



LIVRE BLANC

5G

L'ABÉCÉDAIRE DES

TECHNOLOGIES

Par Vladan Jevremovic, PhD et Ali
Jemmali, PhD

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCTION | 3 |
| 2 | GAMMES DE FRÉQUENCES | 3 |
| 3 | PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA 5G | 4 |
| 3.1 | NUMEROLOGIE | 4 |
| 3.2 | PARTITIONNEMENT DE LA BANDE PASSANTE | 6 |
| 3.3 | FORMATS DES SLOTS | 7 |
| 4 | SIGNAUX 5G | 8 |
| 4.1 | SIGNAUX DE RÉFÉRENCE | 8 |
| 4.1.1 | CSI-RS (CHANNEL STATE INFORMATION REFERENCE SIGNAL) | 8 |
| 4.1.2 | PDSCH DM-RS | 9 |
| 4.1.3 | PT-RS | 9 |
| 4.2 | SIGNAUX DE SYNCHRONISATION | 9 |
| 4.3 | CORESET | 10 |
| 5 | CAPACITÉS DE MESURE DE LA COUCHE PHYSIQUE | 11 |
| 5.1 | PUISSANCE REÇUE DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE SS (SS-RSRP) | 11 |
| 5.2 | PUISSANCE REÇUE DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE CSI (CSI-RSRP) | 11 |
| 5.3 | QUALITÉ DE RÉCEPTION DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE SS (SS-RSRQ) | 11 |
| 5.4 | QUALITÉ DE RÉCEPTION DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE CSI (CSI-RSRQ) | 12 |
| 5.5 | SS RAPPORT SIGNAL/BRUIT ET INTERFÉRENCE (SS-SINR) | 12 |
| 5.6 | CSI RAPPORT SIGNAL/BRUIT ET INTERFÉRENCE | 12 |
| 6 | TECHNIQUES DE FORMATION DE FAISCEAUX D'ANTENNES | 12 |
| 6.1 | PRINCIPES DE BASE DE LA FORMATION DE FAISCEAUX | 13 |
| 6.2 | FORMATION DE FAISCEAUX ANALOGIQUES | 13 |
| 6.3 | FORMATION DE FAISCEAUX NUMÉRIQUES | 14 |
| 6.4 | FORMATION HYBRIDE DE FAISCEAUX | 14 |
| 6.5 | CONCEPTION THÉORIQUE D'ANTENNES À FORMATION DE FAISCEAUX | 15 |
| 7 | CONCLUSION | 22 |
| 8 | RÉFÉRENCES | 22 |
| 9 | ANNEXE | 23 |
| | À propos d'iBwave | 25 |

1 INTRODUCTION

Les réseaux 5G, également connus sous le nom de 3GPP Release 16 (Phase 1) et Release 17 (Phase 2), promettent d'apporter de nombreuses innovations techniques dans le domaine des technologies cellulaires. Les nouveaux réseaux seront en mesure de fournir un large éventail d'applications diverses, depuis les applications asynchrones à faible débit ciblant les communications de machine à machine (M2M) et l'internet des objets, jusqu'aux applications à faible latence et à très haut débit telles que les jeux vidéo, et tout ce qu'il y a entre les deux. Contrairement à leurs prédécesseurs, les réseaux 5G seront déployés sur une large gamme de bandes de fréquences. Les fréquences inférieures à 6 GHz seront utilisées pour la couverture mobile globale à l'échelle de la ville, tandis que les fréquences d'ondes millimétriques (24 GHz et plus) sont adaptées à la couverture stationnaire opportuniste à haute capacité ciblant les zones résidentielles, les stades, les centres de congrès et les points d'accès à l'intérieur. Dans cet article, nous nous concentrons sur les caractéristiques clés de la 5G, les signaux de la 5G, les capacités de mesure de la couche 1 et les techniques de formation de faisceaux d'antennes.

2 FRÉQUENCE PLAGES

Selon [1], il existe deux gammes de fréquences :

| Frequency range designation | Corresponding frequency range |
|-----------------------------|-------------------------------|
| FR1 | 450 MHz – 6000 MHz |
| FR2 | 24250 MHz – 52600 MHz |

Tableau 1 : Gammes de fréquences pour la 5G

La bande FR1 est également connue sous le nom de sub-6GHz ; la partie de cette bande inférieure à 3 GHz est également appelée bande basse, et la partie comprise entre 3 et 6 GHz est connue sous le nom de bande moyenne. La bande inférieure à 6 GHz sera utilisée pour la couverture de l'ensemble de la ville, car les caractéristiques de propagation dans cette gamme de fréquences sont favorables à une couverture cellulaire globale.

La bande FR2 est également connue sous le nom de bande d'ondes millimétriques. Cette bande sera utilisée pour un déploiement opportuniste, afin de fournir une couverture dans les stades, les parcs publics, les arènes sportives et d'autres zones où la densité d'utilisateurs est élevée et la mobilité faible. La bande FR2 sera également utilisée comme alternative sans fil fixe à la fibre, à la fois pour l'accès à l'internet et pour la connectivité de liaison.

Les bandes sub-6GHz disponibles sont énumérées dans l'annexe A, tandis que les bandes disponibles dans la bande des ondes millimétriques sont indiquées dans le tableau 2 :

| Operating Band | Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit | Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive | Duplex Mode |
|----------------|---|---|-------------|
| | $F_{UL_low} - F_{UL_high}$ | $F_{DL_low} - F_{DL_high}$ | |
| n257 | 26500 MHz – 29500 MHz | 26500 MHz – 29500 MHz | TDD |
| n258 | 24250 MHz – 27500 MHz | 24250 MHz – 27500 MHz | TDD |
| n260 | 37000 MHz – 40000 MHz | 37000 MHz – 40000 MHz | TDD |
| n261 | 27500 MHz – 28350 MHz | 27500 MHz – 28350 MHz | TDD |

3 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE 5G

3.1 NUMEROLOGIE

La couche physique de la 5G, tout comme son prédécesseur LTE, repose sur la technologie OFDMA. En bref, la technologie OFDMA repose sur une grille temps-fréquence, également connue sous le nom de bloc de ressources, où l'unité de temps la plus courte est appelée "symbole OFDMA", et la plus petite unité de fréquence est appelée "espacement des sous-porteuses". Un bloc de ressources se compose de 14 symboles OFDMA et de 12 sous-porteuses. Nous pouvons considérer le LTE comme un "cas particulier" de la 5G en ce qui concerne l'OFDMA, il est donc logique de commencer par rappeler le fonctionnement de l'OFDMA dans le LTE. Dans le LTE, l'espacement des sous-porteuses (SCS) est de 15 kHz, ce qui signifie qu'un RB LTE a une largeur de 180 kHz. 14 symboles OFDMA constituent un intervalle de temps, d'une durée de 1 ms. Il y a 10 intervalles de temps dans une trame LTE. Ceci est illustré dans la figure 1 :

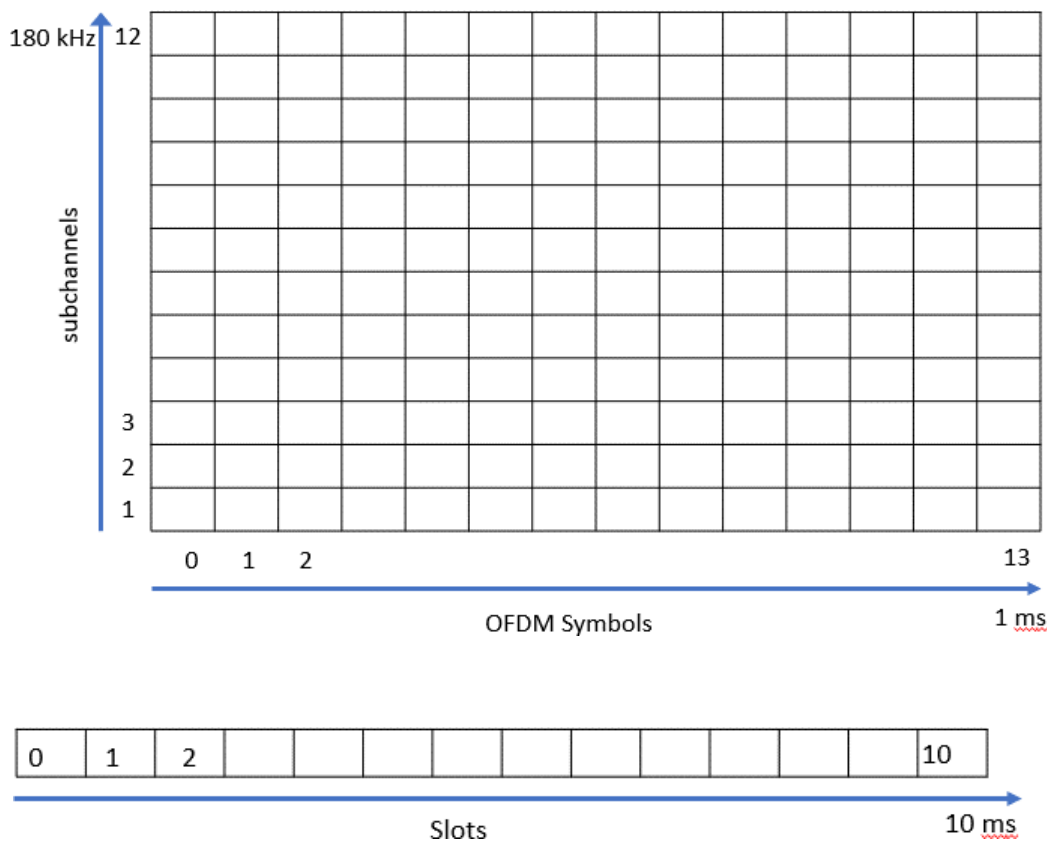


Figure 1 : Bloc de ressources LTE (a) et trame LTE (b)

Dans la 5G, le concept de "numérologie" est introduit, ce qui permet à un opérateur de choisir parmi plusieurs options SCS : 15, 30, 60, 120, 240 ou 480 kHz. La relation entre l'espacement des sous-porteuses et la durée des symboles OFDM est inversement proportionnelle ; plus l'espacement des sous-porteuses est grand, plus la durée des symboles OFDM est courte. Par conséquent, une numérologie avec un SCS plus large a des blocs de ressources plus larges en fréquence, mais plus courts en temps. Cela signifie également qu'une numérologie à numéro élevé dispose de plus d'intervalles de temps dans une trame qu'une numérologie à numéro plus bas. Ceci est illustré dans la figure 2, où un bloc de ressources avec SCS = 30 kHz ($\mu = 1$) est montré,

ainsi que le nombre d'intervalles de temps correspondant (20) dans une trame de 10 ms :

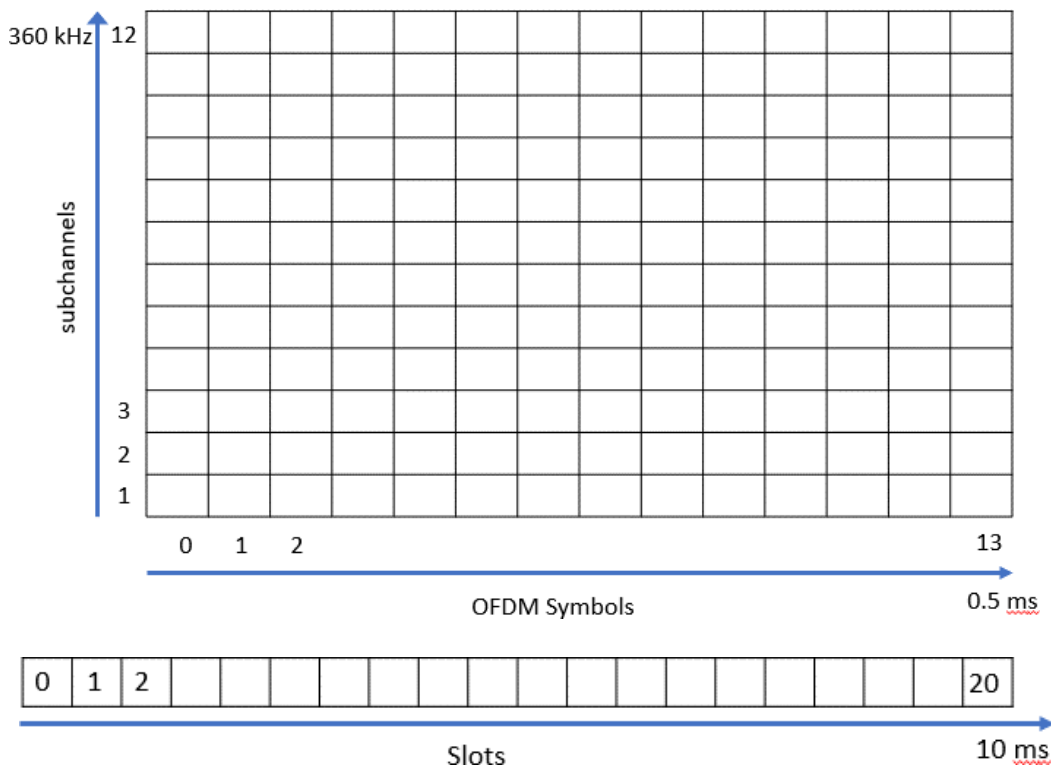


Figure 2 : Bloc de ressources avec la numérogie $\mu=1$ (a) et trame 5G (b)

En comparant les figures 1 et 2, on constate que lorsque l'espacement des sous-porteuses est doublé, le nombre de créneaux dans la trame double également. Il s'agit d'une caractéristique bien connue de la technologie OFDMA, résumée dans le tableau 1 pour les six options numérogiques :

| Numérogie μ | Sous-porteuse espacement (kHz) | Créneau durée (μ S) | Nombre d'emplacements par cadre |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 15 | 1000 | 10 |
| 1 | 30 | 500 | 20 |
| 2 | 60 | 250 | 40 |
| 3 | 120 | 125 | 80 |
| 4 | 240 | 62.5 | 160 |
| 5 | 480 | 31.25 | 320 |

Tableau 1 : Options de la numérogie 5G

Comme un espacement plus important entre les sous-porteuses occupe la largeur de bande, il y a moins de blocs de ressources par canal RF pour les options de numérogie plus élevées. Dans la gamme de fréquences 1 (FR1), qui est inférieure à 6 GHz, des SCS de 15, 30 et 60 kHz sont autorisés. Le nombre de blocs de ressources par canal RF est indiqué dans le tableau 2 :

| SCS (kHz) | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | 25 MHz | 30 MHz | 40 MHz | 50 MHz | 60 MHz | 70 MHz | 80 MHz | 90 MHz | 100 MHz |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} |
| 15 | 25 | 52 | 79 | 106 | 133 | 160 | 216 | 270 | N.A | N.A | N.A | N.A | N.A |
| 30 | 11 | 24 | 38 | 51 | 65 | 78 | 106 | 133 | 162 | 189 | 217 | 245 | 273 |
| 60 | N.A | 11 | 18 | 24 | 31 | 38 | 51 | 65 | 79 | 93 | 107 | 121 | 135 |

Tableau 2 : Nombre de RB par canal RF pour FR1 [2] Tableau 5.3.2-1

Pour FR2, qui se situe dans la gamme de fréquences des ondes millimétriques, les options SCS actuelles sont les suivantes :

| SCS (kHz) | 50MHz | 100MHz | 200MHz | 400 MHz |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} | N _{RB} |
| 60 | 66 | 132 | 264 | N.A |
| 120 | 32 | 66 | 132 | 264 |

Tableau 3 : Nombre de RB par canal RF pour FR2 [1] Tableau 5.3.2-1

3.2 BANDE PASSANTE PARTITIONNEMENT

Il existe de nombreuses options lorsqu'il s'agit de choisir un SCS, ce qui donne aux opérateurs de réseaux mobiles une certaine flexibilité lorsqu'il s'agit de configurer leurs réseaux mobiles 5G. Cette flexibilité est importante, car les applications ont des exigences diverses. L'IoT nécessite une grande densité d'utilisateurs par kilomètre carré, les jeux vidéo exigent une faible latence et le streaming vidéo UHD nécessite un débit élevé. Pour gérer ces exigences, une nouvelle fonctionnalité a été introduite : le partitionnement de la bande passante (Bandwidth Partitioning). Le partitionnement de la bande passante (BP) nous permet d'attribuer différentes numérolgies au sein d'un même canal RF. Pour ce faire, pour chaque partition au sein d'un canal RF, nous devons spécifier le nombre de RB au sein de la partition, le SCS pour cette partition et le CORESET.

La figure 3 donne un exemple de partitionnement d'un canal RF FDD de 20 MHz en trois parties de largeur de bande. La partie de largeur de bande 1 a une SCS = 15 kHz et 40 blocs de ressources (7,2 MHz), la partie de largeur de bande 2 a une SCS = 30 kHz et 10 blocs de ressources (3,6 MHz), et la partie de largeur de bande 3 a une SCS = 60 kHz et 10 blocs de ressources (7,2 MHz).

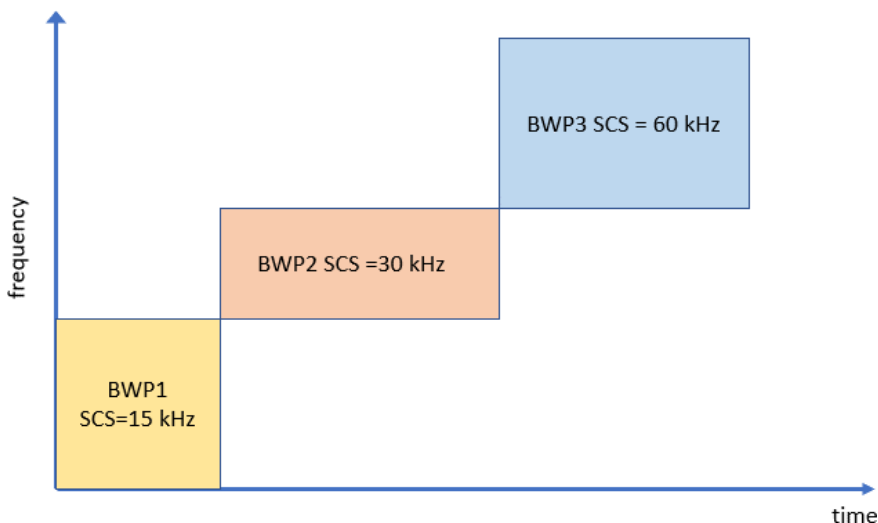


Figure 3 : Exemple de partitionnement d'un canal RF en parties de bande passante

Les parties de la largeur de bande ne doivent pas nécessairement être transmises de manière séquentielle, ni avoir la même durée. Lors de la définition des différentes parties de la bande passante, la numérotation des blocs de ressources au sein de chaque BP commence toujours par zéro. Par exemple, dans le BWP2 ci-dessus, les RB sont numérotés en commençant par 0, c'est-à-dire que le premier RB du BWP2 est RB0 et le dernier RB9, puisque le BWP2 compte 10 RB.

La largeur de bande de chaque BWP doit être égale ou supérieure à la largeur de bande du bloc du signal de synchronisation (SS), mais elle peut ou non contenir le bloc SS. Sur la liaison descendante, une seule partie de la largeur de bande peut être active à un moment donné. L'UE n'est pas censé recevoir de PDSCH, PDCCH, CSI-RS sur la liaison descendante, et de PUSCH ou PUCCH sur la liaison montante en dehors d'une partie de largeur de bande active. Chaque partie de la largeur de bande comprend au moins un CORESET avec un espace de recherche spécifique à l'UE (USS).

3.3 SLOT FORMATS

Un opérateur de réseau mobile LTE qui possède un spectre non apparié (TDD) dispose de 7 options prédéterminées lorsqu'il s'agit d'attribuer des créneaux LTE au trafic en liaison montante et descendante. Le nombre de créneaux pour la liaison descendante est d'au moins 2 et d'au plus 7, tandis que le nombre de créneaux pour la liaison montante est d'au moins 1 et d'au plus 6. Les créneaux tampons sont situés entre les créneaux UL et DL et permettent, entre autres, d'assurer une période de garde entre les transmissions opposées.

La 5G offre encore plus de flexibilité lorsqu'il s'agit de spécifier la transmission UL et DL. Un opérateur peut spécifier la périodicité de la transmission, qui peut prendre des valeurs de 0,5 ms, 0,625 ms, 2,5 ms, 5 ms et 10 ms. Dans la périodicité spécifiée, il n'y a qu'un seul changement de direction de transmission, de DL à UL ; il n'y a donc qu'un seul créneau tampon. Le nombre de créneaux DL consécutifs et le nombre de créneaux UL consécutifs dans la période d'émission sont également spécifiés. La configuration du créneau tampon est également spécifiée, via le nombre de symboles DL consécutifs, de symboles UL consécutifs et de symboles OFDM vierges entre les deux. Les options de configuration des créneaux sont indiquées dans le tableau 2 de l'annexe.

Voici un exemple de configuration du spectre TDD 5G. Supposons un BWP avec SCS = 30 kHz et une périodicité de transmission de 5 ms. Puisque la numérogie SCS = 30 kHz comporte 20 créneaux dans une trame de 10 ms, il y a donc 10 créneaux dans la périodicité de transmission de 5 ms. Attribuons 6 créneaux à DL. Ces créneaux DL ont la configuration de format 0 du tableau 2 de l'annexe. Attribuons 3 créneaux à UL. Ces créneaux ont la configuration Format 1 du même tableau. Pour l'emplacement tampon au milieu, choisissons le format 27, où les trois premiers symboles de cet emplacement sont DL, les trois derniers sont UL, et les symboles flexibles sont des symboles vierges, pour servir de garde entre DL et UL. C'est ce que montre la figure 4.

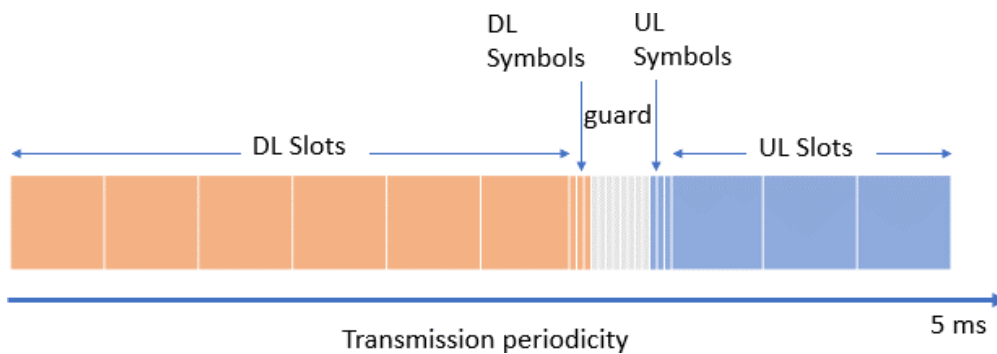


Figure 4 : Exemple de configuration TDD UL/DL

Chaque périodicité commence par des créneaux DL et se termine par des créneaux UL.

4 5G SIGNAUX

Cette section traite des signaux de référence, des signaux de synchronisation et des signaux CORESET.

4.1 RÉFÉRENCE SIGNAUX

De nombreux types de signaux de référence sont utilisés dans la 5G. Cependant, la 5G n'a pas de signal de référence spécifique à la cellule. En revanche, le signal de référence de démodulation (DMRS) est utilisé pour la démodulation des signaux PDSCH, PDCCH et PBCH. Les signaux de référence utilisés dans la 5G sont les suivants :

- CSI-RS, utilisé pour l'acquisition du CSI et la gestion des faisceaux
- PDSCH DMRS utilisé pour la démodulation PDSCH
- PDCCH DMRS utilisé pour la démodulation du PDCCH
- PBCH DMRS utilisé pour la démodulation PBCH
- PT-RS utilisé pour la poursuite de phase pour PDSCH
- Signal de référence de suivi utilisé pour le suivi du temps

4.1.1 CSI-RS (CHANNEL STATE INFORMATION REFERENCE SIGNAL)

CSI-RS (Channel State Information Reference Signal) est un nouveau signal dans la 5G. La puissance d'émission de ce signal doit être définie séparément de la puissance d'émission du DM-RS.

Les éléments de ressource CSI-RS sont transmis dans les mêmes symboles OFDM que les PDSCH. Le CSI-RS est spécifié comme suit :

- Dans le domaine des fréquences, le CSI-RS peut avoir deux ou quatre RE par symbole OFDM.
- Dans le domaine temporel, le CSI-RS peut être envoyé sur 1, 2 ou 4 symboles OFDM.
- CSI-RS peut être envoyé sur un ou deux slots dans une trame.
- Répétition CSI, définie par une périodicité de 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 et 640 slots. [2]
Tableau 7.4.1.5.2-6

- L'emplacement du CSI-RS dans un créneau est indiqué dans [2] le tableau 7.4.1.5.2-1.

4.1.2 PDSCH DM- RS

Le DM-RS dans le PDSCH est défini comme suit

- DM-RS longueur maximale, symbole simple ou double.
- Type de configuration, Type 1 ou Type 2.
- Mappage PDSCH, type A ou B

Pour chaque type de mappage PDSCH, le nombre et les positions de symbole du DM-RS dans une grille de ressources de 12 sous-porteuses et 14 symboles sont également configurés par un paramètre *DL-DMRS-add-pos*.

Les spécifications détaillées du DM-RS PDSCH figurent dans [3], section 7.4.1.1.

4.1.3 PT- RS

Le PT-RS est envoyé dans le même RB que le DM-RS dans le PDSCH. Les paramètres définis par l'utilisateur pour le PT-RS sont les suivants

- Densité de temps, L_PTRS (1, 2 ou 4)
- DM-DMRS-add-pos (0, 1, 2, 3)
- Densité de fréquence, K_PTRS (2, 4)

Les spécifications détaillées de PT-RS sont énumérées dans [3], section 7.4.1.2.

4.2 SYNCHRONISATION SIGNAUX

Dans NR, les signaux de synchronisation (SS) et le canal de diffusion physique (PBCH) sont regroupés en un bloc, et ils sont mappés à la grille de ressources NR en tant que bloc SS. Les composants du bloc de signaux de synchronisation sont les suivants :

Signaux de synchronisation

- Signal de synchronisation primaire (PSS)
- Signal de synchronisation secondaire (SSS)

Canal physique de radiodiffusion (PBCH)

- PBCH DMRS
- Données PBCH

Dans le domaine des fréquences, le bloc SS/PBCH occupe 240 sous-porteuses contiguës (RE), ce qui équivaut à 20 RB. Dans le domaine temporel, le bloc SS/PBCH réside dans 4 symboles OFDM consécutifs. La figure suivante illustre l'attribution du bloc SS/PBCH dans le domaine temps-fréquence :

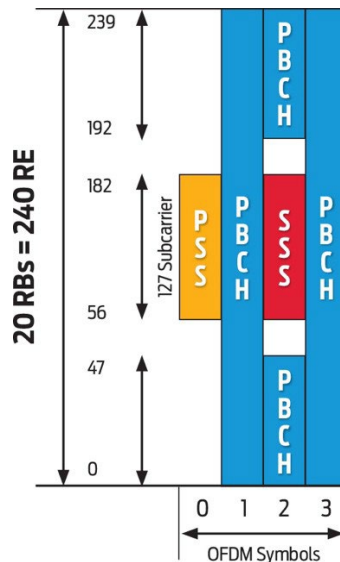


Figure 5 : Bloc SS/PBCH

Le schéma ou la répétition de la transmission du bloc SS/PBCH dans le domaine temporel peut être spécifié comme une fois toutes les 5, 10, 20, 40, 80 ou 160 ms. Dans le domaine temporel [4], la section 4.1 spécifie le numéro et les indices du premier symbole pour le bloc SS/PBCH et cinq cas différents ont été définis et numérotés comme les cas A à C pour FR1 et D et E pour FR2.

4.3 CORESET

CORESET est un nouveau nom pour les éléments de ressource PDCCH. Contrairement au LTE, le PDCCH n'est pas transmis sur l'ensemble de la bande de fréquences ; au lieu de cela, une plus petite partie de la bande, en termes de fréquence et de temps, est définie pour le signal PDCCH. Le reste des éléments de ressource dans les mêmes symboles où le PDCCH est transmis peut être utilisé pour les éléments de ressource PDSCH. Cela permet de réduire les frais généraux.

Les paramètres définis par l'utilisateur pour CORESET sont les suivants :

- Nombre de symboles OFDM consécutifs, durée CORESET, m ($m=1, 2$ ou 3)
- Nombre de fois où CORESET est transmis dans un slot (doit être inférieur à $m/14$)
- Nombre d'emplacements CORESET par trame (doit être inférieur au nombre maximal d'emplacements par trame)
- Nombre de REG alloués par symbole CORESET. REG correspond à 12 éléments de ressources dans un symbole, et le nombre de REG doit être un multiple de 6.

5 MESURE DE LA COUCHE PHYSIQUE CAPACITÉS

Dans le LTE, il n'y a que 4 mesures principales de la couche physique communiquées à l'échelon supérieur : RSRP, RSRQ, RS-SINR et RSSI. Les trois premières sont liées au signal de référence (RS) et à sa puissance reçue, à la qualité du signal et au rapport signal/interférence/bruit mesuré dans un canal LTE.

Dans la 5G, nous appliquons le même concept d'intensité du signal, de qualité du signal et de SINR à deux signaux : Le signal de synchronisation (SS) et l'information sur l'état du canal (CSI), car tous deux portent leurs propres signaux de référence. Nous les énumérons ici, avec la définition associée conformément à [5].

5.1 PUISSANCE REÇUE DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE SS (SS- RSRP)

La puissance reçue du signal de référence SS (SS-RSRP) est définie comme la moyenne linéaire des contributions de puissance (en W) des éléments de ressource qui transportent des signaux de synchronisation secondaires (SS). Les ressources temporelles de mesure pour SS-RSRP sont limitées au bloc SS/PBCH. Le SS-RSRP ne doit être mesuré que parmi les signaux de référence correspondant à des blocs SS/PBCH ayant le même indice de bloc SS/PBCH et la même identité de cellule de la couche physique.

Pour la gamme de fréquences 1, le point de référence pour le SS-RSRP est le connecteur d'antenne de l'UE. Pour la gamme de fréquences 2, le SS-RSRP est mesuré sur la base du signal combiné des éléments d'antenne correspondant à une branche de récepteur donnée. Si la diversité des récepteurs est utilisée par l'UE pour l'une ou l'autre gamme de fréquences, la valeur SS-RSRP rapportée ne doit pas être inférieure à la valeur SS-RSRP correspondante de l'une ou l'autre des branches du récepteur.

5.2 PUISSANCE REÇUE DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE CSI (CSI- RSRP)

La puissance reçue par le signal de référence CSI (CSI-RSRP) est définie comme la moyenne linéaire des contributions en puissance (en W) des éléments de ressource qui transportent les signaux de référence CSI configurés pour les mesures RSRP dans la largeur de bande de mesure considérée, dans les occasions CSI-RS configurées.

Pour la gamme de fréquences 1, le point de référence pour le CSI-RSRP est le connecteur d'antenne de l'UE. Pour la gamme de fréquences 2, le CSI-RSRP est mesuré sur la base du signal combiné des éléments d'antenne correspondant à une branche de récepteur donnée. Si la diversité des récepteurs est utilisée par l'UE pour l'une ou l'autre des gammes de fréquences, la valeur CSI-RSRP rapportée ne doit pas être inférieure à la valeur CSI-RSRP correspondante de l'une ou l'autre des branches du récepteur.

5.3 QUALITÉ DE RÉCEPTION DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE SS (SS- RSRQ)

La qualité du signal de référence du signal de synchronisation secondaire reçu (SS-RSRQ) est définie comme le rapport de N fois le SS-RSRQ au RSSI de la porteuse NR, où N est le nombre de blocs de ressources dans la largeur de bande de mesure du RSSI de la porteuse NR. Les mesures du numérateur et du dénominateur doivent être effectuées sur le même ensemble de blocs de ressources.

L'indicateur de puissance du signal reçu de la porteuse NR (RSSI de la porteuse NR) comprend la moyenne linéaire de la puissance totale reçue (en W) observée uniquement dans certains symboles OFDM des ressources temporelles de mesure, dans l'unité de mesure de la porteuse NR.

La largeur de bande de mesure, sur un nombre N de blocs de ressources provenant de toutes les sources, y compris les cellules de service et de non-service dans le même canal, les interférences dans le canal adjacent, le bruit thermique, etc. Les ressources temporelles de mesure sont limitées à la durée de la fenêtre de configuration du temps de mesure du bloc SS/PBCH.

5.4 QUALITÉ DE RÉCEPTION DU SIGNAL DE RÉFÉRENCE CSI (CSI- RSRQ)

La qualité du signal de référence CSI (CSI-RSRQ) est définie comme le rapport entre N fois CSI-RSRP et CSI-RSSI, où N est le nombre de blocs de ressources dans la largeur de bande de mesure CSI-RSSI. Les mesures au numérateur et au dénominateur doivent être effectuées sur le même ensemble de blocs de ressources.

L'indicateur de puissance du signal reçu CSI (CSI-RSSI) comprend la moyenne linéaire de la puissance totale reçue (en W) observée uniquement dans les symboles OFDM des ressources temporelles de mesure. Dans la largeur de bande de mesure, sur un nombre N de blocs de ressources provenant de toutes les sources, y compris les cellules desservant et ne desservant pas le même canal, les interférences dans le canal adjacent, le bruit thermique, etc. Les ressources temporelles de mesure pour CSI-RSSI correspondent aux symboles OFDM contenant des occasions CSI-RS.

5.5 SS RAPPORT SIGNAL/BRUIT ET INTERFÉRENCE (SS- SINR)

Le rapport signal/bruit et interférence SS (SS-SINR) est défini comme la moyenne linéaire de la contribution en puissance des éléments de ressources transportant des signaux de synchronisation secondaires divisée par la moyenne linéaire de la contribution en puissance du bruit et de l'interférence (en W) sur les éléments de ressources transportant des signaux de synchronisation secondaires dans la même largeur de bande de fréquence. Les ressources temporelles de mesure pour SS-SINR sont limitées à la durée de la fenêtre de configuration du temps de mesure du bloc SS/PBCH.

Pour la détermination du SS-SINR, on peut utiliser des signaux de référence de démodulation pour le canal physique de diffusion (PBCH) en plus des signaux de synchronisation secondaires.

5.6 CSI RAPPORT SIGNAL/BRUIT ET INTERFÉRENCE

Le rapport signal/bruit et interférence CSI (CSI-SINR) est défini comme la moyenne linéaire de la contribution en puissance (en W) des éléments de ressources transportant les signaux de référence CSI divisée par la moyenne linéaire de la contribution en puissance du bruit et de l'interférence (en W) des éléments de ressources transportant les signaux de référence CSI dans la même largeur de bande de fréquence.

6 FORMATION DE FAISCEAUX D'ANTENNES TECHNIQUES

Les systèmes de communication sans fil traditionnels utilisent une antenne au niveau de l'émetteur et une antenne au niveau du récepteur. L'évolution de la théorie de l'information a permis d'utiliser plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur afin d'améliorer l'efficacité spectrale du système de communication sans fil ; ce système est bien connu sous le nom de système de communication sans fil MIMO. Dans les systèmes MIMO, le nombre d'éléments d'antenne dépend généralement du nombre de couches spatiales (flux). Par exemple, un système MIMO 4X2 en LTE nécessiterait 4 antennes d'émission au niveau des stations de base et 2 antennes de réception au niveau de l'appareil de l'utilisateur final.

Dans la communication sans fil 5G, on utilise des réseaux d'antennes à formation de faisceau et à orientation de faisceau. La formation de faisceau fait référence à la formation de base d'un faisceau à partir d'un ensemble d'éléments d'antenne (réseau d'antennes).

La direction du faisceau de signaux peut être contrôlée en fonction de l'espacement des antennes et de la phase et de l'amplitude de chaque élément d'antenne. L'orientation du faisceau pousse le concept de formation du faisceau un peu plus loin en permettant au faisceau de changer de direction de manière dynamique. Ceci peut être réalisé en changeant la phase et l'amplitude de chaque élément d'antenne en temps réel, ce qui est fait par le logiciel.

6.1 PRINCIPES DE BASE DE LA FORMATION DE FAISCEAUX

Comme indiqué ci-dessus, l'antenne à formation de faisceau se compose d'éléments d'antenne. La configuration de base d'un tel système d'antenne est le célèbre réseau d'antennes linéaires uniformes (ULAA), dans lequel tous les éléments sont positionnés en ligne droite avec une distance d'antenne uniforme entre les éléments (voir la figure).

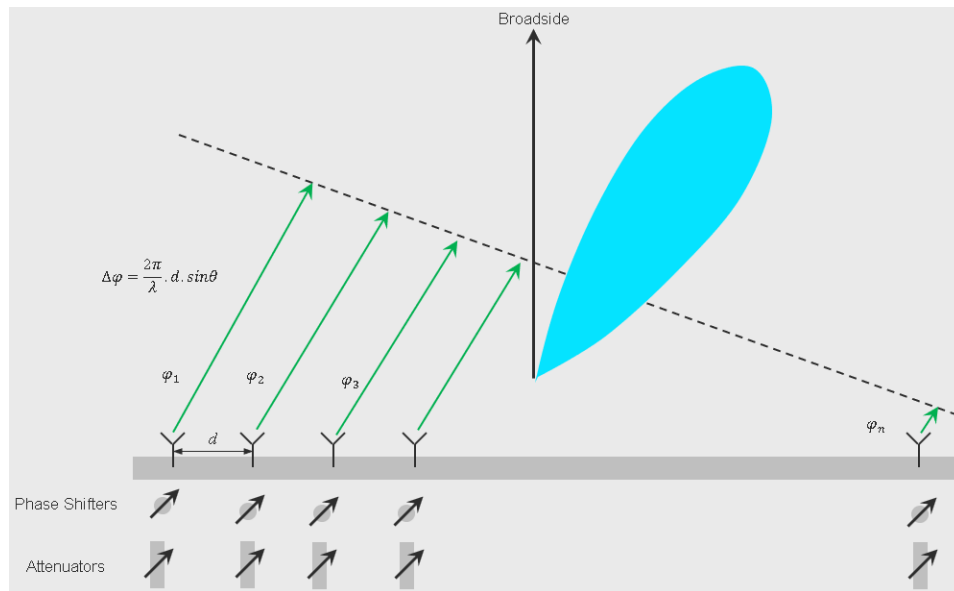


Figure 6 : Réseau d'antennes linéaires uniformes

En fonction de la mise en œuvre, trois architectures de formation de faisceaux différentes sont possibles :

- Formation de faisceaux analogiques
- Formation de faisceaux numériques
- Formation hybride de faisceaux

6.2 ANALOGIQUE BEAMFORMING

Dans l'architecture analogique de formation de faisceau, le signal en bande de base est d'abord modulé et converti en fréquence RF, puis amplifié et réparti entre les antennes du réseau. Chaque antenne possède son propre déphaseur et son propre atténuateur d'amplitude. Dans cette architecture, le processus des déphaseurs et des atténuateurs d'amplitude est appliqué dans le domaine analogique du signal RF. L'architecture analogique est simple et nécessite un minimum de matériel. Elle est considérée comme la solution la plus rentable pour construire un réseau d'antennes à formation de faisceaux. L'inconvénient, cependant, est qu'il n'est possible de générer qu'un seul flux de signaux et qu'un seul faisceau à la fois. Le principe de base est illustré dans la figure suivante :

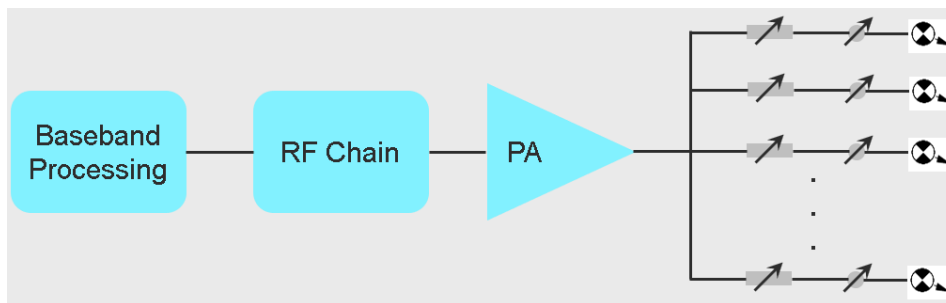


Figure 7 : Architecture de formation de faisceau analogique

6.3 NUMÉRIQUE FORMATION DE FAISCEAUX

Le processus des déphaseurs et des atténuateurs d'amplitude est appliqué dans le domaine numérique du signal transmis. Le flux de signaux numériques est divisé en plusieurs flux numériques, un flux pour une antenne. Ensuite, chaque flux numérique individuel se voit attribuer un déphasage et une amplitude uniques dans le domaine numérique. Un amplificateur de puissance individuel est alors nécessaire pour chaque flux numérique avant d'alimenter les éléments de l'antenne.

L'avantage de cette architecture est que des faisceaux étroits simultanés sont générés et que chaque faisceau a un signal unique. Nous pouvons donc desservir simultanément autant d'utilisateurs qu'il y a d'antennes dans le réseau d'antennes numériques. L'inconvénient, cependant, est la complexité du matériel et l'augmentation du coût de mise en œuvre. Le principe de base de l'architecture de formation de faisceaux numériques est illustré dans la figure suivante :

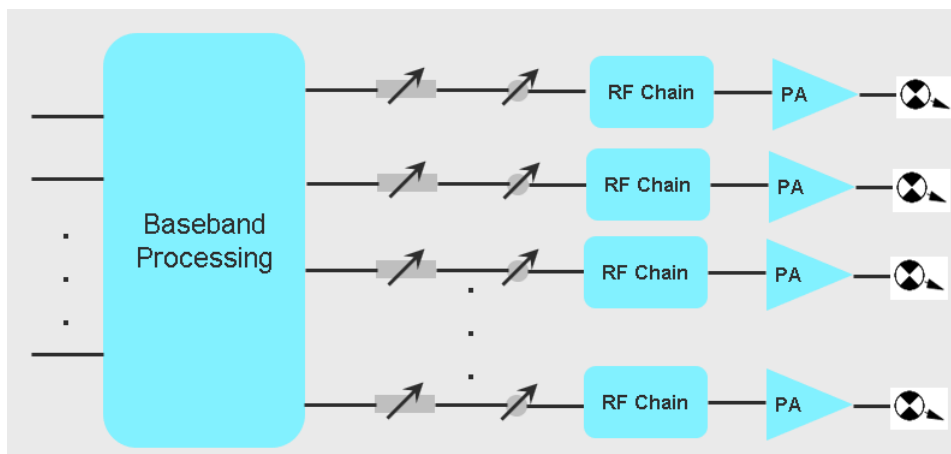


Figure 8 : Architecture de formation de faisceau numérique

6.4 HYBRIDES BEAMFORMING

Chacune des deux architectures de formation de faisceaux présente ses propres avantages et inconvénients. Une troisième option, qui combine les deux méthodes, est largement utilisée et est connue sous le nom de formation de faisceau hybride. Dans cette approche hybride, un nombre limité de flux numériques alimente plusieurs formateurs de faisceaux analogiques. Ce schéma offre un compromis entre la complexité de la mise en œuvre, le coût et la flexibilité. L'architecture hybride est illustrée dans la figure suivante :

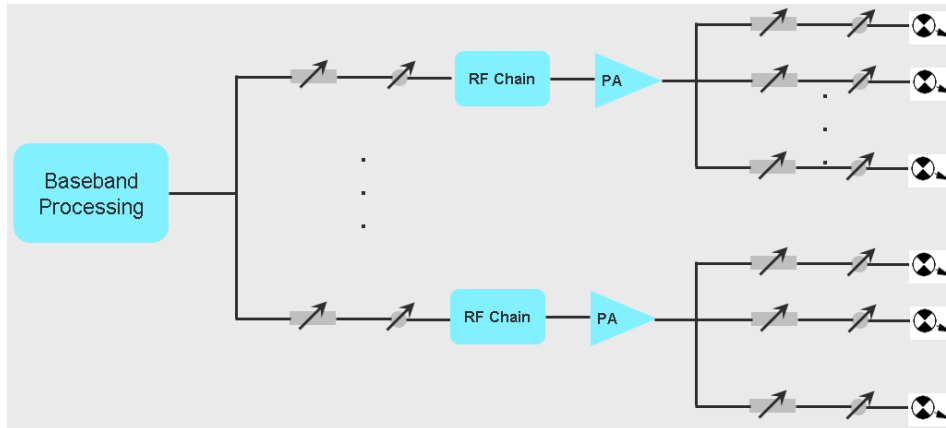


Figure 9 : Architecture hybride de formation de faisceaux

6.5 CONCEPTION THÉORIQUE D'ANTENNES À FORMATION DE FAISCEAU

La théorie des réseaux d'antennes permet de simuler et de concevoir des antennes à formation de faisceaux. Une configuration de réseau d'antennes très répandue est le réseau d'antennes rectangulaires uniformes, dans lequel les éléments d'antenne sont placés sur un axe orthogonal formant une forme rectangulaire. Ce type de géométrie d'antenne est caractérisé par le nombre d'éléments dans les axes horizontaux et verticaux. Par exemple, un réseau d'antennes 8X8 aura un total de 64 éléments d'antenne et un réseau d'antennes 16X16 aura un total de 256 éléments d'antenne. La géométrie des réseaux des deux exemples d'antennes est illustrée dans la figure suivante.

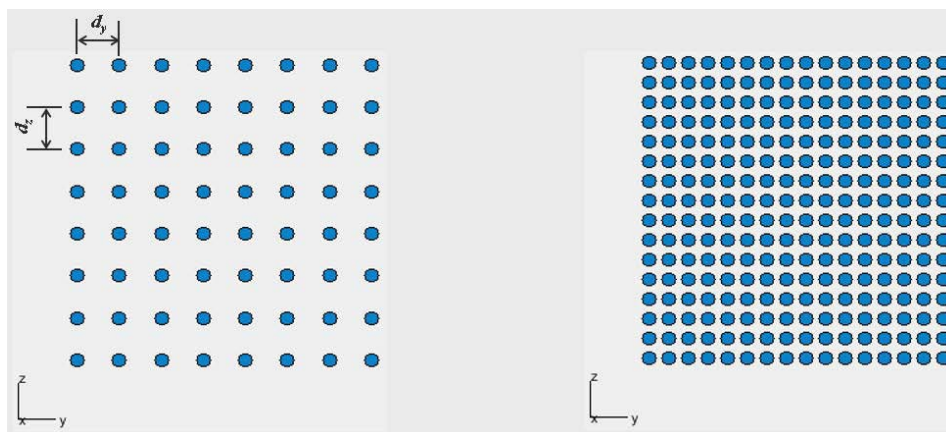


Figure 10 : Architecture de formation de faisceaux rectangulaires uniformes

Le rayonnement théorique, tant horizontal que vertical, dépend de la séparation de l'antenne.

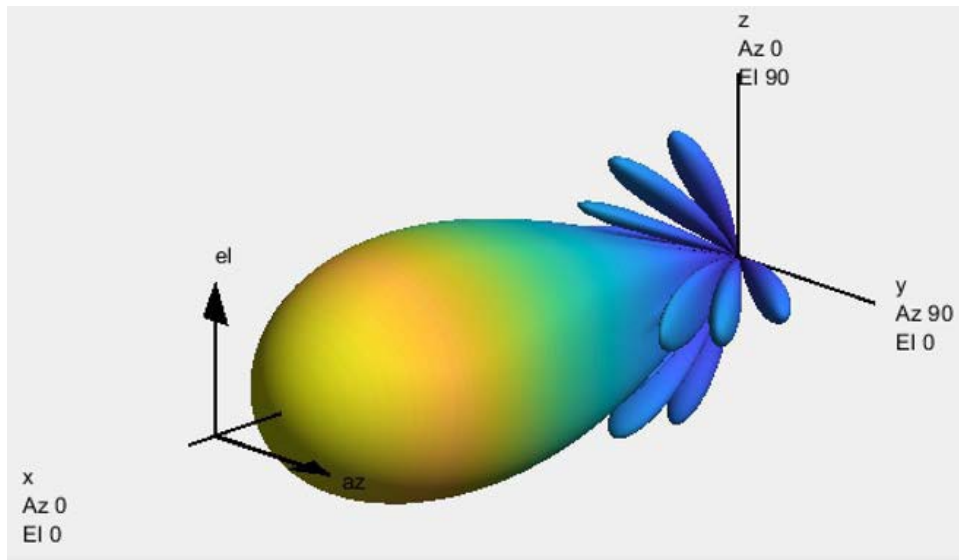


Figure 11 : Diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes rectangulaires uniformes 8X8 avec un espacement entre les antennes $\Delta x = \Delta y = \lambda/2$ à 28GHz

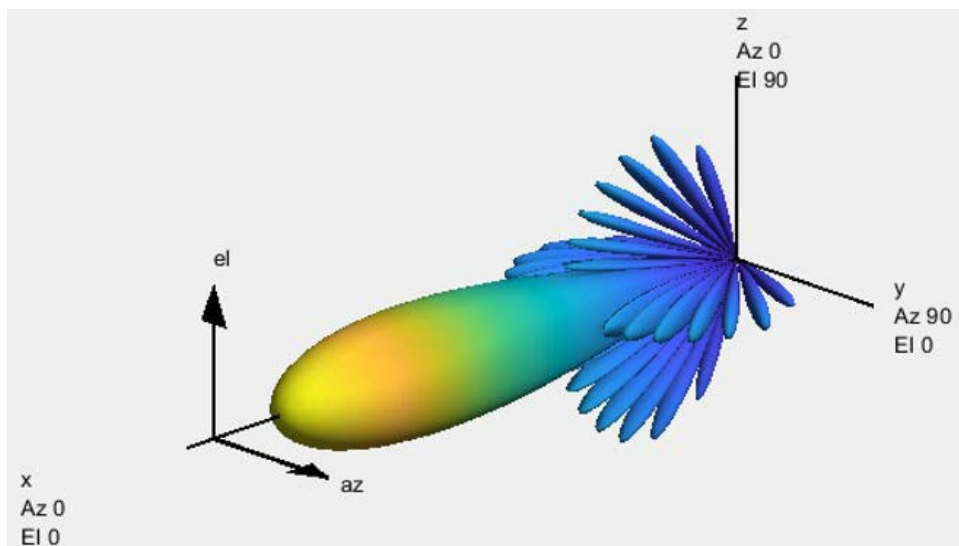


Figure 12 : Diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes rectangulaires uniformes 16X16 avec $\Delta x = \Delta y = \lambda/2$ à 28GHz

Il ressort de ce qui précède que plus le nombre d'éléments d'antenne augmente, plus le faisceau est étroit et plus le nombre de lobes latéraux augmente. Avec le réseau d'antennes 8X8, la largeur du faisceau horizontal est de 16°, tandis que pour le réseau 16X16, la largeur du faisceau horizontal est de 8°. La largeur du faisceau vertical est la même, car les deux réseaux ont le même nombre d'éléments dans les directions x et y. Si l'on veut concevoir une antenne avec une largeur de faisceau différente dans les deux plans, le nombre d'antennes dans les directions x et y doit être différent. Par exemple, si nous voulons concevoir une antenne avec une largeur de faisceau plus importante dans le plan horizontal que dans le plan vertical, le nombre d'éléments dans le plan horizontal doit être inférieur au nombre d'éléments dans le plan vertical.

Dans un réseau sans fil traditionnel, les antennes de la station de base sont utilisées pour couvrir une zone spécifique. C'est ce qu'on appelle la "sectorisation". En général, la zone de couverture de 360° est divisée en 3 secteurs différents de 120° chacun.

Grâce à des réseaux d'antennes multiples, le secteur 120° peut être couvert par différents faisceaux étroits. Par exemple, le secteur 120° peut être couvert par 7 faisceaux étroits (16° chacun) comme le montre la figure suivante :

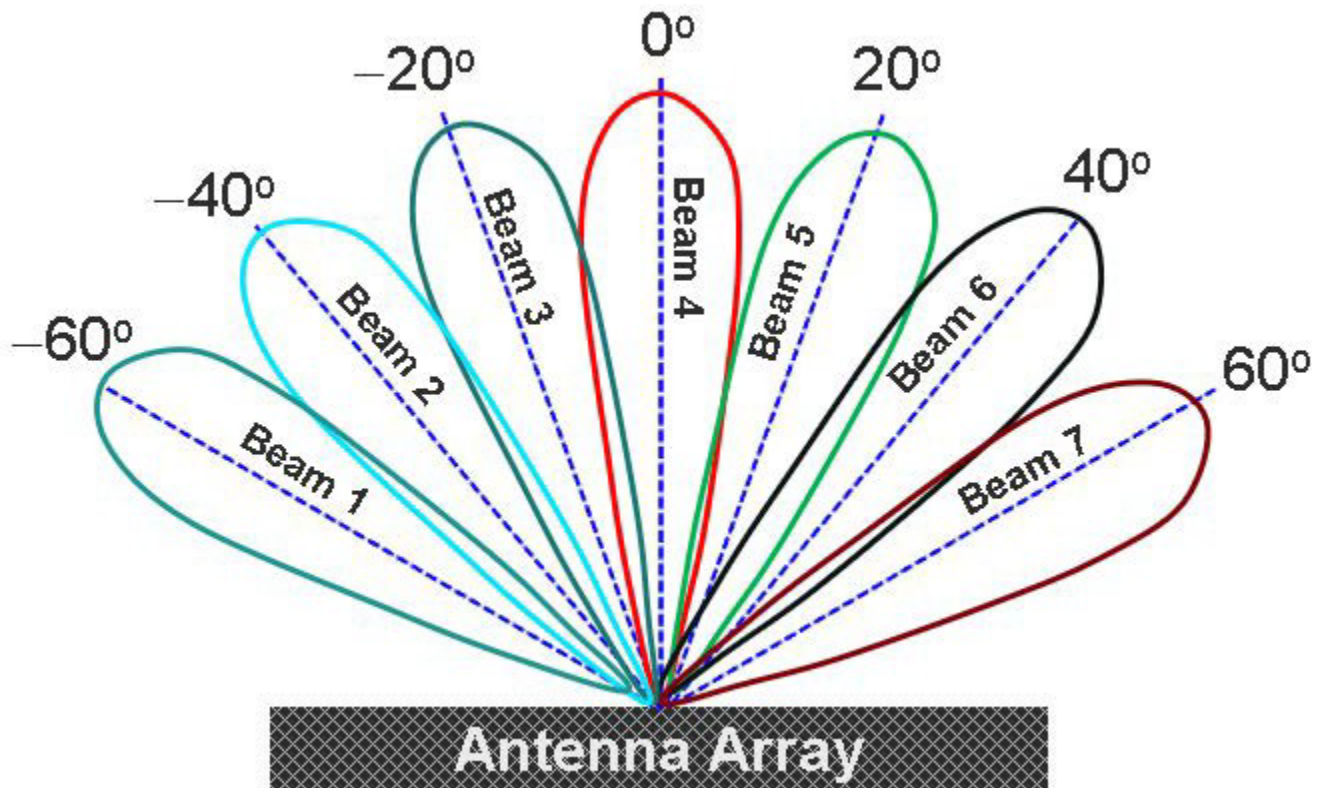


Figure 13 : Un secteur de 120° avec 7 antennes à faisceau étroit (16° chacune)

Ces 7 faisceaux couvrent 120° dans le plan horizontal. Si 80° doivent être couverts dans le plan vertical, il faut utiliser cinq rangées d'antennes à faisceau de 16°. Par conséquent, pour couvrir les 120° degrés dans le plan horizontal et 80° dans le plan vertical, nous avons besoin de $7 \times 5 = 35$ faisceaux. Voici à quoi ressemble un réseau d'antennes rectangulaires uniformes 8x8 générique dans iBwave Design :

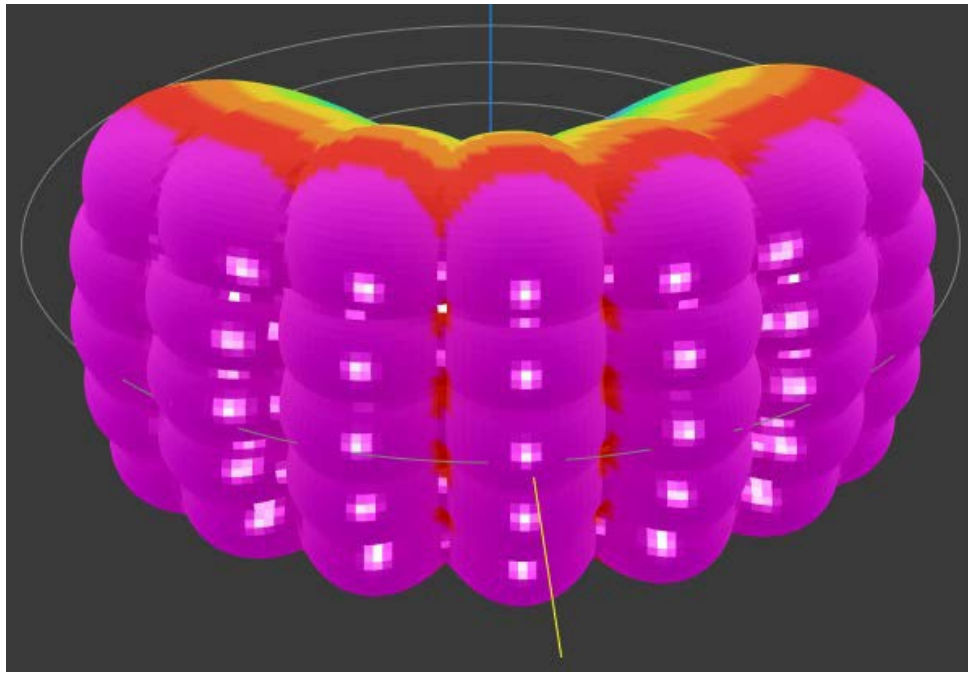


Figure 14 : ULAA générique 8X8 avec 35 poutres

Pour le réseau 16X16, la largeur du faisceau est de 8° et 13 faisceaux sont nécessaires dans le plan horizontal. Pour un plan vertical de 40° , nous avons besoin de 5 rangées de faisceaux. Au total, il faut $5 \times 13 = 65$ faisceaux pour couvrir le secteur avec 120° dans le plan horizontal et 40° dans le plan vertical :

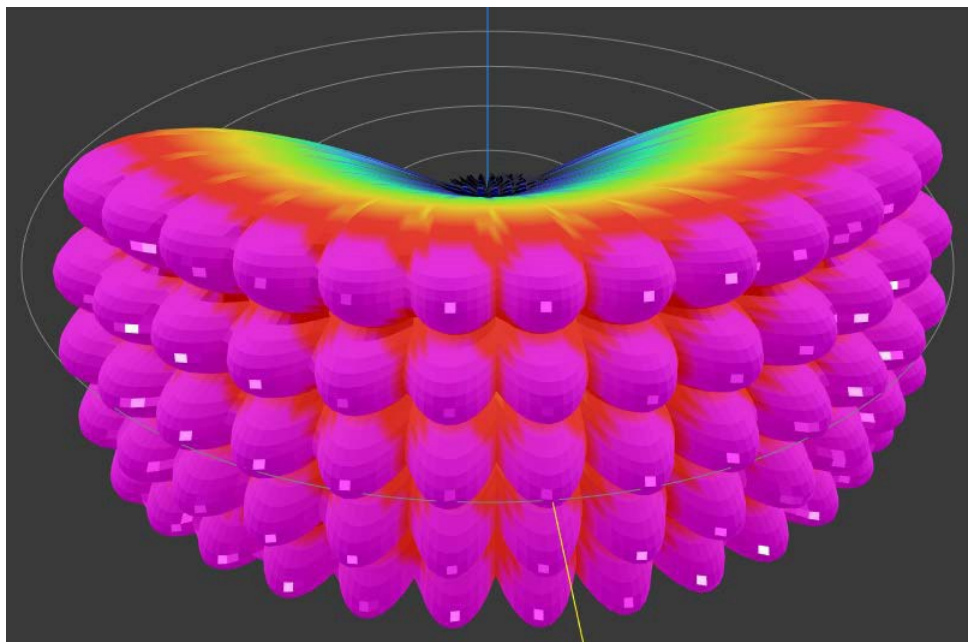


Figure 15 : ULAA générique 16X16 avec 65 faisceaux

Dans un réseau analogique, un seul faisceau peut être généré à la fois. Par conséquent, une prévision de couverture montre un faisceau à la fois. Par exemple, la prédiction pour le faisceau à 0° plan horizontal et 0° plan vertical, se présenterait comme suit :

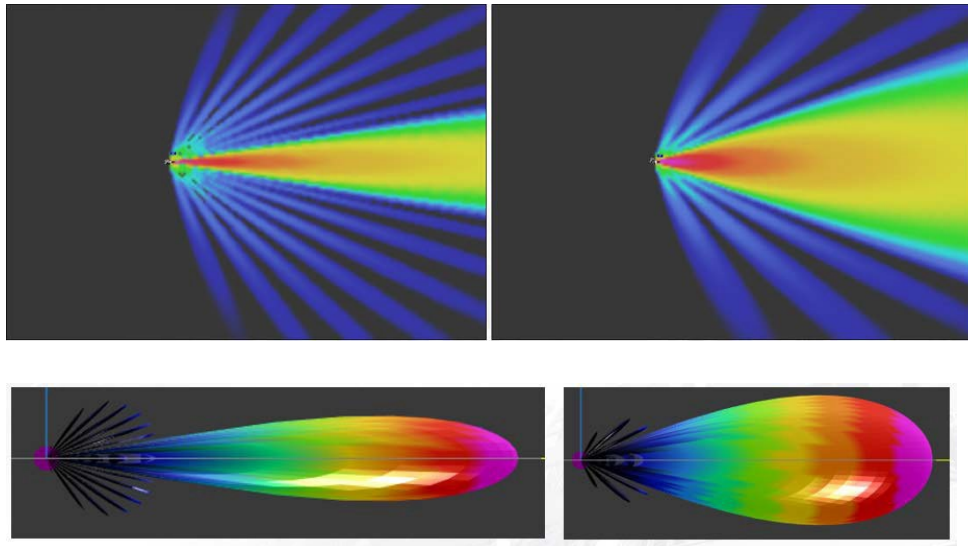


Figure 16 : Couverture d'un faisceau unique pour les ULA génériques 16x16 et 8x8

Cependant, l'exécution de la prédiction séparément pour chaque faisceau ne nous permet pas de voir la prédiction globale pour tous les faisceaux. Pour voir la couverture globale, le faisceau combiné peut être généré sur la base de tous les faisceaux disponibles, ce qui nous donne la couverture du secteur combiné :

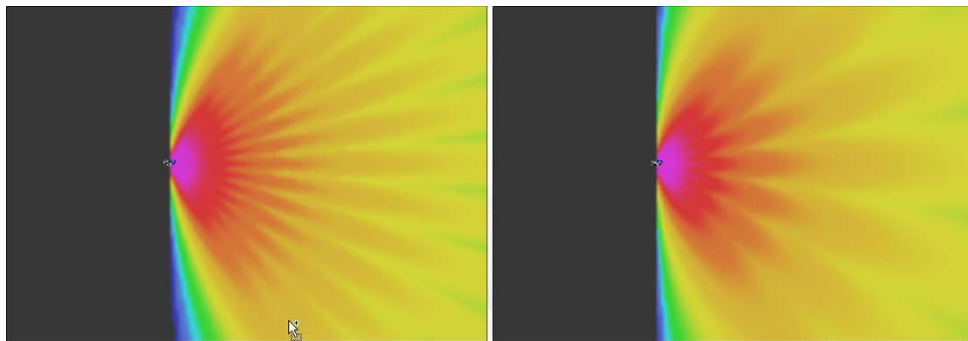


Figure 17 : Couverture sectorielle combinée avec tous les faisceaux pour 16x16 et 8x8 ULA

Jusqu'à présent, la configuration présentée est une configuration SISO, car un seul faisceau est formé dans un secteur. Dans la configuration 2X2 MIMO, deux signaux sont envoyés par les deux antennes MIMO. Il y a deux façons de concevoir un réseau d'antennes MIMO 2x2 : en colocalisant deux antennes de polarisation différente (antennes à polarisation croisée), ou en séparant les antennes à polarisation linéaire à une certaine distance l'une de l'autre. La première solution est plus pratique, car elle permet d'économiser de l'espace. Un exemple de réseau d'antennes 8x8 avec des antennes à polarisation croisée à chaque emplacement est illustré ci-dessous :

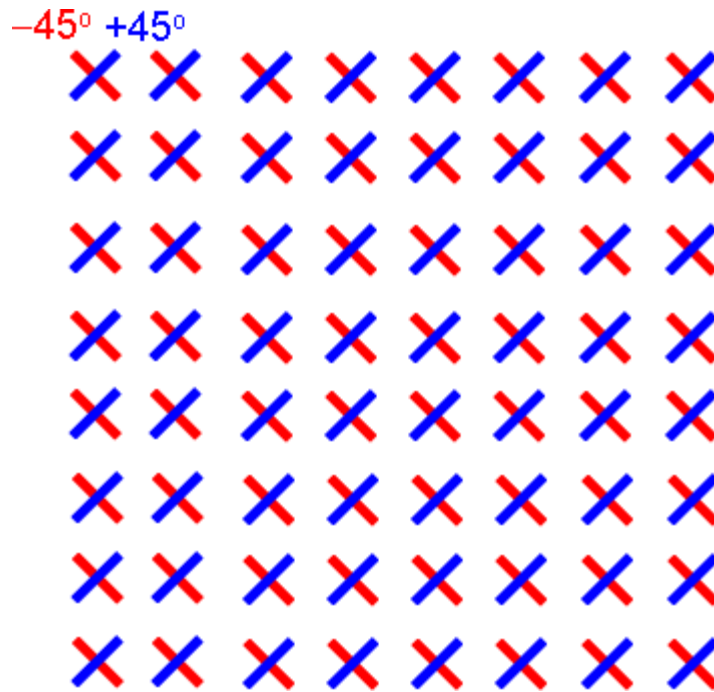


Figure 18 : Réseau d'antennes à polarisation croisée 8x8x2

L'utilisation d'un réseau d'antennes présente un double avantage. Un gain élevé améliore la portée du signal. Le faisceau étroit permet de réduire les interférences provenant des secteurs non desservis, car la probabilité que le secteur voisin émette en même temps dans la même direction que le secteur desservi est réduite par rapport au cas de la sectorisation classique avec des antennes à faisceau large. Ceci est illustré dans la figure ci-dessous :

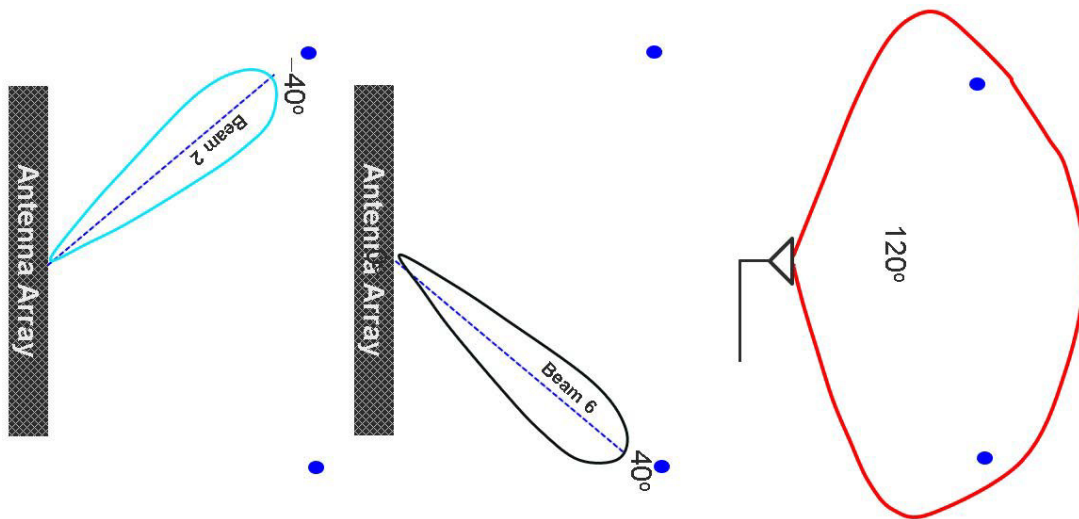


Figure 19 : Faisceaux sectoriels étroits de la 5G par rapport aux faisceaux sectoriels larges de la 4G

La prise en charge de la formation de faisceaux dans la 5G nécessite la capacité de faire la distinction entre différents faisceaux. Un UE doit pouvoir recevoir différents faisceaux et sélectionner le meilleur faisceau pour la transmission de données ou pour les informations du canal de contrôle. Ce type de prise en charge est possible grâce à la conception spéciale des blocs physiques SS/PBCH.

ressources. Étant donné que la configuration de la BLU dans le domaine temporel est réalisée dans une séquence temporelle, chaque BLU peut être envoyée avec un faisceau différent. Ceci est illustré dans la figure suivante :

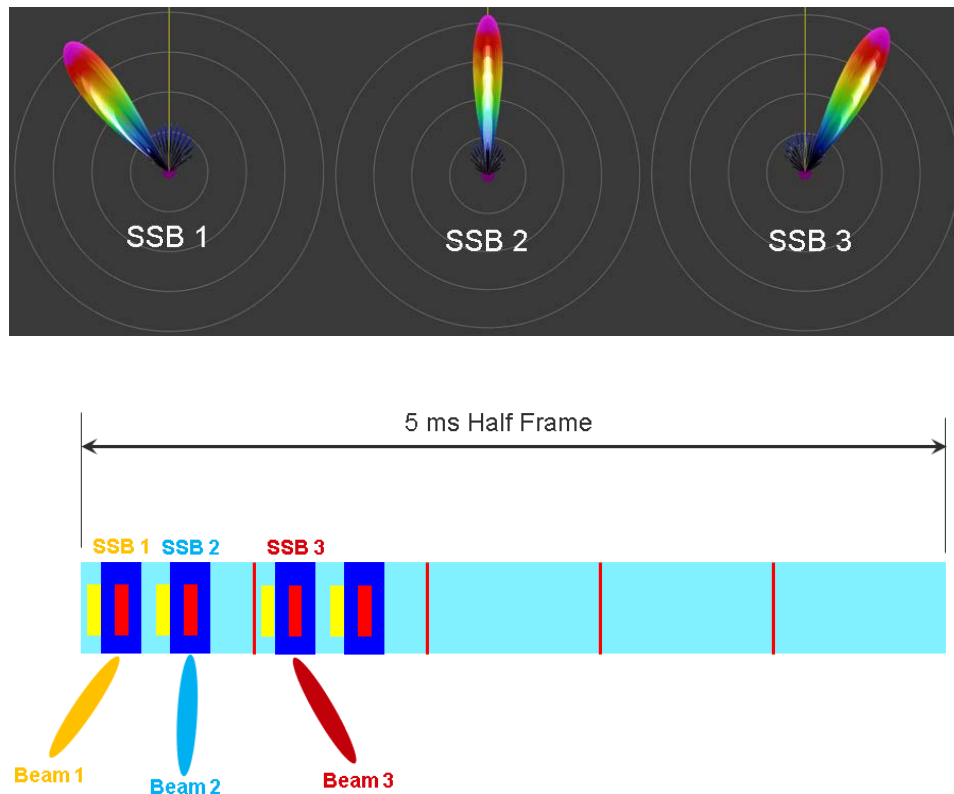


Figure 20 : Différentes séquences SSB envoyées sur différents faisceaux étroits

Il existe huit séquences BLU uniques qui peuvent être envoyées sur huit faisceaux qui doivent couvrir l'ensemble du secteur. Pour un secteur de 120° par 60° , huit faisceaux de 30° par 30° peuvent être utilisés. Ce sont ces faisceaux qui émettent en continu, même si aucun UE n'est enregistré dans ce secteur. Toutefois, les données réelles sont envoyées sur des faisceaux plus étroits, transportant des PDSCH. Ainsi, plusieurs faisceaux PDSCH plus étroits couvrent le même espace qu'un seul faisceau SSB. Pour affiner la position de l'UE dans le secteur et attribuer un faisceau PDSCH approprié à un UE connecté à ce secteur, les signaux CSI-RS sont utilisés, car ils sont envoyés sur des faisceaux plus étroits.

Alors que la formation de faisceaux analogiques n'améliore que le SINR, la formation de faisceaux numériques améliore le SINR et la capacité. Dans la formation numérique de faisceaux, plusieurs flux peuvent être formés et superposés avant d'alimenter les éléments du réseau. Cette approche permet à un réseau d'antennes de générer simultanément plusieurs faisceaux, chaque faisceau desservant un ensemble unique d'utilisateurs. Le fait de desservir plusieurs ensembles d'utilisateurs avec les mêmes ressources PRB dans le domaine de la fréquence et du temps améliore le débit total de la cellule, c'est-à-dire sa capacité.

7 CONCLUSION

Dans ce document, nous avons présenté en détail les caractéristiques de la 5G : fréquence d'exploitation, numéroteur, partitionnement de la largeur de bande, formats de créneaux et techniques de formation de faisceaux d'antennes. Nous avons également parlé des changements dans la configuration des signaux de référence, des signaux de synchronisation et des signaux PDCCH. Ce changement était nécessaire pour réduire l'overhead, car la 5G a plus de signaux de référence que la LTE. Pour la même raison, le nombre de signaux PDCCH, désormais appelés signaux CORESET, est également réduit. Les capacités de mesure de la couche physique, telles que définies par le 3GPP, sont également présentées, car il s'agit des principaux indicateurs de performance utilisés pour concevoir les réseaux 5G. Pour que la transition vers la 5G soit efficace, il convient d'utiliser une plateforme normalisée pour les relevés de bâtiments, la planification et la conception RF et le stockage des fichiers. iBwave Design a simplifié le processus de conception garantissant l'optimisation des réseaux dans les bâtiments et pour aider à éliminer les redondances et à réduire les délais d'achèvement des projets.

8 RÉFÉRENCES

- [1] 3GPP TS 38.101-2 v15.3.0, septembre 2018
- [2] 3GPP TS 38.101-1 V15.3.0, septembre 2018
- [3] 3GPP TS 38.211 v15.0, décembre 2017
- [4] 3GPP TS 38.213 V2.0.0 Décembre 2017
- [5] 3GPP TS 38.215 V15.0, septembre 2018

9 ANNEXE

| NR operating band | Uplink (UL) <i>operating band</i> BS receive / UE transmit | Downlink (DL) <i>operating band</i> BS transmit / UE receive | Duplex Mode |
|-------------------|---|---|------------------|
| | F _{UL_low} – F _{UL_high} | F _{DL_low} – F _{DL_high} | |
| n1 | 1920 MHz – 1980 MHz | 2110 MHz – 2170 MHz | FDD |
| n2 | 1850 MHz – 1910 MHz | 1930 MHz – 1990 MHz | FDD |
| n3 | 1710 MHz – 1785 MHz | 1805 MHz – 1880 MHz | FDD |
| n5 | 824 MHz – 849 MHz | 869 MHz – 894 MHz | FDD |
| n7 | 2500 MHz – 2570 MHz | 2620 MHz – 2690 MHz | FDD |
| n8 | 880 MHz – 915 MHz | 925 MHz – 960 MHz | FDD |
| n12 | 699 MHz – 716 MHz | 729 MHz – 746 MHz | FDD |
| n20 | 832 MHz – 862 MHz | 791 MHz – 821 MHz | FDD |
| n25 | 1850 MHz – 1915 MHz | 1930 MHz – 1995 MHz | FDD |
| n28 | 703 MHz – 748 MHz | 758 MHz – 803 MHz | FDD |
| n34 | 2010 MHz – 2025 MHz | 2010 MHz – 2025 MHz | TDD |
| n38 | 2570 MHz – 2620 MHz | 2570 MHz – 2620 MHz | TDD |
| n39 | 1880 MHz – 1920 MHz | 1880 MHz – 1920 MHz | TDD |
| n40 | 2300 MHz – 2400 MHz | 2300 MHz – 2400 MHz | TDD |
| n41 | 2496 MHz – 2690 MHz | 2496 MHz – 2690 MHz | TDD |
| n50 | 1432 MHz – 1517 MHz | 1432 MHz – 1517 MHz | TDD ¹ |
| n51 | 1427 MHz – 1432 MHz | 1427 MHz – 1432 MHz | TDD |
| n66 | 1710 MHz – 1780 MHz | 2110 MHz – 2200 MHz | FDD |
| n70 | 1695 MHz – 1710 MHz | 1995 MHz – 2020 MHz | FDD |
| n71 | 663 MHz – 698 MHz | 617 MHz – 652 MHz | FDD |
| n74 | 1427 MHz – 1470 MHz | 1475 MHz – 1518 MHz | FDD |
| n75 | N/A | 1432 MHz – 1517 MHz | SDL |
| n76 | N/A | 1427 MHz – 1432 MHz | SDL |
| n77 | 3300 MHz – 4200 MHz | 3300 MHz – 4200 MHz | TDD |
| n78 | 3300 MHz – 3800 MHz | 3300 MHz – 3800 MHz | TDD |
| n79 | 4400 MHz – 5000 MHz | 4400 MHz – 5000 MHz | TDD |
| n80 | 1710 MHz – 1785 MHz | N/A | SUL |
| n81 | 880 MHz – 915 MHz | N/A | SUL |
| n82 | 832 MHz – 862 MHz | N/A | SUL |
| n83 | 703 MHz – 748 MHz | N/A | SUL |
| n84 | 1920 MHz – 1980 MHz | N/A | SUL |
| n86 | 1710 MHz – 1780MHz | N/A | SUL |

Tableau A-1 : Bandes de fréquences inférieures à 6 GHz disponibles pour NR

Table 11.1.1-1: Slot formats for normal cyclic prefix

| Format | Symbol number in a slot | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 0 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D |
| 1 | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 2 | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F |
| 3 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F |
| 4 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F |
| 5 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | F |
| 6 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | F |
| 7 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | F | F | F |
| 8 | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 9 | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 10 | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 11 | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 12 | F | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 13 | F | F | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 14 | F | F | F | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 15 | F | F | F | F | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 16 | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F |
| 17 | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F |
| 18 | D | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F |
| 19 | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 20 | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 21 | D | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 22 | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 23 | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 24 | D | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 25 | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 26 | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 27 | D | D | D | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 28 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F |
| 29 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | U |
| 30 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | F | U |
| 31 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | U |
| 32 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | F | U |
| 33 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | F | F | U |
| 34 | D | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 35 | D | D | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 36 | D | D | D | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 37 | D | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 38 | D | D | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 39 | D | D | D | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 40 | D | F | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 41 | D | D | F | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 42 | D | D | D | F | F | F | U | U | U | U | U | U | U | U |
| 43 | D | D | D | D | D | D | D | D | D | F | F | F | F | U |
| 44 | D | D | D | D | D | D | F | F | F | F | F | F | F | U |
| 45 | D | D | D | D | D | D | F | F | U | U | U | U | U | U |
| 46 | D | D | D | D | D | F | U | D | D | D | D | D | F | U |
| 47 | D | D | F | U | U | U | U | D | D | F | U | U | U | U |
| 48 | D | F | U | U | U | U | U | D | F | U | U | U | U | U |
| 49 | D | D | D | D | F | F | U | D | D | D | D | F | F | U |
| 50 | D | D | F | F | U | U | U | D | D | F | F | U | U | U |
| 51 | D | F | F | U | U | U | U | D | F | F | U | U | U | U |
| 52 | D | F | F | F | F | F | U | D | F | F | F | F | F | U |
| 53 | D | D | F | F | F | F | U | D | D | F | F | F | F | U |
| 54 | F | F | F | F | F | F | F | D | D | D | D | D | D | D |
| 55 | D | D | F | F | F | U | U | D | D | D | D | D | D | D |
| 56 – 254 | Reserved | | | | | | | | | | | | | |
| 255 | UE determines the slot format for the slot based on <i>tdd-UL-DL-ConfigurationCommon</i> , <i>tdd-UL-DL-ConfigurationCommon2</i> , or <i>tdd-UL-DL-ConfigDedicated</i> and, if any, on detected DCI formats | | | | | | | | | | | | | |

Tableau A-2 : Formatage de l'emplacement

À propos de 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 assistance 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.