الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا
Ecole national supérieur de technologie
Département : Génie électrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

Master

-Filière-

Télécommunication

-Spécialité-

Système de Télécommunication et Réseaux

- Thème –

Planification des liaisons radio dans les réseaux LTE et projection sur la planification 5G.

Réalisé par :

-BOUDIAF Ouiam **-MADACI Soheib Kheir Eddine**

Les membres de Jury :

Président :	M. ATROUZ Brahim	Dr	ENST
Promoteur :	M. CHERIFI Tarek	M.C.B	ENST
Co-promoteur :	Mme BOUTERFAS Malika	M.C.A	ENST
Examinateur 1 :	M. Messadi Oussama		ENST
Examinateur 2 :	M. Djeddou Moustafa		ENST

Alger, le 25/06/2023

Année universitaire 2022 –2023

Planification des liaisons radio dans les réseaux LTE et projection sur la planification 5G.

BOUDIAF Ouiam, MADACI Soheib khiereddine,CHERIFI Tarek ,BOUTERFAS Malika

Ecole Nationale Supérieure de Technologie (ENST)

E-mail : O_boudiaf@enst.dz, s_madaci@enst.dz

Abstract : Cet article aborde la question essentielle de la planification des liaisons radio dans les réseaux de communication sans fil .Nous nous concentrons sur les réseaux LTE (Long Term Evolution) et étudions les méthodes de planification radio appliquées pour améliorer les performances du réseau .De plus, nous comparons le fonctionnement de la planification des liaisons radio dans les réseaux 5G (cinquième génération) et LTE .Dans cet article, nous passerons en revue certaines des principales caractéristiques de la planification des liaisons radio pour les réseaux 5G , telles que la planification basée sur l'IA (l'Intelligence Artificielle) et l' optimisation dynamique des ressources de fréquence .Nous discutons des avantages et des difficultés de la planification des connexions radio dans les réseaux 5G et des recommandations pour améliorer les performances du réseau . Enfin, nous examinons les perspectives de planification de la liaison radio dans le futur.

Mots clés : planification, liaisons radio, LTE,5G

1. *Introduction*

Les réseaux de communication sans fil ont connu une évolution fulgurante au cours des dernières décennies, en passant des réseaux 2G (deuxième génération) et 3G (troisième génération) aux réseaux 4G (quatrième génération) et 5G d'aujourd'hui. Avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs, l'expansion de l'internet des objets et la demande croissante pour des services à haut débit et à faible latence, les réseaux sans fil doivent être programmés et optimisés de manière efficace pour garantir une qualité de service optimal pour les utilisateurs. Dans ce contexte, la planification des liaisons radio est un élément crucial pour assurer une performance de réseau optimale. Elle permet de déterminer les paramètres de base du réseau, tels que la puissance de transmission, la répartition de la fréquence et la disposition des stations de base pour assurer une couverture et une qualité de service adéquates [01].

Dans notre travail nous nous concentrons sur la planification des liaisons radio dans les réseaux LTE et 5G, pour cela, une partie de notre travail a été effectuée au niveau de l'entreprise Erricson pour l'acquisition de données.

Dans la première partie, nous discutons de la planification des liaisons radio dans les réseaux LTE, en mettant en évidence les caractéristiques clés de cette technologie.

Dans la deuxième partie, nous examinons la planification des liaisons radio dans les réseaux 5G, en nous concentrant sur les différences avec les réseaux LTE.

Dans la troisième partie, nous proposons des recommandations pour améliorer les performances des réseaux 5G.

Enfin, dans la conclusion, nous résumerons les principaux résultats de ce mémoire et discuterons des implications pour l'avenir de la planification des liaisons radio dans les réseaux de communication sans fil.

2. *Le réseau LTE*

LTE est une norme spécifiée par l'organisme de standardisation 3GPP (Third Partnership Project) se normalise pour améliorer l'UMTS (Universal système de télécommunication mobile) réseau cellulaire 3G de troisième génération, Vers la quatrième génération pour faire face aux évolutions technologiques. Le principal objectif de la LTE est d'améliorer l'efficacité spectrale, permettant ainsi le transfert de données à haut débit, avec une latence réduite. Cette amélioration de la norme permet également de répondre à la demande croissante en termes de bande passante, et offre une meilleure qualité de

service pour les utilisateurs de services de données mobiles [02].

Le tableau 01 illustre les caractéristiques de LTE de manière succincte.

Tableau 01 : Caractéristique de LTE [03].

Débit en téléchargement	Jusqu'à 150 Mbit/s en moyenne
Bandes de fréquences	Entre 1,4 MHz et 20 MHz, dans une plage de fréquences allant de 450 MHz à 3,8 GHz selon les pays
Débit binaire théorique	300 Mbit/s en liaison descendante pour une largeur de bande de 20 MHz
Modulation	Liaison descendante : QPSK,16QAM ,64QAM Liaison montante : QPSK,16QAM,64QAM
Accès multiples	Liaison descendante : OFDMA Liaison montante :SC-FDMA

3. Analyse comparative des différentes configurations de transmission LTE

Cette analyse comparative explore les configurations de transmission LTE, mettant en évidence les caractéristiques distinctives de chaque configuration.

- **Configuration a un module non redondant (1+0) [04] :** Une seule cellule transmet les signaux pour les données utiles, sans redondance. (Figure 1 en Annexe A)

  Ce tableau 02 présente de manière concise les caractéristiques clés de la configuration 1+0.

Tableau 02 : Configuration 1+0 [04].

Nombre d'antenne	1
Nombre de RAU	**1**
Nombre de Fréquence	**1**
Polarisation	**1**

- **Configuration a un module redondant 1+1 HSB (Hot Standby) [04] :** Liaisons micro-ondes sont utilisées. Une liaison principale et une liaison de protection, la liaison de protection est activée lorsque la liaison principale tombe en panne. (Figure 2 en Annexe A)

  Le tableau 03 présente les caractéristiques de la configuration 1+1 HSB

Tableau 03 : Configuration 1+1 HSB [04].

Nombre de RAU	2
Nombre d'antenne	**1**
Nombre de Fréquence	**1**
Polarisation	**1**

- **La configuration a un module redondant 1+1 FD (Full Duplex) [04] :** Deux équipements identiques sont utilisés pour créer deux liaisons indépendantes entre les mêmes points de terminaison. Les deux liaisons fonctionnent simultanément, et chaque liaison est capable de transporter l'ensemble du trafic. (Figure 3 en Annexe A)

  Le tableau 04 offre une présentation concise des caractéristiques essentielles de la configuration 1+1 FD.

Tableau 04 : Configuration 1+1 FD [04].

Nombre d'antenne	2
Nombre de RAU	**1**
Nombre de Fréquence	**2**
Polarisation	**1**

- **La configuration a un module redondant 1+1 SD (Space Diversity) [04] :** Cette méthode utilise deux antennes placées à une distance suffisante pour réduire les effets des interférences électromagnétiques et des obstructions dans l'environnement. La transmission des données se fait simultanément sur les deux antennes. Si l'une des antennes subit une perte de signal, la transmission continue à travers l'autre antenne. (Figure 3 en Annexe A)

  Le tableau 05 présente de façon succincte les caractéristiques principales de la configuration 1+1 SD.

Tableau 05 : Configuration 1+1 FD [04].

Nombre d'antenne	2
Nombre de RAU	**2**
Nombre de Fréquence	**1**
Polarisation	**1**

- **Configuration a deux module non redondant 2+0 XPIC [04] :** Permet de

transmettre deux flux de données indépendants simultanément sur un même canal de transmission, Elle utilise deux polarisations orthogonales pour éviter l'interférence entre les deux flux. (Figure 4 en Annexe A)

Ce tableau 06 offre une présentation concise des caractéristiques clés de la configuration 2+0 XPIC.

Tableau 06 : Configuration 2+0 XPIC [04].

Nombre d'antenne	2
Nombre de RAU	**1**
Nombre de Fréquence	**1**
Polarisation	**2**

- **Configuration a deux module redondant 2+2 XPIC [04] :** Est une technique utilisée dans la transmission de micro-ondes pour améliorer la capacité et la fiabilité du lien. Dans cette méthode, 4 liaisons microondes sont utilisées. 2 liaison principale et 2 liaisons de protection. (Figure 5 Annexe A).
  Le tableau 07 présente de manière succincte les caractéristiques essentielles de la configuration 2+2 XPIC.

Tableau 07 : Configuration 2+2 XPIC [04].

Nombre d'antenne	4
Nombre de RAU	**1**
Nombre de Fréquence	**1**
Polarisation	**2**

- **Configuration a quatre module non redondant 4+0 XPIC [04] :** Permet d'améliorer la capacité du réseau en augmentant le débit de données et en réduisant les erreurs de transmission. Elle offre également une meilleure qualité de service pour les utilisateurs en termes de vitesse de transmission des données et de fiabilité du réseau. (Figure 6 en Annexe A)
  Dans ce tableau 08, les caractéristiques clés de la configuration 4+0 XPIC sont présentées de manière concise.

Tableau 08 : Configuration 4+0 XPIC [04].

Nombre d'antenne	4
Nombre de RAU	**1**
Nombre de Fréquence	**2**
Polarisation	**2**

4. Introduction à la 5G

La 5G est une nouvelle génération de télécommunications mobiles qui évolue pour répondre aux besoins et défis de demain. Cette technologie offre de nouvelles fonctionnalités qui permet*tent aux réseaux mobiles* d'améliorer considérablement leur débit, leur réactivité et leur adaptabilité.

La technologie 5G repose sur les exigences techniques suivant [3] :

- Des débits de données allant jusqu'à 10 Gbit/s, soit de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G,
- Une latence d'environ 1 milliseconde.
- Une bande passante jusqu'à 1 000 fois plus importante par unité de surface que la 4G LTE,
- Une disponibilité de 99,99% et une couverture de 100%.

A. Les technique clé de la 5G : Les technique clé de la 5G implique l'utilisation de technologies telles que l'IA, le MIMO massif (Multiple-Input Multiple-Output), le Beamforming pour optimiser l'allocation des ressources, la couverture, la capacité et la qualité de service [05].

B. L'utilisation de l'Intelligence Artificielle: L'IA peut aider le planificateur de réseau 5G en termes de prédiction du trafic, d'allocation optimale des ressources et d'optimisation de la couverture. Avec l'IA, le planificateur de réseau peut avoir un aperçu du comportement complexe du réseau et identifier des stratégies d'optimisation difficiles à discerner à l'aide des technologies traditionnelles [05].

C. L'utilisation de plus hautes fréquences (mmWaves) : Les ondes de type Millimeter Wave (mmW) utilisent les bandes de fréquence E qui couvre la plage de fréquences de 24,25 GHz à 56,8 GHz, pour fournir des liaisons sans fil à haut débit de 10 Gbps, ce qui le rend idéal pour les zones urbaines. Elle offre un spectre large et abondant pour répondre aux besoins de la 5G, ainsi que des signaux directionnels idéaux pour la transmission sans fil à haute capacité grâce à ses courtes longueurs d'onde [06].

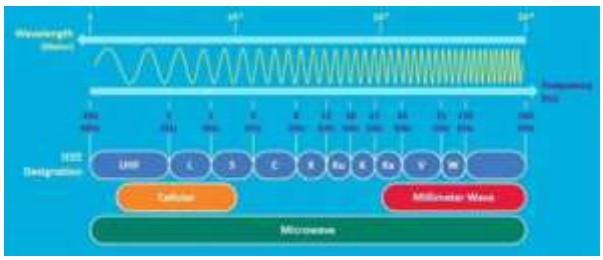


Figure 01 : Distribution du spectre des micro-ondes [07].

D. Sub-6 GHz : Selon les recherches, on s'attend à ce que la majorité des réseaux 5G fonctionnent dans les fréquences moyennes, allant de 3 à 6 GHz. Ce spectre couvrira les communications à moyenne portée et sera particulièrement avantageux pour les concentrateurs de petites cellules à des fins intérieures, ainsi que pour les stations de base extérieures avec une plus grande puissance [08].

E. L'utilisation du MIMO massif : Le Massive MIMO est une technologie clé de la 5G qui utilise des stations de base équipées d'un grand nombre d'antennes, typiquement des dizaines voire des centaines d'antennes actives, pour fournir une meilleure efficacité spectrale et une meilleure couverture cellulaire. Les antennes supplémentaires permettent d'envoyer des signaux à plusieurs utilisateurs simultanément sur la même fréquence et d'augmenter le débit de données.
Le nombre d'antennes dans un système Massive MIMO varie en fonction des besoins du réseau et des contraintes de mise en œuvre. Cependant, il est courant de trouver des matrices d'antennes de 16x16, 32x32, 64x64 [09].

F. la configuration Beamforming : Le Beamforming est la possibilité d'adapter le diagramme de rayonnement du réseau d'antennes selon un certain modèle. Cette technologie consiste à focaliser les ondes en direction de chaque objet spécifique. Cette précision réduit les interférences et augmente l'efficacité du signal et donc consomme moins d'énergie, en même temps économise de la bande passante et de l'énergie. La fréquence de chaque faisceau s'adaptera aux besoins des applications [10].

5. Comparaison entre la planification des liaisons radio dans les réseaux LTE et la 5G

Cette étude vise à comparer la planification des liaisons FH (faisceau hertzien) en utilisant les technologies LTE et 5G La planification a été effectuée en utilisant le logiciel Ellips d'Ericsson. Les captures d'écran de la planification sont présentées dans l'annexe pour une meilleure compréhension des résultats [04].

- **Introduire les coordonnées GPS des deux sites :** Cette étape est une étape commune à la planification des faisceaux hertziens pour la 5G et la LTE. Les coordonnées GPS (Système mondial de positionnement) sont nécessaires pour calculer la distance et l'angle entre les deux sites, ce qui est essentiel pour déterminer les paramètres de la liaison FH. (Figure 1 annexe B)

- **Tester la visibilité entre les sites :** Cette étape consiste à dessiner le graphe de la "line of sight" (ligne de visibilité) entre les deux sites pour s'assurer que le signal RF (radio fréquence) peut être transmis sans obstacles significatifs. La 5G utilise des antennes à commande de phase pour former des faisceaux dans une direction spécifique à l'aide de la technique de beamforming, tandis que la LTE utilise des antennes directionnelles pour diriger le signal dans une direction spécifique. (Figure 2 annexe B)

- **Le choix de la fréquence :** La 5G utilise des fréquences plus élevées de 3 à 300 GHz tandis que la LTE utilise des fréquences plus basses 2 à 8 GHz. Les fréquences plus élevées de la 5G offrent une plus grande bande passante et un meilleur débit de données (20Gbit /s). Les fréquences plus basses de la LTE ont une meilleure propagation et une meilleure pénétration à travers les obstacles physiques, mais elles ont une bande passante limitée et un débit plus faible [11]. (Figure 3 annexe B)

- **La sélection d'antennes :** La 5G utilise souvent des antennes à faible gain avec un grand nombre d'éléments pour former des faisceaux étroits grâce à des techniques de formation de faisceaux avancées, notamment la technique MIMO massif. En revanche, la LTE utilise des antennes directionnelles à gain élevé pour fournir une couverture à plus longue portée.

- **Le choix de la radio :** Le choix de la radio dans la 5G et dans la LTE dépend de plusieurs facteurs, tels que la bande de fréquences utilisée, la distance entre les sites, la capacité

requise… Dans la 5G, la radio Mini Link 6363 d'Ericsson est une solution peut supporter des capacités gigabit dans les bandes de fréquences traditionnelles et en bande E. Les produits de cette série offrent une puissance de sortie élevée pour répondre aux besoins de capacités élevées et de haute disponibilité. Dans la LTE, La radio 2x est une solution de transport LTE à faible latence, offrant une grande capacité de transmission et une qualité de service élevée. (Figure 4 annexe B)

- **Choix de l'Unité Intérieure (IDU) :** La 5G peut nécessiter un nombre de slots (porteuses) plus élevé que la LTE en raison de sa capacité à supporter un plus grand nombre de connexions simultanées et à fournir une bande passante plus élevée [11].
  En termes de polarisation, la 5G et la LTE peuvent utiliser à la fois la polarisation horizontale (H) et la polarisation verticale (V), mais la 5G peut également utiliser la polarisation circulaire pour améliorer la qualité du signal.
  En ce qui concerne le type de configuration, la 5G et la LTE peuvent avoir des configurations similaires telles que 1+1 ou 2+0, mais la 5G peut également prendre en charge des configurations plus complexes telles que 4+0 pour fournir une bande passante plus élevée et une latence plus faible.

- **Le bilan de liaison :** La 5G offre généralement de meilleures performances que la LTE en raison de l'utilisation de bandes de fréquences plus élevées qui permettent une plus grande capacité et une plus grande vitesse de transmission de données.
  En ce qui concerne le Fade Margin, la 5G et la LTE ont des exigences similaires en termes de protection contre les évanouissements du trajet, avec un Fade Margin d'au moins 30 dB pour assurer une bonne liaison. Cependant, la 5G utilise des techniques de beamforming et de MIMO qui peuvent compenser certains effets de l'évanouissement, ce qui peut améliorer la qualité du signal dans des environnements difficiles.
  Concernant la disponibilité de la liaison, les deux technologies ont des exigences similaires en termes de disponibilité, avec une règle des cinq neufs (99,99%) cela signifie que le système doit avoir une indisponibilité maximale de seulement 5,26 minutes par an. Cependant, la 5G peut offrir une disponibilité plus élevée en raison de sa capacité à utiliser des bandes de fréquences plus larges et à gérer de manière plus efficace les interférences et les obstructions [12].(Figure 5 annexe B)

6. Recommandation pour améliorer la planification des liaisons radio dans les réseaux 5G

Les recommandations suivantes visent à améliorer la planification des liaisons radio dans les réseaux 5G, afin d'optimiser les performances et l'efficacité de ces réseaux de nouvelle génération**.**

- **La 5G autonome :** La majorité des connexions 5G actuelles sont supportées par des réseaux 5G non autonomes (NSA) qui dépendent des réseaux LTE pour leur fonctionnement. Cependant, les opérateurs de télécommunications adoptent de plus en plus la technologie 5G autonome (SA) [13].
  La 5G autonome (SA) est une version de la 5G qui s'appuie uniquement sur un réseau central 5G pour la signalisation et le transfert de données, sans dépendre des fonctions de contrôle du réseau 4G LTE .

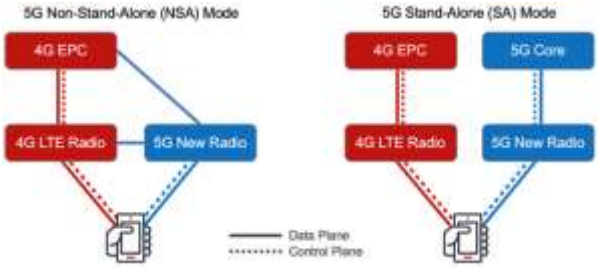


Figure 02 : Principe de NSA et SA [14].

L'évolution vers la 5G autonome (SA) conduira à une latence beaucoup plus faible par exemple, T-Mobile, l'un des premiers opérateurs à déployer SA 5G, a constaté des avantages avec la latence. En février 2021, Open signal a rapporté que "dans les zones urbaines, les utilisateurs de T-Mobile connaissent en moyenne une amélioration de 23,8% de la latence par rapport à la NSA" [14].

- **Le partage de spectre dynamique :** Le partage de spectre dynamique permet à plusieurs opérateurs de réseau de partager le même spectre. Cela peut améliorer la capacité du réseau et réduire le besoin de spectre supplémentaire. Les planificateurs de réseau devraient envisager de mettre en œuvre le partage dynamique du spectre dans le cadre de leur processus de planification. Le partage

de spectre dynamique peut être implémenté de différentes manières dans les réseaux 5G. L'une des approches courantes consiste à utiliser la technologie Accès partagé sous licence (LSA), qui permet aux opérateurs de réseau de partager des bandes de fréquence sous licence avec d'autres opérateurs de réseau. La technologie LSA utilise une base de données de gestion de spectre pour coordonner le partage de spectre entre les différents opérateurs de réseau. Une autre approche consiste à utiliser la technologie Système d'accès au spectre (SAS), qui permet aux opérateurs de réseau d'accéder à des bandes de fréquence partagées. Le SAS utilise des algorithmes sophistiqués pour attribuer les bandes de fréquence aux opérateurs de réseau en fonction de leur demande et de l'utilisation actuelle de la bande de Fréquence [15].

7. Conclusion

En conclusion, la planification de réseau est un élément essentiel pour assurer le déploiement efficace de la 5G et de la LTE. Il est évident que la planification des réseaux 5G diffère considérablement de celle de la LTE. La 5G introduit de nouvelles techniques telles que L'utilisation de plus hautes fréquences (mmWaves), MIMO massif, le beamforming,et l'utilisation de l'IA qui offrent des améliorations significatives de performance.

REFERENCES

[01] Tolstrup, Morten. Indoor Radio Planning: A Practical Guide for 2G, 3G and 4G. Royaume-Uni, Wiley, 2015.

[02] Zhang, Xincheng., Zhou, Xiaojin. LTE-Advanced Air Interface Technology . États-Unis: CRC Press, 2012.

[03] Mouchili, Mama Nsangou. Les Réseaux Mobiles de Telecom (1G-4G) et Introduction au 5G: Evolution, Standards, Architectures et Différences clées. Editions universitaires européennes., 2020.

[04] consulté le 22 juin 2023 https://www.ericsson.com/en/mobile-transport/boost-capacity-in-traditional-bands.

[05] van Steenberghe, Étienne, and Olivier Mongin. "La profonde empreinte écologique de l'intelligence artificielle." Relations 808 (2020): 20-21.

[06] Hong, Wonbin, and Sim, Chow-Yen Desmon d. Microwave and Millimeter-wave Antenna Design for 5G Smartphone Applications. Royaume-Uni, Wiley, 2023.

[07] Dave Sumi & Steve Hratko, Selecting the Best Frequency Bands for Backhaul ,posted on January 25, 2023.

[08] Sim, Chow-Yen Desmond, and Hong , Wonbin. Microwave and Millimeter-wave Antenna Design for 5G Smartphone Applications. Royaume-Uni, Wiley, 2023.

[09] Pujolle, Guy. Réseaux logiciels: Du Cloud Networking à la 5G - 2e édition revue et augmentée. Royaume-Uni, Iste editions., 2020.

[10] Towards 5G Wireless Networks: A Physical Layer Perspective. Croatie, IntechOpen, 2016.

[11] Rahnema, Moe, and Dryjanski, Marcin. From LTE to LTE-Advanced Pro and 5G. États-Unis, Artech House Publishers, 2017.

[12] Morais, Douglas H. 5G and Beyond Wireless Transport Technologies: Enabling Backhaul, Midhaul, and Fronthaul. Allemagne, Springer International Publishing, 2021.

[13] Morais, Douglas H. Key 5G Physical Layer Technologies: Enabling Mobile and Fixed Wireless Access. Allemagne, Springer International Publishing, 2020.

[14] Brian Lavallée, Coup de projecteur sur les réseaux de liaison arrière 4G/5G,13 août 2020.

[15] Launay, Frédéric. NG-RAN et 5G-NR: l'accès radio 5G et l'interface radioélectrique. Royaume-Uni, ISTE editions, 2021.

Annexe A

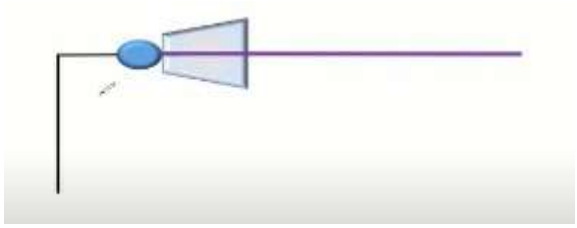


Figure 1 : Configuration 1+0.

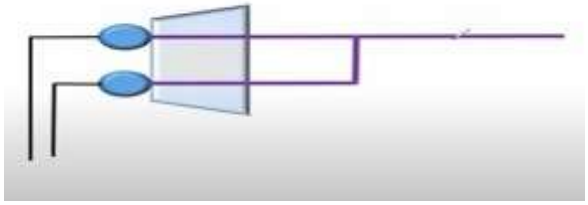


Figure 2 : configuration 1+1 HSB.

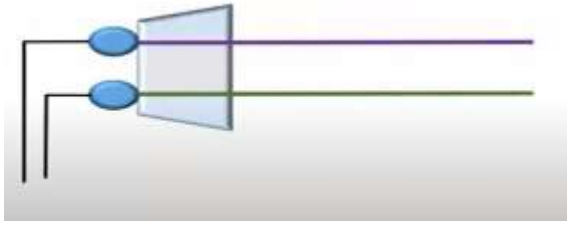


Figure 3 : Configuration 1+1 FD.

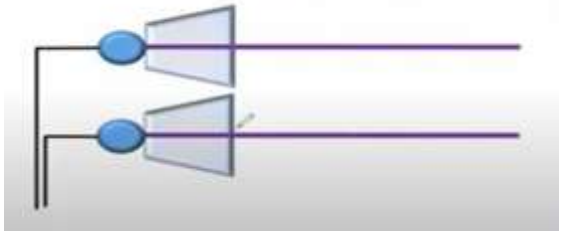


Figure 4 : configuration 1+1 SD.

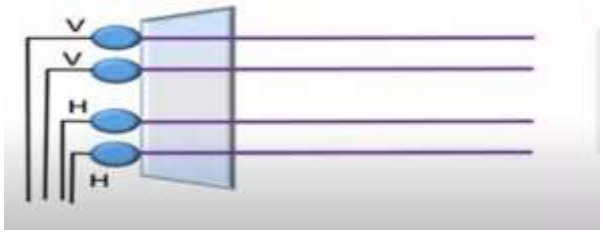


Figure 5 : configuration 2+0 XPIC.

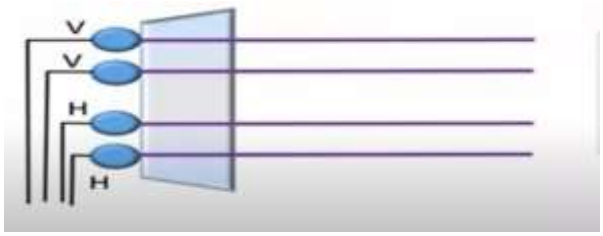


Figure 6 : Configuration 4+0 XPIC.

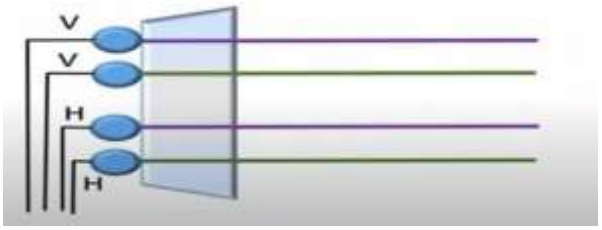


Figure 7 : Configuration 2+2 XPIC.

Annexe B

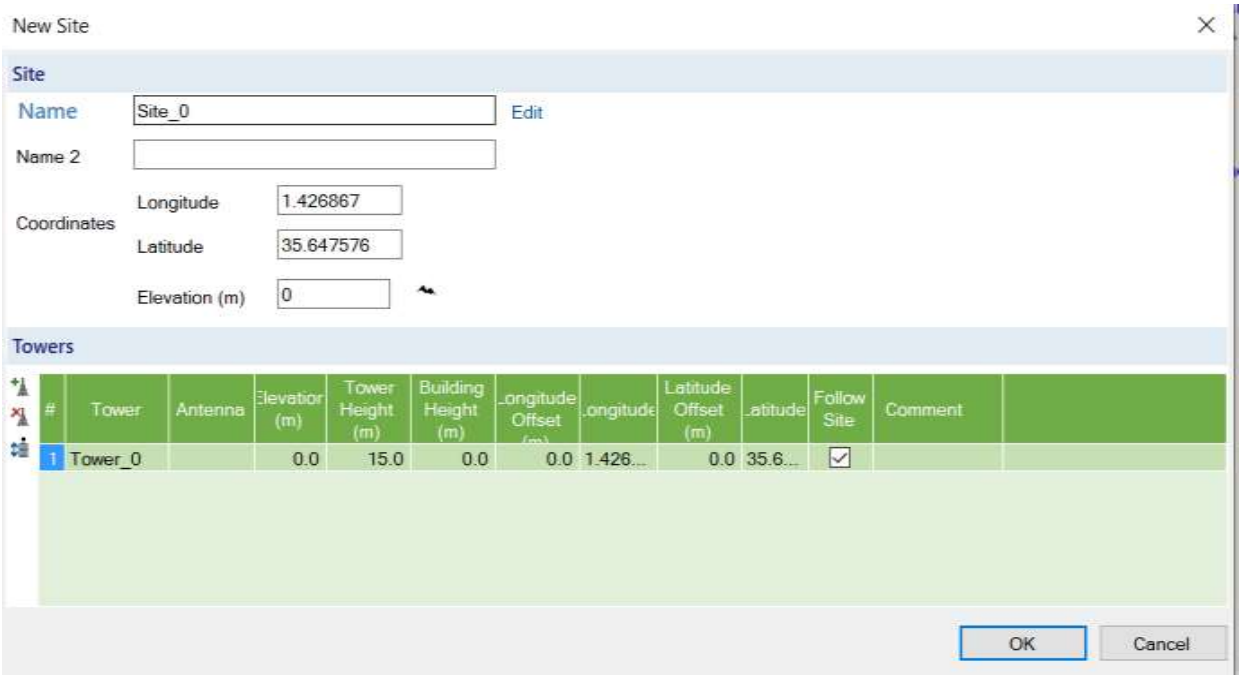


Figure 1 : Introduire les coordonné GPS.

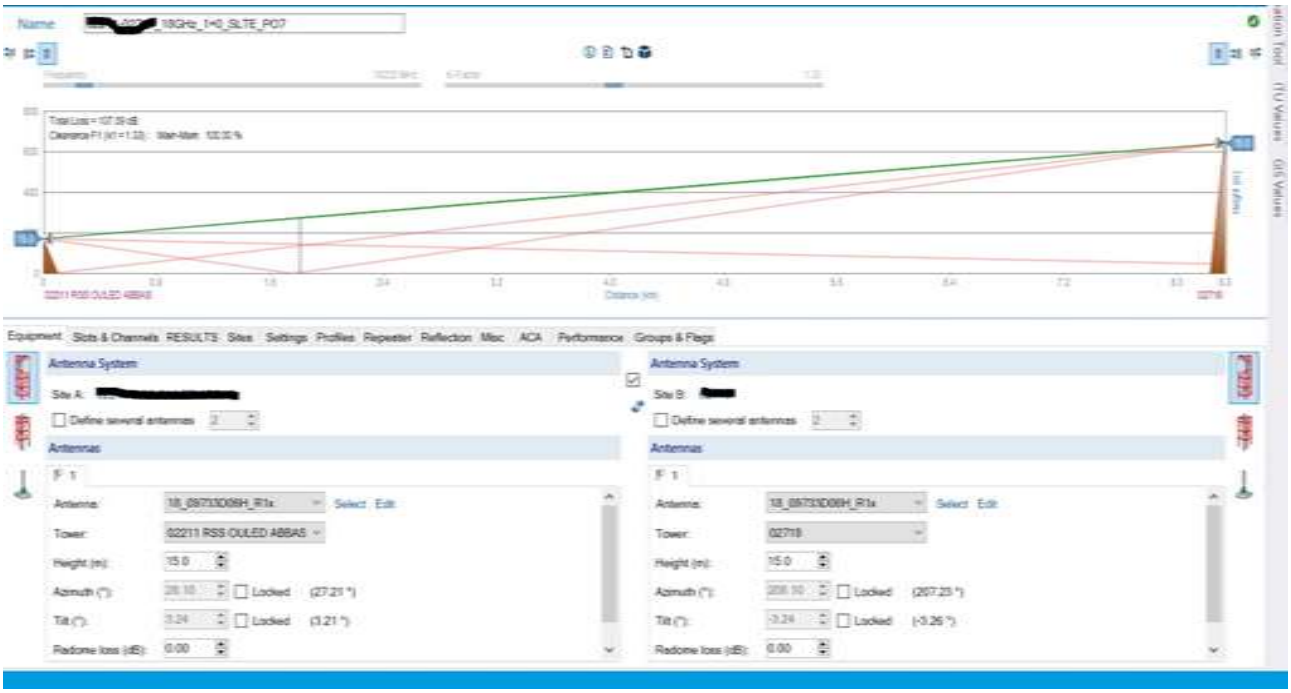


Figure 2 : Tester la visibilité entre les sites.

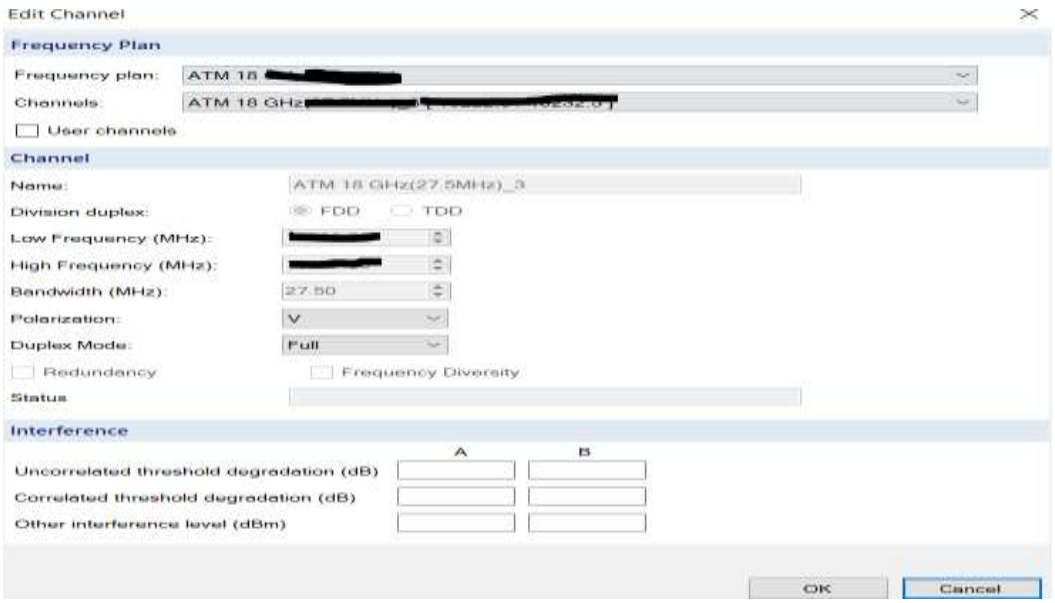


Figure 3 : Le choix de la fréquence.

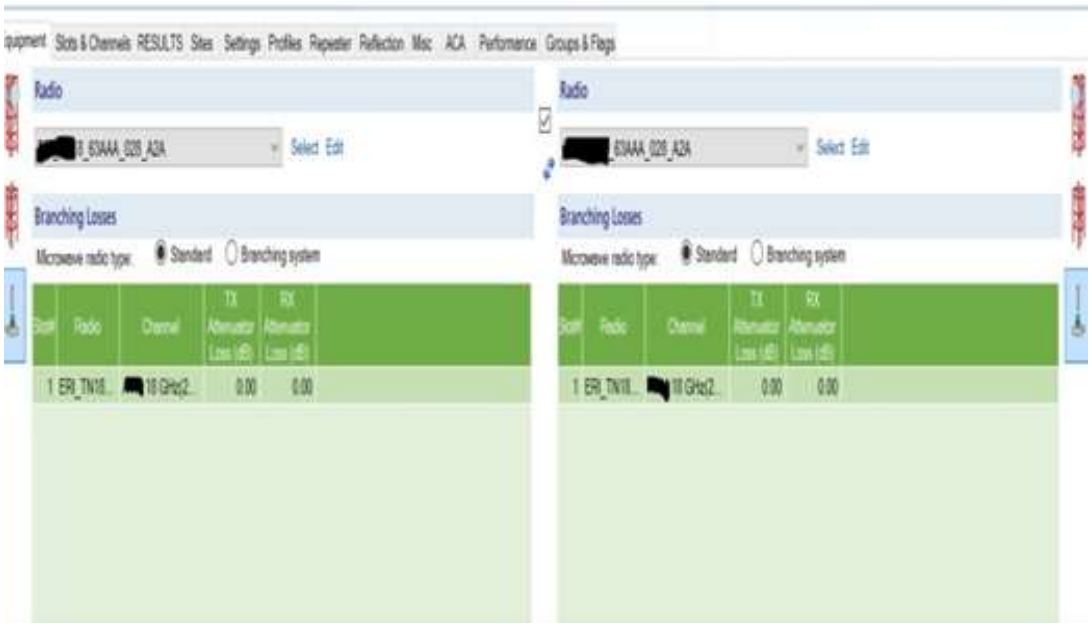


Figure 4 : Le choix de la radio.



Figure 5 : Bilan de liaison