.

## 2.6 CONFORMITÉ AUX RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les antennes à formation de faisceaux sont des antennes hautement directionnelles. Leur gain est proportionnel au nombre d'antennes dans un réseau planaire. Un réseau planaire comportant 64 antennes omnidirectionnelles avec un gain de 0 dBi a un gain de formation de faisceau de  $10 \cdot \log_{10}(64) + 0 \text{ dBi} = 18 \text{ dBi}$ . Comme les antennes LTE des petites cellules/DAS d'intérieur sont pour la plupart omnidirectionnelles avec un gain de 2 à 3 dBi, la différence de PIRE entre l'antenne LTE et l'antenne 5G à formation de faisceau est d'environ 15 dB. Toutefois, la différence réelle est moindre car les antennes à formation de faisceau n'émettent pas en même temps. La différence entre la PIRE instantanée et la PIRE moyenne de la 5G est, selon une estimation prudente [5], de 6 dB, et le delta entre la PIRE de la 5G et celle de la LTE est donc de  $15 - 6 = 9 \text{ dB}$ . Dans [6], nous montrons que l'ajout d'antennes à ondes millimétriques à formation de faisceaux à un réseau intérieur qui dispose déjà d'un signal LTE multibande peut augmenter de 110 % la distance de conformité du rayonnement EMF. Cette augmentation radicale est uniquement due au fait que le gain de la formation de faisceaux de la 5G est beaucoup plus important que le gain de l'antenne DAS/petites cellules de la LTE.

**Meilleure pratique :** Déterminer la conformité du rayonnement électromagnétique en tenant compte de toutes les bandes/technologies du réseau. Conformément à la section 2.5, tous les réseaux planaires indépendants situés sous un panneau doivent être pris en compte dans le calcul de la conformité au rayonnement électromagnétique. Définir la distance de conformité comme une zone d'exclusion, qui doit être hors de portée du public.

## 2.7 COUVERTURE NON-LOS AUX FRÉQUENCES D'ONDES MILLIMÉTRIQUES

La plupart des matériaux présentent des pertes de pénétration et de réflexion élevées aux fréquences d'ondes millimétriques. Certains matériaux légers, comme les plaques de plâtre, ont un affaiblissement de pénétration de l'ordre de quelques dB. Il est donc possible d'avoir une certaine couverture NLOS derrière le premier mur lumineux aux fréquences d'ondes millimétriques. Cependant, le signal ne passe presque jamais le deuxième mur lumineux.

Comme indiqué à la section 2.3, certains objets qui ne réfléchissent pas le signal aux fréquences inférieures à 6 GHz le réfléchissent aux fréquences d'ondes millimétriques. Les téléviseurs à grand écran, les grands miroirs et les grands tableaux blancs sont des exemples de ces objets. Ces objets peuvent être la source d'une couverture non-LOS à un endroit où l'on ne s'y attend pas (derrière un mur épais, par exemple).

**Meilleure pratique :** Faites attention aux murs clairs (plaques de plâtre) et aux objets à surface plate et lisse (tableau blanc, miroirs, grands écrans de télévision) lorsque vous modélisez un lieu équipé d'un réseau d'ondes millimétriques.

### 3 COUVERTURE CHAMP D'APPLICATION LIMITATIONS

Nous pouvons maintenant résumer ce que nous avons appris à la section 2 sur la propagation des signaux et les antennes de formation de faisceaux 5G aux fréquences d'ondes millimétriques :

- La perte de propagation en ligne de mire est importante en raison de la haute fréquence.
- La perte de pénétration est élevée pour la plupart des matériaux utilisés à l'intérieur des bâtiments. Certains murs en matériaux légers peuvent laisser passer le signal Non-LOS.
- Certaines surfaces lisses réfléchissent très bien le signal des ondes millimétriques.
- La distance de Fraunhofer définit la zone d'exclusion près de l'antenne qui doit être exempte d'objets hautement réfléchissants.
- La distance de conformité aux CEM établit une autre zone d'exclusion, qui devrait être hors de portée du public.

Les deux premiers points limitent la portée de la couverture des ondes millimétriques à la ligne de visée ou à la quasi-ligne de visée uniquement. Bien que le signal puisse traverser certains murs en matériaux légers, il n'est pas judicieux de s'appuyer sur le signal NLOS pour la couverture.

Les deux derniers points, la distance de Fraunhofer et la distance de conformité aux champs électromagnétiques, doivent être calculés avant la visite du site. Le fait de les connaître à l'avance permet d'identifier les emplacements de montage potentiels. L'absence d'emplacements de montage satisfaisant aux deux exigences peut limiter l'étendue de la couverture ; il est donc nécessaire de déterminer les emplacements de montage potentiels avant de finaliser l'étendue de la couverture avec la direction du site.

Ensemble, les deux premiers et les deux derniers points réduisent la portée de la couverture aux zones où la ligne de visée est dégagée et où l'espace autour de l'antenne est suffisant. En raison de ces limitations, la meilleure pratique de conception consiste à déployer des antennes à ondes millimétriques 5G dans des lieux et/ou des points chauds de grande capacité, avec une ligne de visée dégagée et un dégagement suffisant. Les stades, les centres de conférence, les salles de bal des hôtels, les salles de conférence et les cafétérias des bureaux sont des exemples de lieux ou de points chauds adaptés aux antennes à ondes millimétriques de la 5G. La conception d'ondes millimétriques 5G pour une couverture omniprésente peut être coûteuse et n'est pas recommandée.

Le troisième point nous rappelle que les meilleures pratiques de conception doivent inclure la modélisation des objets qui reflètent très bien le signal aux fréquences d'ondes millimétriques. Dans le cas contraire, l'intensité du signal peut être sous-estimée et le rapport SINR surestimé, ce qui peut entraîner une baisse inattendue du débit de données dans les zones où la ligne de vue est dégagée et où l'on a oublié de modéliser ces objets.

Pour la bande inférieure à 6 GHz, seuls les deux derniers points s'appliquent. Connaître les zones d'exclusion basées sur la distance de Fraunhofer et la distance de rayonnement électromagnétique avant la visite du site permet d'identifier les emplacements de montage potentiels.

## 4 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté les principales différences entre les réseaux LTE et 5G. Les différences sont principalement dues à une perte de propagation plus élevée à haute fréquence et à une antenne à formation de faisceau élevée. La plupart des restrictions de conception identifiées concernent la bande d'ondes millimétriques. Les meilleures pratiques de conception des réseaux intérieurs 5G sont décrites. Compte tenu de la limitation de la portée de la bande d'ondes millimétriques, nous recommandons d'envisager le déploiement de réseaux à ondes millimétriques dans des lieux où la propagation LOS est prédominante, et dans des hotspots où la LOS est claire.

## 5 RÉFÉRENCES

- [1] <https://www.microwavejournal.com/blogs/9-pat-hindle-mwj-editor/post/34907-iphone-1212-pro-teardown-for-rf>
- [2] <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/deploying-5g-nr-mmwave-for-indoor-outdoor.pdf>
- [3] <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/home/global-networks-insight-analysis-of-mmwave-performance-0.pdf>
- [4] <https://www.everythingrf.com/community/what-are-near-field-and-far-field-regions-of-an-antenna>
- [5] "Time-averaged Realistic Maximum Power levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio base stations using Massive MIMO", IEEE Access, vol. 5, pp 19711-19719, September 18<sup>th</sup>, 2017.
- [6] EMF Radiation in Mobile Networks : a closer look at emission limits & safe distances", iBwave, juin 2020.

## À propos d'iBwave

Les solutions iBwave, la norme en matière de planification de réseaux intérieurs convergents, sont à l'origine d'une expérience sans fil exceptionnelle dans les bâtiments, permettant à des milliards d'utilisateurs finaux et d'appareils de se connecter à l'intérieur d'un large éventail de lieux. En tant que référence mondiale de l'industrie, nos solutions logicielles permettent une planification, une conception et un déploiement plus intelligents de tout projet, indépendamment de sa taille, de sa complexité ou de sa technologie. En plus d'un logiciel innovant, nous sommes reconnus pour notre support de classe mondiale dans 100 pays, la base de données de composants la plus complète de l'industrie et un programme de certification bien établi. Pour plus d'informations, visitez : [www.ibwave.com](http://www.ibwave.com).