

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Systèmes des télécommunications (ST)

Présenté par

BSAISSA BATWOL

&

MAACHI MOHAMED

Évaluation des performances de planification basée sur les symboles NR TDD en 5G

Proposé par : Dr. ANOU Abderrahmane

Année Universitaire 2020-2021

الملخص: الهدف من هذا الملخص هو التخطيط لتنفيذ مخطط جدول قائم على الرموز لتقسيم الوقت (TDD) لتخصيص موارد الوصلة الصاعدة (UL) والوصلة الهابطة (DL) وتقييم أداء الشبكة. في أسلوب (TDD) يمكن جدولة كل من ارسالات القناة المشتركة للوصلة الصاعدة المادية (PUSCH) والقناة المشتركة للوصلة الهابطة المادية (PDSCH) في نفس نطاق التردد مع فصل المجال الزمني. يسمح تخطيط الموارد المستند الى الرموز بأوقات ارسال أقصر تغطي عددا قليلا من الرموز في الفتحة. سيتم تقييم أداء استراتيجية التخطيط من حيث الإنتاجية المحققة والمساواة في تقاسم الموارد. يمكن استخدام طبقة مادية بسيطة (PHY) بدون أي معالجة للطبقة المادية. من اجل اتباع نهج قائم على الاحتمالات لنموذج فشل استقبال الرموز.

كلمات المفاتيح : TDD, UL, DL, PUSCH, PDSCH, PHY

Résumé : L'objectif de ce mémoire est de projette d'implémenter un schéma d'ordonnancement basé sur des symboles en mode duplexage par répartition dans le temps (TDD) pour attribuer des ressources de liaison montante (UL) et descendante (DL) et évaluer les performances du réseau, en mode TDD, les transmissions de canal partagé de liaison montante physique (PUSCH) et de canal partagé de liaison descendante physique (PDSCH) peuvent être planifiées dans la même bande de fréquences avec séparation dans le domaine temporel. La planification des ressources basée sur des symboles permet des durées de transmission plus courtes couvrant quelques symboles dans la tranche. La performance de la stratégie de planification sera évaluée en termes de débit atteint et d'équité dans le partage des ressources. Une couche physique intermédiaire (PHY) sans aucun traitement de couche physique peut être utilisée, afin d'adopter une approche basée sur les probabilités pour modéliser les échecs de réception de paquets.

Mots clés : TDD, UL, DL, PUSCH, PDSCH, PHY.

Abstract: The goal of this brief is to plans to implement a time division duplexing (TDD) symbol-based scheduling scheme to allocate uplink (UL) and downlink (DL) resources and access network performance, in TDD mode, both physical uplink shared channel (PUSCH) and physical downlink shared channel (PDSCH) transmissions can be scheduled on the same frequency band with time domain separation. Symbol-based resource planning allows for shorter transmission times covering a few symbols in the slot. The performance of the planning strategy will be assessed in terms of throughput achieved and equity in the sharing of resources. An intermediate physical layer (PHY) without any physical layer processing can be used, in order to take a probability-based approach to model packet reception failures.

Keywords: TDD, UL, DL, PUSCH, PDSCH, PHY

Dédicace

Je dédie ce projet :

À ma chère mère, A mon cher père,

Qui n'a jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs pendant tout le cursus.

À mes frères, Brahim et Badr Eddine que Dieu les protège, ainsi qu'une pensée à mon cher frère Marwane décédé en septembre 2019 pour leurs soutiens moraux et conseils précieux tout au long de mes études.

À mon oncle Djamel, pour son aide et support dans les moments difficiles.

À mon binôme, Maâchi Mohamed, pour son entente et sa sympathie, malgré quelques étincelles pendant la période de l'élaboration de notre mémoire.

À mes chères amies, d'enfance et mes proches, pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies à ce jour.

Bsaissa Batwol

Dédicace

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté.

Ainsi que la conscience, d'avoir pu terminer mes études.

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents : pour leur sacrifice et qui n'ont jamais cessé de m'encourager. Que Dieu nos les garde.

À mes sœurs : Naima, Samia, Fatima et Rania, pour leur soutien moral. Et à toute ma famille grande et petite.

À mon binôme : qui m'a beaucoup aidé à réaliser ce travail.

À tous mes amis les plus sincères

Surtout Mohamed Touati qui m'a soutenu et aidé plusieurs fois à poursuivre mes études.

À tous les enseignants et toute la promotion de Systèmes de télécommunications 2020/2021.

À tous mes collègues

Et bien sûr à tous ceux que me connaît.

Maâchi Mohamed

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous adressons toutes nos reconnaissances et nos gratitude

Dieu de nous avoir donné la force de mener à bien la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions, Monsieur Abderrahmane Anou, Enseignant-chercheur, Maître de

Conférences de nous avoir encadrés, orientés, aidés et conseillé tout au long de

l'élaboration de ce mémoire

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants, et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques

ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions

durant nos recherches.

Également, nous tenons à témoigner; nos profondes gratitude

Directeur, Mustapha Aïchouni, Monsieur Sofiane Boumahdi, chef de service

déploiement centre de l'acquisition à l'opérateur Ooredoo Direction Technologie, de

nous avoir encadrés avec patience et d'avoir mis à notre disposition son savoir-faire,

durant la période de stage et à tous les membres du personnel tout particulièrement

Monsieur Sofiane Bensabeur Chef de service de l'implémentation, et aussi Mr

Abderrahmane Yacef Ingénieur au Service Radio, Mme Lynda Guerniche ainsi

Mme Assia Feddag, qui ont mis tout en œuvre pour que notre stage se déroule dans

les meilleures conditions possibles, durant cette période de trois mois.

Nous témoignons toutes nos reconnaissances à Monsieur Mamoun.m et Monsieur

Hebib.s qui ont voulu examiner ce travail et ça nous a fait aussi l'honneur de présider

les membres du jury de ce mémoire.

Et enfin, nous remercions nos familles et nos amis pour leurs soutiens bienveillants,

leurs aides et leurs encouragements durant l'élaboration de ce présent mémoire.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre 1	1
Généralités sur le réseau 5G.....	2
1.2 Les réseaux 5G	2
1.3 Les éléments clés de la 5G	2
1.4 Les standards de la 5G	3
1.5 Applications visées pour le réseau de 5G.....	3
1.5.1 Respect environnemental	4
1.6 Les familles d'usage de la 5G	5
1.7 Les services définis en 5G.....	8
1.8 La construction d'un réseau 5G.....	8
1.8.1 Les fréquences utilisées en 5G	8
1.8.2 MIMO massive.....	9
1.8.3 Duplexage.....	10
1.8.4 L'architecture de réseau 5G	10
1.9 Conclusion.....	13
Chapitre 2	15
Planification des symboles NR TDD en 5G.....	15
2.1 Introduction	15
2.2 Numérologie et structure de la trame	15
2.2.1 La modulation OFDM	15
2.2.2 Structure de trame	17
2.2.3 Configurations de créneau.....	20
2.2.4 Les mini-créneaux	22
2.2.5 Nombre maximum de RB par canal	23
2.3 Canaux physiques.....	24

2.4 Signaux physiques.....	25
2.4.1 Différence par rapport à LTE	26
2.4.2 Signal de référence de démodulation (DM-RS)	26
2.4.3 Signal de référence de suivi de phase (PT-RS)	27
2.4.4 Signal de référence d'information d'état de canal (CSI-RS).....	28
2.4.5 Signal de synchronisation primaire (PSS).....	28
2.4.6 Signal de synchronisation secondaire (SSS)	29
2.4.7 Signal de référence sonore (SRS).....	29
2.5 La différente couche sur l'interface Radio	30
2.5.1 Couche physique	30
2.5.2 couche MAC	30
2.5.3 couche RLC.....	30
2.5.4 couche PDCP.....	30
2.5.5 couche SDAP	30
2.6 Conclusion.....	31
Chapitre 3	32
Simulation et résultat.....	32
3.1 Introduction	32
3.2 Simulation	32
3.2.1 Configuration du modèle TDD DL-UL.....	34
3.2.2 Ordonnancement DL et UL.....	36
3.2.3 RLC fonctionnant en mode UM.....	42
3.3 Programmation de simulation	43
3.3.1 Configuration du scénario	43
3.3.2 Paramètres dérivés.....	44
3.3.3 Configuration du gNB et des UEs.....	45
3.3.4 Boucle de traitement.....	46
3.4 Test et résultat	48

3.4.1 Validation des paramètres	48
3.4.2 Les affectations RB	49
3.4.3 Planification MAC (UL et DL)	52
3.4.4 Les métriques RLC.....	55
3.4.5 Allocation de grille de ressources	57
3.5 Conclusion.....	58
Conclusion générale	59

Liste des figures

Figure 1. 1: Applications de la 5G [10].	4
Figure 1. 2: Transmission radio des antennes 4G et des antennes 5G : solution radio focalisante vs diffusante [9].	4
Figure 1. 3: Catégories d'usages de la 5G [3].	5
Figure 1. 4: Comparaisons entre 4G et de la 5G au niveau des 8 indicateurs de performance [3].	6
Figure 1. 5 : Slices standardisées de la 5G, caractéristiques et cas d'usage de la 5G [9].	7
Figure 1. 6: Spectre de 5G [5].	9
Figure 1. 7: MIMO massive [6].	9
Figure 1. 8: Architecture du réseau 5G [7].	10
Figure 1. 9: Architecture globale du NG-RAN [7].	11
Figure 1. 10: architecture du système 5GC [7].	12
Figure 2. 1: La transmission OFDM [13].	16
Figure 2. 2: La trame temporelle 5G-NR [13].	18
Figure 2. 3: La grille de ressources [13].	19
Figure 2. 4: Planification basée sur les créneaux TDD [14].	20
Figure 2. 5: Grille de ressources NR [14].	21
Figure 2. 6: Structure de créneau flexible pour la gestion dynamique des ressources TDD [14].	22
Figure 2. 7: Représentation d'un canal avec les blocs de ressources [12].	23
Figure 2. 8: Signaux physiques et couches physiques [12].	26
Figure 2. 9: Emplacement des signaux de signalisation [12].	29
Figure 2. 10 : La pile protocolaire de la 5G [2].	31
Figure 3. 1 : Opérations d'échangés entre gNB et UE.	32
Figure 3. 2 : Transmission et réception des paquets PUSCH et PDSCH.	33
Figure 3. 3 : Exemple de configuration du modèle TDD DL-UL.	34
Figure 3. 4 : Les étapes de configuration de modèle TDD UL – DL.	35
Figure 3. 5 : Schéma de principe de planification UL et DL.	37

Figure 3. 6 : Planification PDSCH et PUSCH	38
Figure 3. 7 : Planification des créneaux UL.....	38
Figure 3. 8 : Ordonnancement de liaison montante UL.....	39
Figure 3. 9 : Ordonnancement de liaison descendante DL.....	40
Figure 3. 10 : planification des symboles UL et DL.....	41
Figure 3. 11 : Transmission de données en mode UM.....	42
Figure 3. 12 : Définition de paramètre de simulation.....	43
Figure 3. 13 : Définition des paramètres dérivés.....	44
Figure 3. 14 : Création de gNB et UEs et configuration du canal logique.....	45
Figure 3. 15 : Visualisation de MAC et RLC.....	46
Figure 3. 16 : Visualisation d'exécution des symboles.....	47
Figure 3. 17 : Paramètre de simulation.....	48
Figure 3. 18 : Paramètres dérivés.....	49
Figure 3. 19 : Matrice N par P de la liaison descendante.....	50
Figure 3. 20 : Matrice N par P de la liaison montante.....	51
Figure 3. 21 : Mesure des performances du planificateur de liaison montante.....	52
Figure 3. 22 : Mesure des performances du planificateur de liaison montante.....	53
Figure 3. 23 : Le débit MAC pour UL et DL.....	53
Figure 3. 24 : Le bon débit MAC pour DL et UL.....	54
Figure 3. 25 : partage des ressources pour DL et UL.....	54
Figure 3. 26 : La mémoire tampon pour DL et UL.....	55
Figure 3. 27 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 1.....	56
Figure 3. 28 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 2.....	56
Figure 3. 29 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 3.....	56
Figure 3. 30 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 4.....	57
Figure 3. 31 : Allocation de ressources.....	58

Liste des tableaux

Tableau 1. 1: Comparaisons entre les performances de la 4G et de la 5G [3].	7
Tableau 2. 1: La structure de la trame temporelle [13].	18
Tableau 2. 2: Numérolgie et nombre de symboles par sous-trame [13].	19
Tableau 3. 1 : Paramètres de configuration TDD DL-UL.....	36
Tableau 3. 2 : Paramètres principaux de simulation.	44

Listes des acronymes et abréviations

3GPP AN	: 3rd Generation Partnership Project-Access Network
3GPP	: 3rdGeneration Partnership Project
4G	: 4 ^{ème} génération
5G	: 5 ^{ème} génération
5GC	: 5G Core Network
5G NR	: 5G New Radio interface
AMF	: Access and Mobility Management Function
AN	: Access Network
AF	: Application Function
Best-CQI	: Best-Channel Quality Indicator
BSR	: Buffer Status Report
C-RNTI	: Cell-Radio Network Temporary Identifier
CSI	: Channel State Information
CSI-RS	: Channel state information reference signal
CPE	: Common Phase Error
CP	: Control Plane
CP	: Cyclic Prefix
DN	: Data Network
DM-RS	: Demodulation reference signal
DL	: DownLink
DCI	: Downlink Control Information
eMBB	: Enhanced Mobile Broadband
FDD	: Frequency Division Duplexing
GSM	: Global System for Mobile Communications
HARQ	: Hybrid- Automatic Repeat reQuest
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	: Internet of Things
IMS	: IP Multimedia System
KPI	: key performance indicator
LTE	: Long Term Evolution
LDPC	: Low Density Parity Check
mMTC	: massive Machine Type Communications
MAC	: Medium access control
MU-MIMO	: Multi User- Multiple Input Multiple Output
MIMO	: Multiple Input Multiple Output
NEF	: Network Exposure Function
NRF	: Network Repository Function
NSSF	: Network Slice Selection Function
NG-RAN	: New Generation of Radio Access Network
gNB	: Next Generation Node Base Station
gNB-CU	: Next Generation Node Base Station unit Centrale
gNB-DU	: Next Generation Node Base Station units distribute
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PDCP	: Packet Data Convergence Protocol
PT-RS	: Phase tracking reference signal
PBCH	: Physical broadcast channel
PDSCH	: Physical down Link shared channel
PDCCH	: Physical downlink control channel
PRACH	: Physical random access channel
PUCCH	: Physical uplink control channel
PUSCH	: Physical uplink shared channel
PCF	: Policy Control Function
PSS	: Primary synchronization signal
PF	: Proportional Fair
PDU	: Protocol Data Unit
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation
QOS	: Quality of Service
RLC	: Radio link control
RNTI	: Radio Network Temporary Identifier
RSRP	: Reference Signal Received Power
RRH	: Remote Radio Head
RB	: Resource Bloc
RR	: Round Robin
SSS	: Secondary synchronization signal
SDAP	: Service Data Adaptation Protocol
SDU	: Service Data Unit
SIP	: Session Initiation Protocol
SMF	: Session Management Function
SMS	: Short message service
SFI	: Slot Format Indicator
SRS	: Sounding Reference Signal
SCS	: SubCarrier Spacing
IMT 2020	: Telecommunication Mobiles International 2020
AUSF	: The Authentication Server Function
TDD	: Time Division Duplexing
TCP/IP	: Transmission Control Protocol /Internet Protocol
TTI	: Transmission Time Interval
uRLLC	: Ultra-reliable and Low Latency Communications
UDM	: Unified Data Management
UIT	: Union International Telecommunication
UM	: Unreliable Mode
UL	: Uplink
UE	: User Equipment
UP	: User Plane
UPF	: User Plane Function

Introduction générale

Depuis quelques décennies, on observe un développement très rapide dans le domaine des communications sans fil, ce développement dans le but besoins croissants de débit, le caractère mobile du terminal, un contexte d'encombrement de la ressource spectrale. Les anciens systèmes mobiles ne permettent pas de répondre d'une manière optimale à ces besoins, en raison de la sélectivité en fréquence des canaux et des multiples trajets que peut emprunter un même signal.

Une nouvelle génération des réseaux mobiles, connue sous le nom de 5G NR, est en cours de standardisation à travers des améliorations apportées à son prédécesseur 4G/4G+.5G

NR va introduire un nouveau niveau de flexibilité, scalabilité et efficacité à fin de satisfaire plusieurs classes de services. Le mode de duplexage TDD est le plus favorable pour 5G NR grâce aux avantages qu'il représente par rapport au mode FDD en termes de capacité, flexibilité et convenance de déploiement avec les autres technologies attendues dans le cadre de la 5G. Une variante du TDD, connue sous le nom du dynamique TDD.

Attire de plus en plus l'attention. TDD est désigné pour l'adaptation des configurations dessous-trames DL et UL en se basant sur une estimation instantanée du trafic. Cependant, l'utilisation de ce mode n'nécessite l'implémentation des mécanismes capable de réduire deux types d'interférence additionnelle : l'interférence générée par les stations de bases qui impacte le signal UL des utilisateurs et l'interférence générée par les mobiles en UL qui interfère avec le signal DL des stations de base.

L'objectif est donc d'évaluer les performances de ces formes d'ondes dans 5G NR surtout en termes de débit, en ajoutant les différences par rapport à LTE. D'où le titre de ce présent mémoire : « Étude des performances de planification basée sur les symboles NR TDD en 5G ».

Pour atteindre cela, dans le premier chapitre on va s'initier aux généralités sur le réseau 5G. Puis le deuxième chapitre parlera de Planification des symboles NR en mode duplexage par répartition dans le temps TDD en 5G, enfin, dans le troisième chapitre on terminera par la simulation pour analyser les transmissions en voie descendante PDSCH en et en voie montante PUSCH.

Chapitre 1

Généralités sur le réseau 5G

1.1 Introduction

La 5G est la nouvelle génération des standards de la téléphonie mobile, cette évolution va être dépensée à chaque objet physique dans le monde et il sera connecté sur Internet sous le nouveau concept « IOT ». Absolument tout, des véhicules autonomes, aux robots chirurgicaux, en passant par les dispositifs de réalité virtuelle augmentée, les drones et, plus généralement les communications mobiles seront couvertes par une nouvelle tranche de bande passante située entre 6 GHZ et 300GHZ. Une partie de cette tranche sera sous licence, mais une grande partie libre [1].

1.2 Les réseaux 5G

Ils s'articulent autour de trois axes de développement à savoir :

Les débits : dans la continuité de réseaux actuels et pour faire face à la demande croissante de trafic, les réseaux 5G devront permettre d'atteindre des débits jusqu'à dix fois plus grands qu'en 4G.

La latence : le temps de réponse des réseaux 5G sera divisé par 10 par rapport à la 4G, pour permettre le développement de nouveaux usages comme la voiture autonome ou la télémédecine.

La densité : la 5G embarque l'Internet des objets IoT et devra donc gérer des millions de connexions [2].

1.3 Les éléments clés de la 5G

Pour l'exposition, dans les nouvelles bandes de fréquences nous trouvons ce qui suit :

- Les antennes à faisceaux orientables vers les utilisateurs.
- Des bandes de fréquences plus larges.
- Des faisceaux plus fins.
- Une exposition alternée (mode TDD).

Et les conséquences attendues sont :

- Un niveau d'exposition moindre en dehors des faisceaux.
- Un niveau d'exposition plus grand dans le faisceau.
- Une durée d'exposition plus faible [2].

1.4 Les standards de la 5G

Les activités de normalisation de 5G dans l'ITU, 3GPP, IEEE sont représentés ou dessous :

UIT-R : le groupe de travail 5G dirige le standard de radio communication de l'UIT-R en 2012 pour l'objectif de développer des exigences pour une interface aérienne de communication mobile 5G.

IEEE : organisme de l'institut des ingénieurs électriciens et électroniciens permet de traiter les réseaux métropolitains, IEEE 802.15 pour les réseaux personnels sans fil (WPAN), IEEE 802.11 une norme de Gbit (IEEE 802.11 ac de 5G pour les hautes fréquences) (IEEE 802.11 ad) pour les ondes millimétriques de 60 GHz sont des systèmes découlent en 2013 vers l'année 2020.

3GPP : une organisation de communication mobile écrite des spécifications techniques pour 2G GSM, 3G WCDMA/ HSPA, 4G LTE et 5G NR. les technologies 3GPP sont plus largement déployées au monde, avec plus de 95% des 7.8 milliards d'abonnements mobiles dans le monde au quatrième trimestre 2017 [3].

1.5 Applications visées pour le réseau de 5G

La 5G fournira la connectivité sans fil pour un large éventail de nouvelles applications présentées sur la Figure 1, La 5G va pénétrer dans chacun des éléments de notre société future et créer un écosystème d'information multidimensionnel centré sur l'utilisateur. Elle va briser la limitation de temps et d'espace pour permettre une expérience utilisateur immersive et interactive. La 5G raccourcira également la distance entre l'homme et les choses, et mettre en œuvre une intégration transparente pour réaliser une interconnexion facile et intelligente entre les personnes et toutes les choses. 5G nous permet de réaliser la vision : « L'information est à portée de main, et tout sera resté en contact » [4].

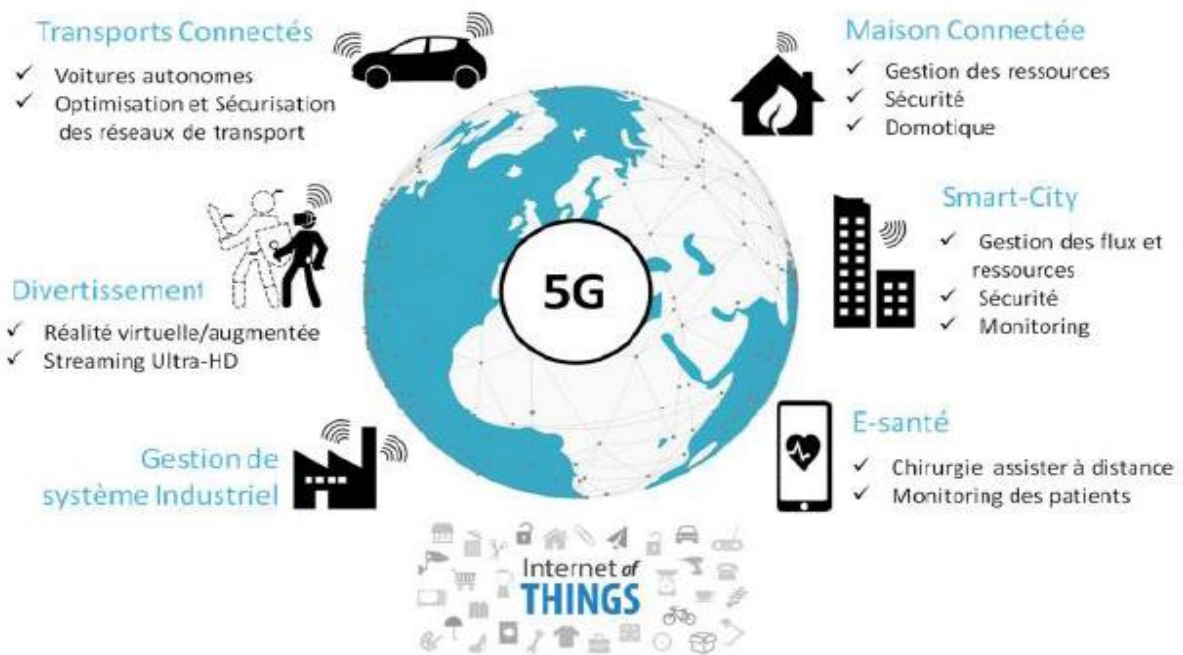


Figure 1. 1: Applications de la 5G [4].

1.5.1 Respect environnemental

La 5G consomme dix fois moins d'énergie que la 4G, à montant égal de données transportées. Plus globalement, le réseau 5G répond à un enjeu environnemental, avec un potentiel fort d'économie d'énergie et une meilleure maîtrise de la diffusion des ondes. Les différentes technologies radio 5G permettent de diminuer la consommation en énergie du réseau et des terminaux (High energy efficiency). Le fait que la 5G soit focalisante, et non diffusante, évite d'arroser l'espace environnant d'ondes électromagnétiques permettant ainsi de mieux maîtriser leurs effets sur les individus [5].



Figure 1. 2: Transmission radio des antennes 4G et des antennes 5G : solution radio focalisant vs diffusante [5].

1.6 Les familles d'usage de la 5G

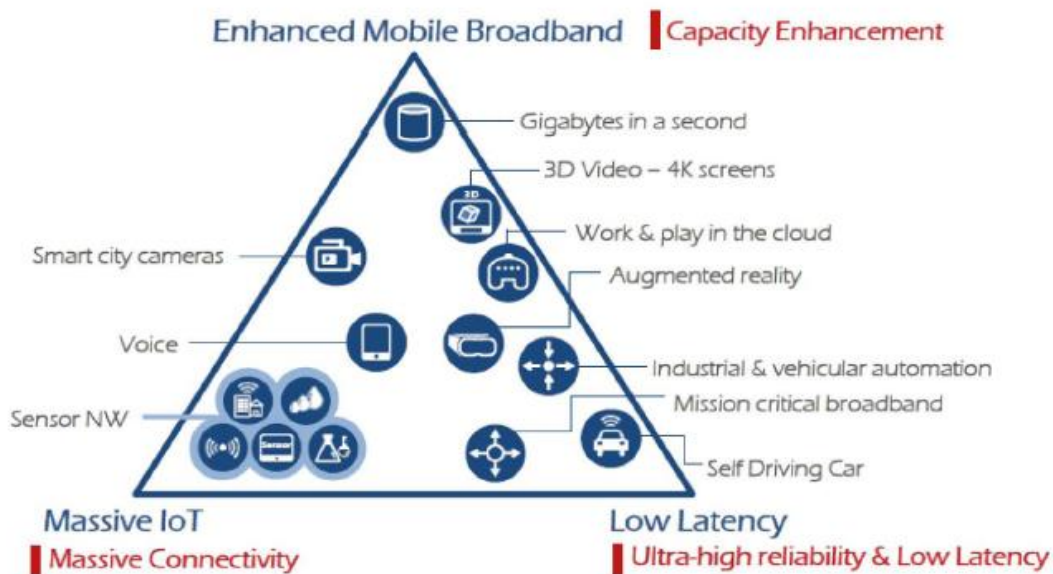
Trois grandes catégories d'usages (définies par l'UIT, sous le terme IMT- 2020), avec leurs exigences respectives et potentiellement incompatibles entre elles, sont en train d'émerger et permettraient de répondre aux besoins métier mentionnés en introduction :

L'mMTC : communications entre une grande quantité d'objets avec des besoins de qualité de service variés. L'objectif de cette catégorie est de répondre à l'augmentation exponentielle de la densité d'objets connectés.

L'eMBB : connexion en ultra haut débit en outdoor et en indoor avec uniformité de la qualité de service, même en bordure de cellule.

L'uRLLC : communications ultra-fiables pour les besoins critiques avec une très faible latence, pour une réactivité accrue.

La Figure 3 présente le résumé des trois cas d'utilisation de la 5G dans les différents domaines d'applications, tous ces services diffèrent par qualité de service qui est requise.



(Source: ETRI graphic, from ITU-R IMT 2020 requirements)

Figure 1. 3: Catégories d'usages de la 5G [6].

Le premier groupe (mMTC) englobe principalement tous les usages liés à l'Internet des objets. Ces services nécessitent une couverture étendue, une faible consommation énergétique et des débits relativement restreints. L'apport annoncé de la 5G par rapport aux technologies actuelles réside dans sa capacité à connecter des objets répartis de manière très dense sur le territoire.

L'ultra haut débit (eMBB) concerne tous les applications et services qui nécessitent une connexion toujours plus rapide, pour permettre par exemple de visionner des vidéos en ultra haute définition (8K) ou de « streamer » sans-fil des applications de réalité virtuelle ou augmentée.

Les communications ultra-fiables à très faible latence (uRLLC) regroupent toutes les applications nécessitant une réactivité extrêmement importante ainsi qu'une garantie très forte de transmission du message. Ces besoins se retrouvent principalement dans les transports (temps de réaction en cas de risque d'accident, par exemple), dans la médecine (téléchirurgie), et de manière générale, pour la numérisation de l'industrie.

Afin de mettre n'œuvre ces trois types d'usages, huit indicateurs de performance KPI ont été établis par l'UIT pour préciser, quantifier et mesurer les caractéristiques de systèmes IMT-2020 (5G) [6].

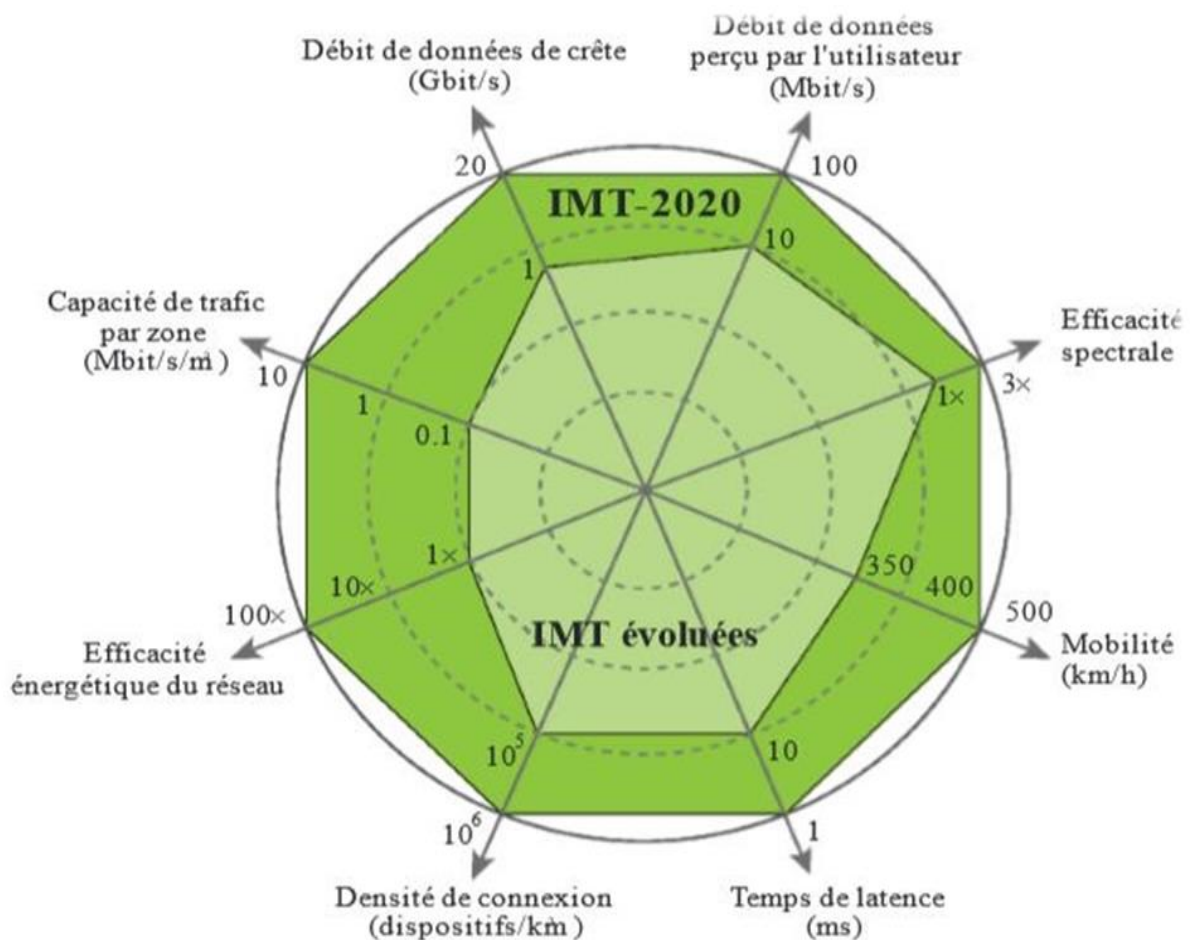


Figure 1. 4: Comparaisons entre 4G et de la 5G au niveau des 8 indicateurs de performance [6].

Le tableau ci-dessous résume les performances attendues de la 5G et celles qui sont actuellement disponibles avec la 4G :

Performances/Génération	4G	5G
1. Débit maximal (Gbit/s)	1	20
2. Débit aperçu par l'utilisateur (Mbit/s)	10	100
3. Efficacité spectrale	1x	3x
4. Vitesse (km/h)	350	500
5. Latence (ms)	10	1
6. Nombre d'objets connectés sur une zone (quantité d'objets/km ²)	10 ⁵	10 ⁶
7. Efficacité énergétique du réseau	1x	100x
8. Débit sur une zone (Mbit/s/m ²)	0.1	10

Tableau 1. 1: Comparaisons entre les performances de la 4G et de la 5G [6].

Chacune de ces familles d'usages regroupe donc des différents services :

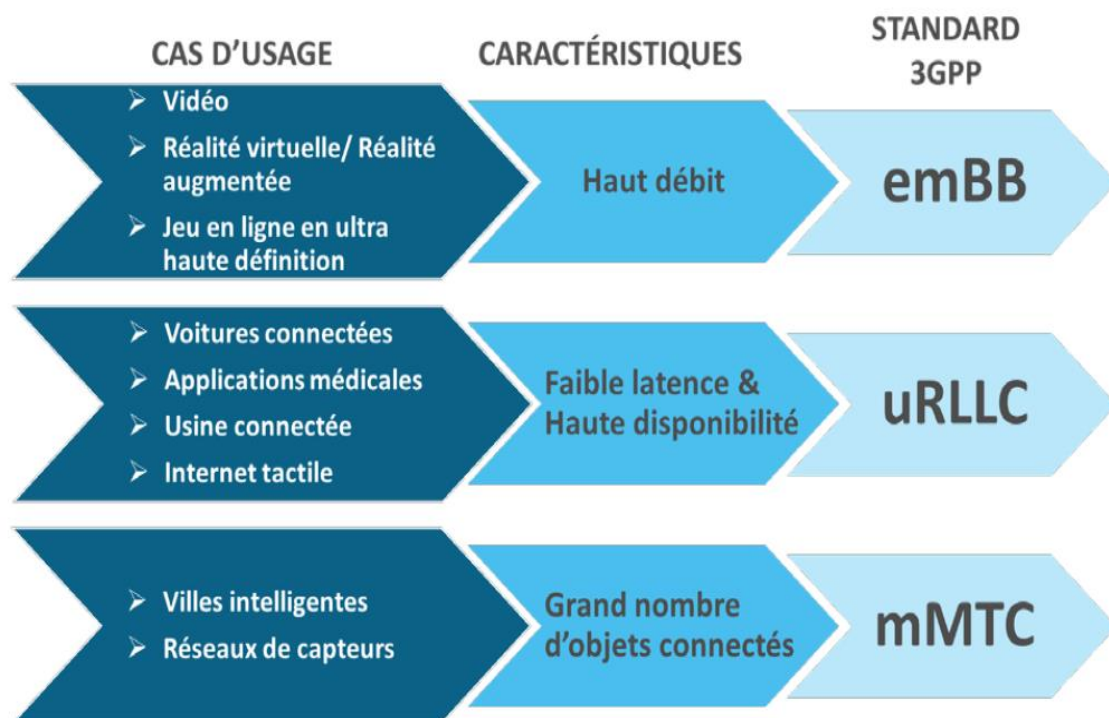


Figure 1. 5 : Slices standardisées de la 5G, caractéristiques et cas d'usage de la 5G [5].

1.7 Les services définis en 5G

- **Service de connectivité PDU** : Un service qui permet à une UE d'être membre d'un réseau de données par l'intermédiaire d'un réseau 5G, la session PDU est l'association entre une UE et un réseau de données.
- **Service de messages courts SMS** : Les réseaux 5G peuvent transporter des SMS dans des messages de signalisation, et même format et protocoles de SMS que pour les générations précédentes.
- **Services multimédias IMS** : Infrastructure basée sur IP pour fournir un large éventail de services conversationnels, l'IMS utilise le protocole SIP.
- **Services de notification** : Souhait des opérateurs mobiles de ne pas être cantonnés à du transport d'octets.
- **Service de géolocalisation** : Service basé sur la localisation qui fournit par l'opérateur télécom ou un tiers qui utilise l'information de localisation du terminal [7].

1.8 La construction d'un réseau 5G

Elle repose sur un certain nombre d'éléments :

1.8.1 Les fréquences utilisées en 5G

Le spectre 5G se répartit en trois grandes bandes de fréquence dont les caractéristiques sont différentes et peuvent influencer la couverture et les stratégies de déploiement.

- **Fréquences basses « entre 650 MHz et 1 GHz »** : Les basses fréquences - de 650 MHz au plus bas, jusqu'à 1 GHz environ - sont particulièrement prisées par les opérateurs de téléphonie mobile qui déploient la 5G.
- **Fréquences moyennes : « sub-6 GHz » et ruée sur le spectre** : La plupart des gains de performance et d'efficacité promises par la technologie 5G repose sur des parties du spectre proches du WiFi, dont la gamme de fréquence dite « sub-6 GHz » se situe entre 2,4 GHz et 6 GHz. Cette caractéristique oblige les fournisseurs de services habitués à jouer avec le spectre sans fil à changer de stratégie.
- **L'onde millimétrique** : Il n'y a tout simplement pas assez d'espace disponible dans les fréquences sub-6 GHz et 1 GHz qui comptent parmi les plus recherchées. Heureusement, il y a la technologie des ondes millimétriques, qui fonctionne entre 24 et 60 GHz, ces bandes de fréquences particulièrement élevées permettent des canaux de

transmission particulièrement larges, et donc des vitesses de connexion fulgurantes.

Mais elles ont aussi beaucoup d'inconvénients [8].

L'Access mobile 5G permette d'augmenter les volumes de données mobiles pris en charge, la grande fiabilité, la faible latence, la quantité, qualité et efficacité d'utilisation du spectre sera un facteur de succès pour la 5G.

Le spectre de fréquence de haut débit mobile devra « 1340-1960 Mhz » d'ici 2020 avec une capacité des trafics de réseau mobile 1000 fois plus élevée que des autres technologies [3].

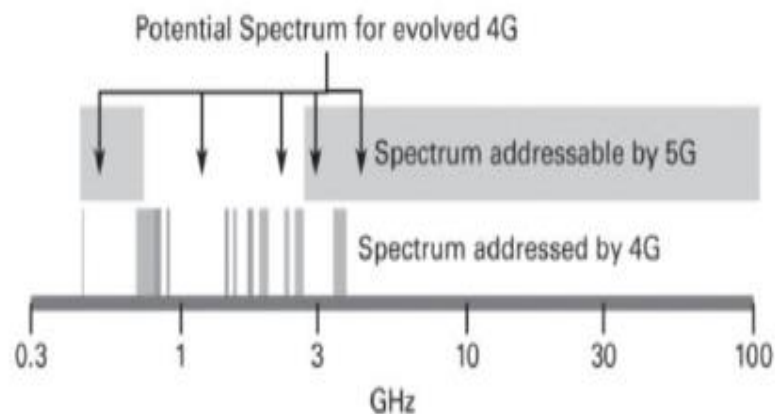


Figure 1. 6: Spectre de 5G [3].

1.8.2 MIMO massive

Cette technologie se caractérise par l'utilisation d'un nombre élevé de micro antennes « intelligentes » sur un seul équipement (de 8 à 128 actuellement, mais le nombre augmentera avec l'utilisation de fréquences à 6GHz). L'attrait d'utilisation du massive MIMO est double :

- Permet d'augmenter les débits grâce au multiplexage spatiotemporel.
- Permet de focaliser l'énergie sur un terminal pour améliorer son bilan de liaison [9].

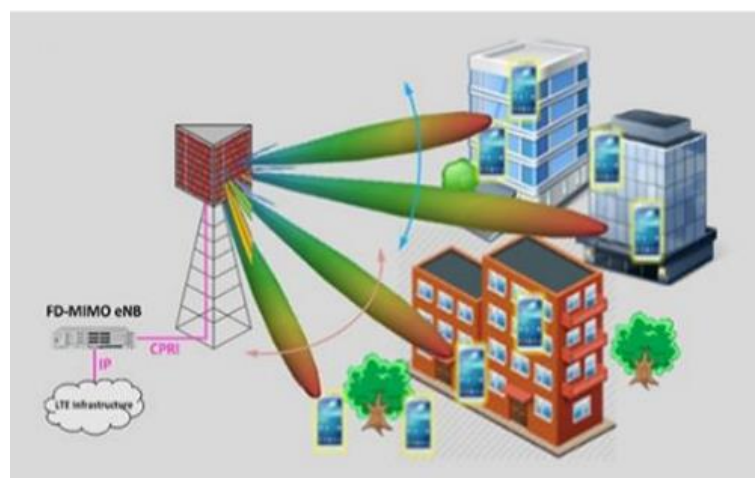


Figure 1. 7: MIMO massive [9].

1.8.3 Duplexage

Dans les bandes de fréquences déjà allouées à la téléphonie mobile, la 5G continuera d'utiliser le duplexage FDD, fondé sur une séparation en fréquences, et pour les nouvelles bandes de fréquences ouvertes, un duplexage temporel, dit TDD, a ainsi été retenu pour notamment mieux tirer parti de tout le spectre disponible.

La 5G possède aussi un système qui permet de rerouter les données sur les mêmes fréquences afin de fluidifier le réseau et l'expérience utilisateur, au même moment et au même endroit (Full Duplex) [10].

1.8.4 L'architecture de réseau 5G

Un réseau 5G est composé d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau coeur 5G. Le réseau d'accès lui-même est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NG-RAN), qui utilise la nouvelle interface radio 5G(NR), et/ou un non 3GPP AN connecté au réseau cœur 5G. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport TCP/IP sous-jacent, qui prend en charge les fichiers QOS [1].

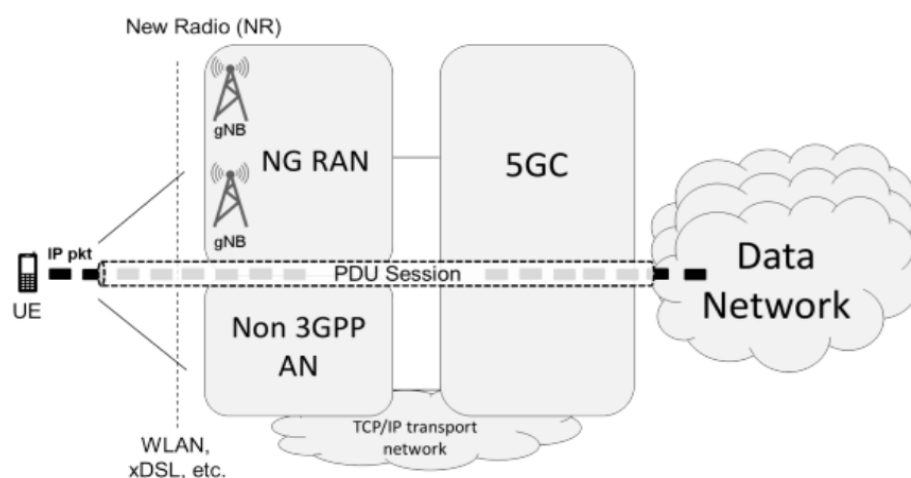


Figure 1. 8: Architecture du réseau 5G [1].

Comme les générations précédentes, un réseau 5G connecte l'équipement utilisateur (UE) à des réseaux de données. Le service de connectivité 5G est nommé Session PDU. Depuis un transport point de vue, une session PDU se fait par une séquence de tunnels NG en 5GC, et d'un ou plusieurs supports radio sur l'interface radio. Cet ensemble de "tuyaux" finalement connecte l'UE à ses fonctions de contrôle et au réseau de données externe pour l'utilisateur échange de trafic. Une tâche majeure du réseau mobile est d'établir et de libérer les tunnels et

les porteurs de manière dynamique, afin de suivre les mouvements et les états des utilisateurs (inactif, connecté, etc.) [11].

❖ Réseau d'accès radio de nouvelle génération (NG-RAN)

Comme le montre la Figure 1.9, le NG-RAN se compose d'un ensemble de stations de base 5G, appelées gNB, qui sont connectées au 5GC via un ensemble d'interfaces logiques.

La fonctionnalité d'un gNB est parfois distribuée. Dans ce cas, l'architecture résultante est formée par une unité centrale (gNB-CU) qui contrôle une ou plusieurs unités réparties (gNB-DU) via l'interface F1. Une unité distribuée est connectée à une tête radio distante (RRH), c'est-à-dire à l'émetteur-récepteur radio réel. L'unité centrale est à nouveau divisée en deux parties, une pour les fonctions du plan de commande (gNB-CU-CP) et une pour les fonctions du plan utilisateur (gNB-CU-UP) [1].

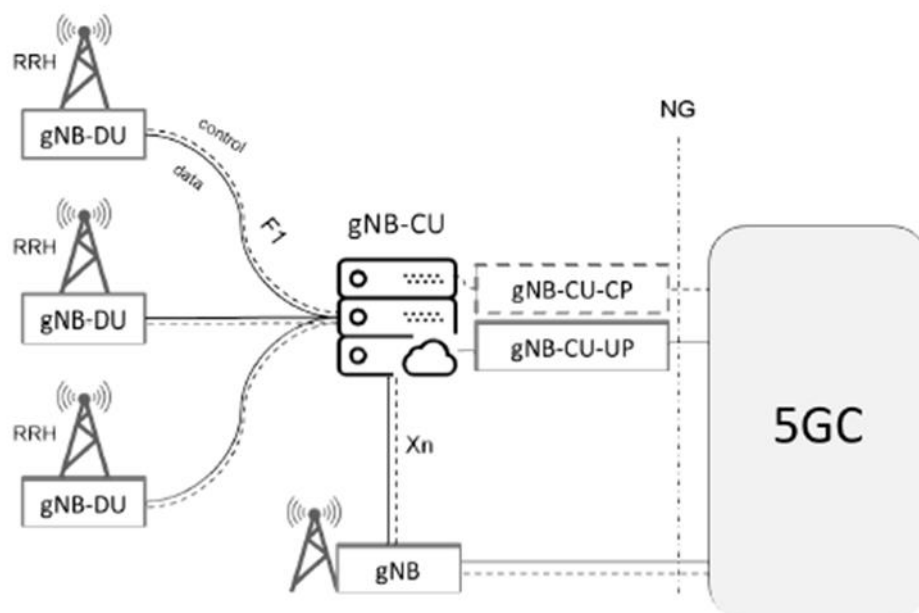


Figure 1. 9: Architecture globale du NG-RAN [1].

❖ L'architecture de Réseau central (5GC)

La décomposition des fonctions exécutées par les noeuds de réseau des générations précédentes a conduit à une architecture 5G complètement définie en termes de fonctions de réseau exposées sous forme de services.

Comme se produit dans le NG-RAN, il y a une séparation entre les plans contrôle et utilisateur. Dans le plan utilisateur, il y a une ou plusieurs fonctions UP (UPFs), qui

effectuent principalement le transfert de paquets entre les différents tunnels de NG-U qui forment la session PDU. Toutes les autres fonctions du réseau appartiennent au plan contrôle. Un autre changement radical par rapport aux générations précédentes est la modélisation d'interface, qui a été passée de " l'orientation-bit point à point " (bit-oriented point-to-point) vers " l'orientation-web basé-service " (web-oriented service-based). En effet, 5GC a une architecture basée sur le service applicable par tout, les procédures sont définies comme des services de sorte qu'il est possible de les réutiliser [1].

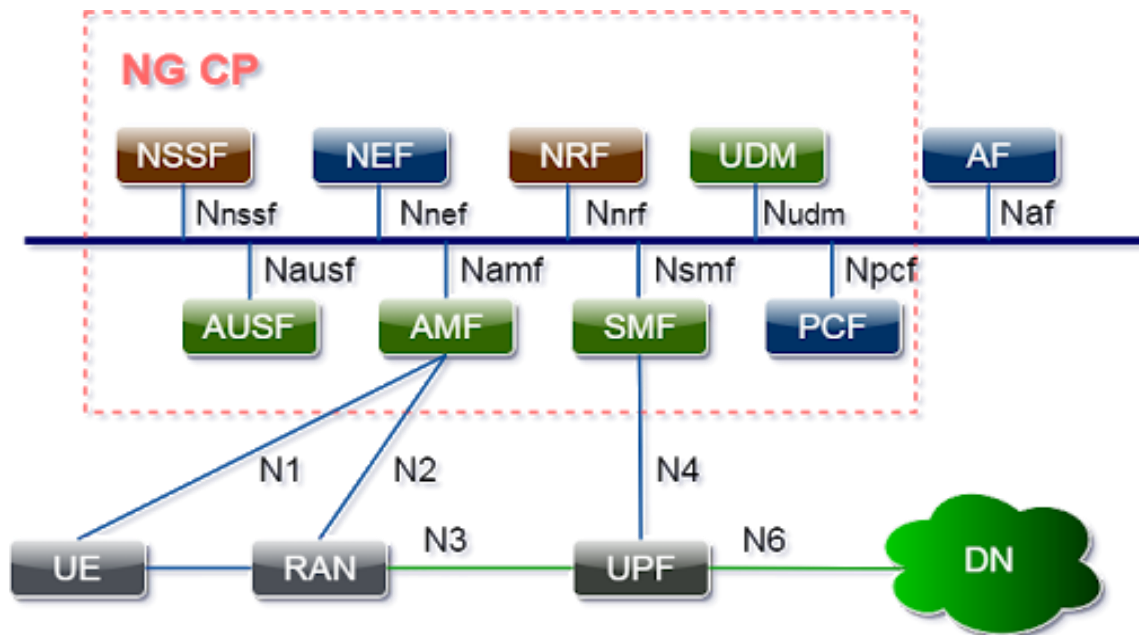


Figure 1. 10: architecture du système 5GC [1].

Les différents noeuds de réseau et leurs fonctions :

- 1- Le plan utilisateur UP : sa fonction est de gérer la transmission des tunnels NG-U et les services de chemin de données associés, telle que l'ancrage pour le transfert, les QOS et l'application de la politique circulation.
- 2- Gestion de session SMF : est la partie contrôle d'une session PDU. En d'autres termes, elle configure des tunnels NG, attribue des adresses IP avec DHCP, et configure le pilotage du trafic (vers un tiers ou un nuage périphérique). Il peut y avoir plusieurs fichiers SMF associés à une UE, bien qu'un seul par tranche.
- 3- Gestion d'accès et de mobilité AMF : gère toutes les signalisations de 5GC provenant et aller à l'UE. Contrairement au SMF, c'est une seule fonction présentée dans plusieurs tranches. Il prend en charge l'accès d'utilisateur au réseau et gérer la mobilité en interagissant avec l'UE et avec d'autres NFS.

- 4- Serveur d'authentification AUSF : il prend en charge l'authentification pour les accès 3GPP et non 3GPP.
- 5- Gestion de données unifiées UDM : peut-être considéré comme un référentiel pour les informations telles que : identifiants, les détails de l'AMF et l'affectation SMF pour la session en cours.
- 6- Contrôle de politique PCF : est une entité unifiée fournissant des règles (QOS, filtrage, charge, etc.) à d'autres fonctions de plan contrôle telles que SMF.
- 7- Sélection de tranches de réseau NSSF : sélectionne l'ensemble des tranches de réseau desservant l'UE ainsi que le meilleur AMF pour cette fin.
- 8- Exposition du réseau NEF : expose les capacités des réseaux et les événements des réseaux UE pour une 3eme partie, fonctions d'application, et d'autres fins.
- 9- Référentiel réseau NRF : découvre les instances de fonction réseau lorsqu'il vise une demande de découverte NF à partir d'une instance NF.
- 10- Application AF : repose un serveur d'applications pouvant interagir avec l'autre NFS de contrôle. AFs peut s'exister des services d'applications différents, et peut être renversé par un opérateur réseau [1].

1.9 Conclusion

Il est prévu que la 5G supporte des vitesses de connexion très haut débit largement plus rapides et une utilisation des données nettement plus intensive que les générations précédentes, tout en permettant de réaliser le plein potentiel de l'Internet des Objets.

La 5G demande une quantité importante de nouvelles fréquences mobiles harmonisées.

La 5G offre non seulement tout cela à plus grande échelle, mais permet également de connecter la voiture, la ville et encore l'usine au réseau. En effet, la 5G offre plusieurs caractéristiques nouvelles dont notamment, le très haut débit garanti et la faible latence qui va bouleverser les usages et les marchés.

Chapitre 2

Planification des symboles NR TDD en 5G

2.1 Introduction

Le pilier de tout système de communication mobile est sa technologie d'accès sans fil, qui relie des appareils à des stations de base radio. Une technologie d'accès sans fil 5G devrait fournir des débits de données extrêmes, une couverture omniprésente, une fiabilité extrême, une latence très faible, une efficacité énergétique élevée et un grand nombre de connexions hétérogènes.

La couche physique constitue l'épine dorsale de 5G NR, elle doit prendre en charge une large gamme de fréquences (de moins de 1 GHz à 100 GHz) et diverses options de déploiement (pico cellules, microcellules, macrocellules). Pour relever ces défis avec succès, le 3GPP développe une couche physique flexible pour NR. Cette couche physique est chargée de la transmission effective des signaux, elle est constituée d'équipements supportant les technologies de modulation de la technique d'accès [12].

Le canal d'une station de base vers les mobiles définit la liaison descendante, et le canal des mobiles vers la station de base définit la liaison montante, alors on peut parler du mode de communication TDD et FDD.

Dans TDD, il est possible que le slot ne soit pas configuré pour être entièrement utilisé pour la liaison descendante ou pour la liaison montante. Semblable au système LTE TDD, une période de garde est nécessaire pour que l'émetteur-récepteur passe de la liaison descendante à la liaison montante et pour permettre une avance temporelle dans la liaison montante [13].

Ce chapitre va donner un aperçu général de la planification basée sur les symboles NR TDD en 5G et donc analyser l'exploitation des ressources temporelles et fréquentielles par 5G NR, ainsi que les signaux et canaux utilisés pour répondre aux défis de la 5G.

2.2 Numérologie et structure de la trame

À l'instar de la 4G, l'interface radioélectrique 5G-NR utilise la modulation OFDM puisque celle-ci se révèle être la plus efficace dans le cas des transmissions multitrajets (propagation en champs libres) [14].

2.2.1 La modulation OFDM

La modulation OFDM est une modulation multiporteuse orthogonale, elle transmet un bloc de données binaires sur un grand nombre de porteuses en même temps. On définit ainsi le domaine fréquentiel de la transmission 5G par la largeur

de sa bande de fréquence, c'est-à-dire par le nombre de sous-porteuses utilisées multiplié par l'espacement entre sous-porteuses.

L'orthogonalité se traduit par la durée de la transmission d'un symbole qui est inversement proportionnelle à l'espacement entre sous-porteuses. Ainsi, si les sous-porteuses sont espacées de 15 kHz, la durée de la transmission d'un symbole est de 66,67 μ s ($1/15$ kHz)

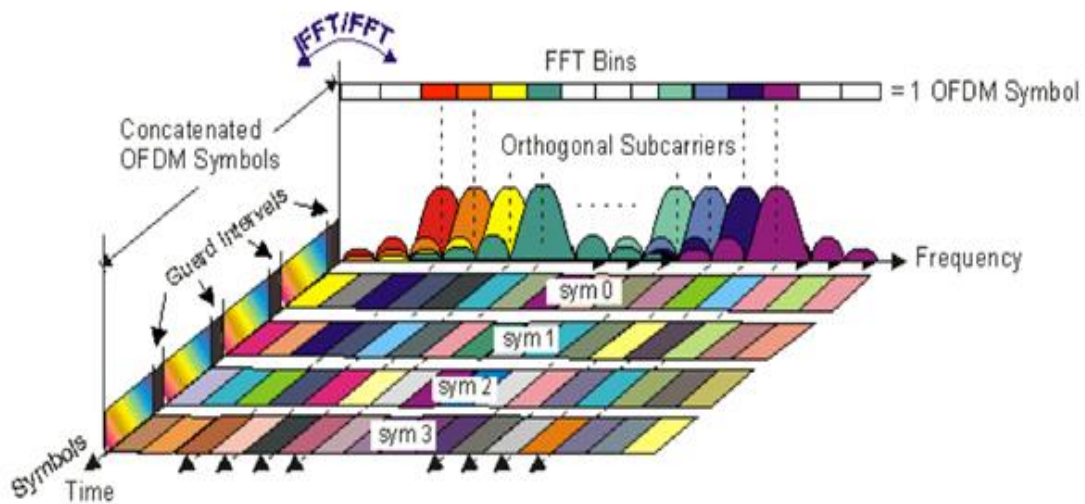


Figure 2. 1: La transmission OFDM [13].

Le bloc de données à transmettre est une suite binaire. La modulation OFDM permet de faire une modulation M-QAM sur chacune des porteuses.

À titre d'exemple, pour une modulation 64-QAM, 6 bits sont modulés par sous-porteuse. Les 6 bits forment un symbole [14].

Une station de base 5G peut moduler au plus 3300 sous-porteuses. Si les sous-porteuses sont espacées de 30 kHz alors la largeur de bande 5G est de 99 MHz et la durée d'un symbole est de 33,33 μ s.

Ainsi, si la station de base transmet le bloc de données sur 3300 sous-porteuses simultanément, alors dans le cas d'une modulation 64-QAM, la station de base gNB pourrait potentiellement transmettre $3300 \times 6 = 19\,800$ bits pendant la durée d'un symbole de 33,33 μ s.

Si le bloc de données à transmettre est supérieur à 19 800 bits, alors la station de base va émettre les bits restants sur le(s) symbole(s) suivant(s) (33,33 μ s suivantes).

La modulation OFDM est donc une modulation qui exploite le domaine fréquentiel (nombre de sous-porteuses) et le domaine temporel (durée d'un symbole).

Pour la 5G, on définit :

- dans le domaine fréquentiel, un bloc de ressource RB qui correspond à 12 sous-porteuses contiguës ;
- dans le domaine temporel, un slot correspond à 14 symboles consécutifs.

2.2.2 Structure de trame

Afin d'organiser la transmission de données, et synchroniser les récepteurs, les transmissions en liaison descendante et montante sont organisées en trames d'une durée de 10 ms, chacune est découpée en dix sous-trames de 1 ms. Chaque trame est divisée en deux demi-trames de taille égale à cinq sous-trames :

- la demi-trame 0 est composée des sous-trames 0 à 4.
- La demi-trame 1 est composée des sous-trames 5 à 9.

Pour l'interface LTE, la sous-trame est composée de deux intervalles de temps (*slot*). Attention, la notion de slot en 4G est différente de la notion de slot en 5G : un slot LTE correspond à 7 symboles OFDM consécutifs (trame normale) de durée 0,5 ms. La valeur de l'intervalle de temps de transmission 4G-TTI correspond à la durée de la sous-trame et à une valeur fixe égale à 1 ms car l'espacement entre sous-porteuses est de 15 kHz.

Pour l'interface NR, le slot est composé de 14 symboles OFDM consécutifs (trame normale). La valeur de l'intervalle de temps de transmission 5G-TTI correspond à la durée d'un slot. La valeur 5G-TTI dépend de l'espacement entre les sous-porteuses (Tableau 2. 1) [14].

Espacement entre les sous-porteuses	Nombre de slots par sous-trame	Nombre de slots par trame	TTI
15 kHz	1	10	1 ms
30 kHz	2	20	0,5 ms
60 kHz	4	40	0,25 ms
120 kHz	8	80	0,125 ms
240 kHz	16	160	0,0625 ms

Tableau 2. 1: La structure de la trame temporelle [14].

L'espacement entre sous-porteuses SCS est défini par la formulation suivante :

$SCS = 2^\mu * 15 \text{ kHz}$, avec μ la numérologie.

Si $\mu = 0$, l'espacement est de 15 kHz, si $\mu = 1$ l'espacement est de 30 kHz, ainsi, on parle de numérologie.

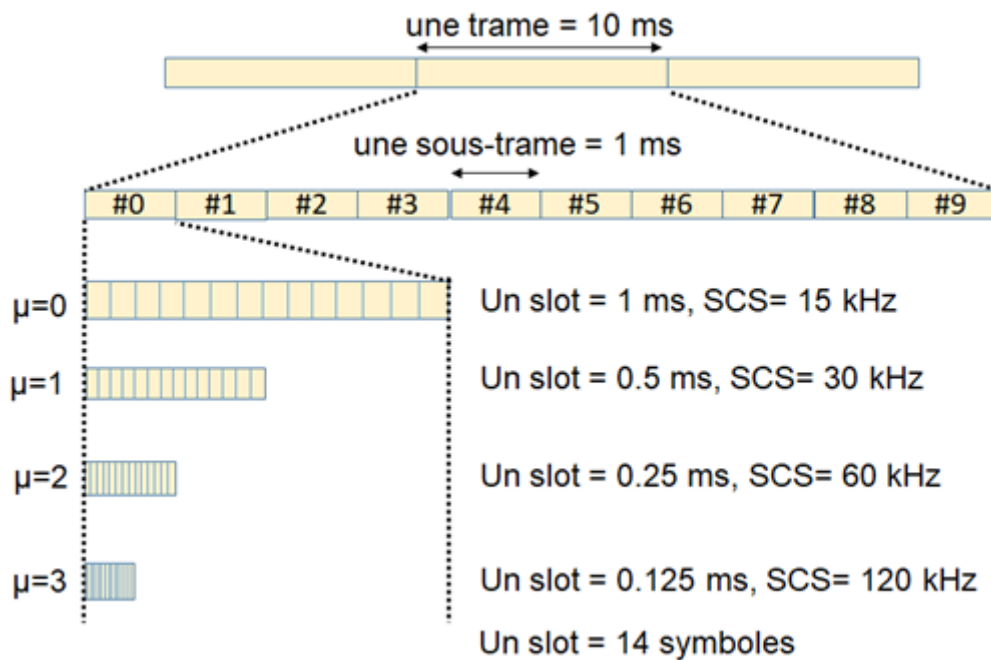


Figure 2. 2: La trame temporelle 5G-NR [14].

Un élément de ressource RE constitue la plus petite unité pouvant être attribuée à un signal de référence (Figure 2. 1). L'élément de ressource RE correspond à un symbole OFDM dans le domaine temporel, et à une sous-porteuse dans le domaine fréquentiel. Il est ainsi repéré par la paire (k,l) , k représentant l'indice de la sous-porteuse et l , l'indice du symbole OFDM dans le domaine temporel par rapport à un point de référence relatif.

La grille de ressources est une allocation de ressources tempo fréquentiel correspondant aux ressources d'un port d'antenne. Elle est constituée d'un ensemble de symboles par sous-trame (Tableau 2. 2) dans l'espace temporel et d'un ensemble de sous-porteuses contiguës dans le domaine fréquentiel.

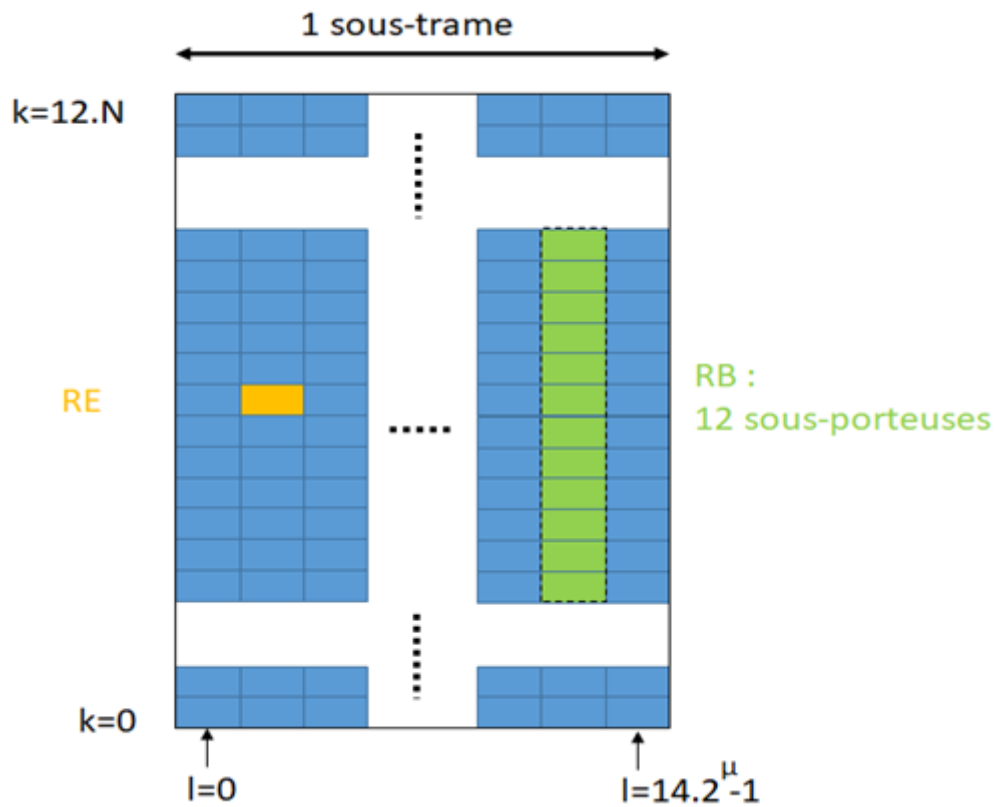


Figure 2. 3: La grille de ressources [14].

Pour mieux comprendre la table 2, nous allons présenter la numérologie dans le domaine temporel sur la Figure 2. 2 [14].

Numérologie	Nombre de symboles par slot	Nombre de slots par sous-trame	Nombre de symboles par sous-trame
0	14	1	14
1	14	2	28
2	14	4	56
3	14	8	112
4	14	16	224

Tableau 2. 2: Numérologie et nombre de symboles par sous-trame [14].

2.2.3 Configurations de créneau

Les configurations des créneaux varient selon l'espacement des sous-porteuses, la durée des créneaux diminue lorsque cet espacement augmente. La Figure 2. 4 représente les configurations de créneau NR standard [15].

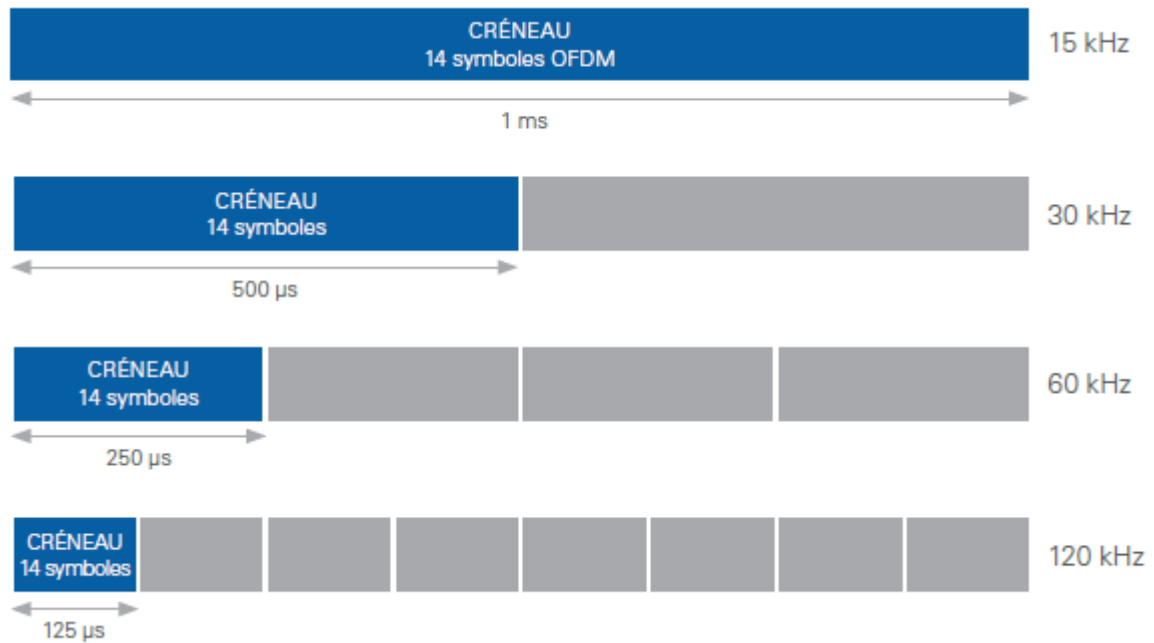


Figure 2. 4: Planification basée sur les créneaux TDD [15].

Le nombre de créneaux contenus dans une trame varie également selon le choix de la numérologie.

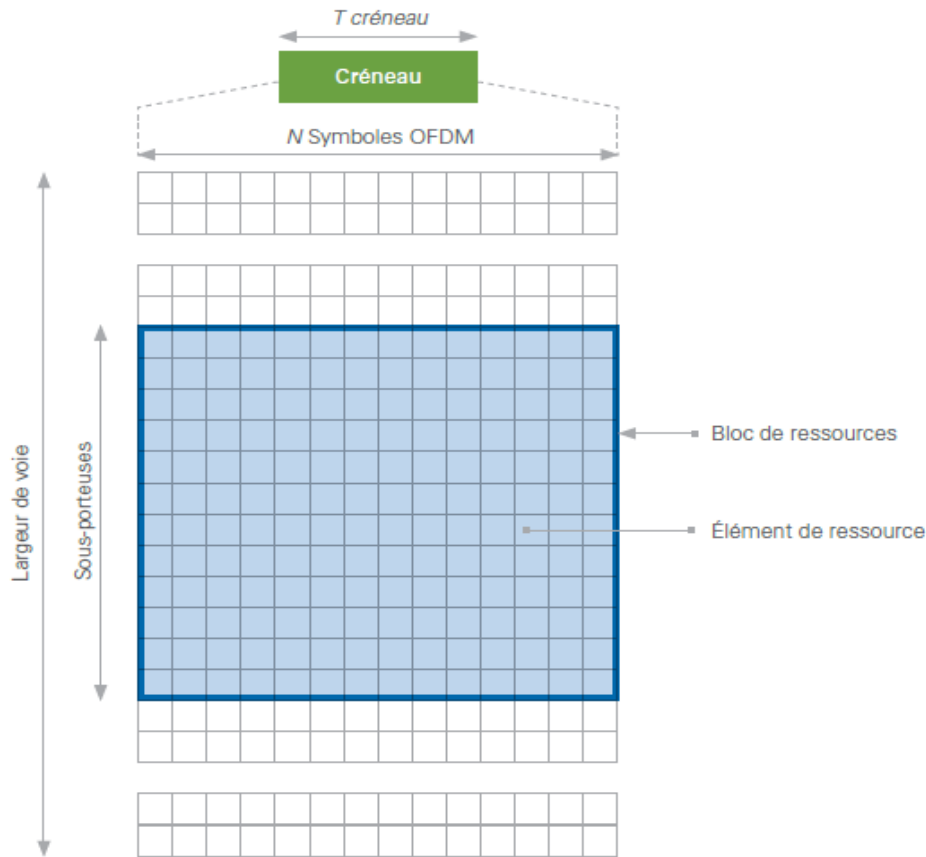


Figure 2. 5: Grille de ressources NR [15].

Pour permettre une utilisation efficace et souple des ressources TDD, la NR fait également appel à une structure de créneau flexible. Comme le montre la Figure 2. 6, le système peut définir un créneau comme étant un créneau de liaison descendante uniquement, de liaison montante uniquement, ou de liaison descendante et montante dans le cas d'un trafic asymétrique. La commande de liaison descendante a lieu au début du créneau et celle de liaison montante, à la fin du créneau. Le système peut configurer le créneau mixte de liaison descendante/montante de manière statique, comme c'est le cas dans une configuration TDD DL/UL LTE, ou de manière dynamique pour une meilleure efficacité et une planification en fonction des besoins du trafic.

Pour ce faire, la norme NR inclut un indicateur de format de créneau (SFI), c'est-à-dire un champ indiquant à l'utilisateur si un symbole OFDM contient des créneaux de liaison descendante, montante ou mixte (liaison montante ou descendante). Le SFI indique le sens de la liaison pour un ou plusieurs créneaux

en indexant une ligne de la table préconfigurée d'affectations possibles de sens de liaison de l'UE [15].

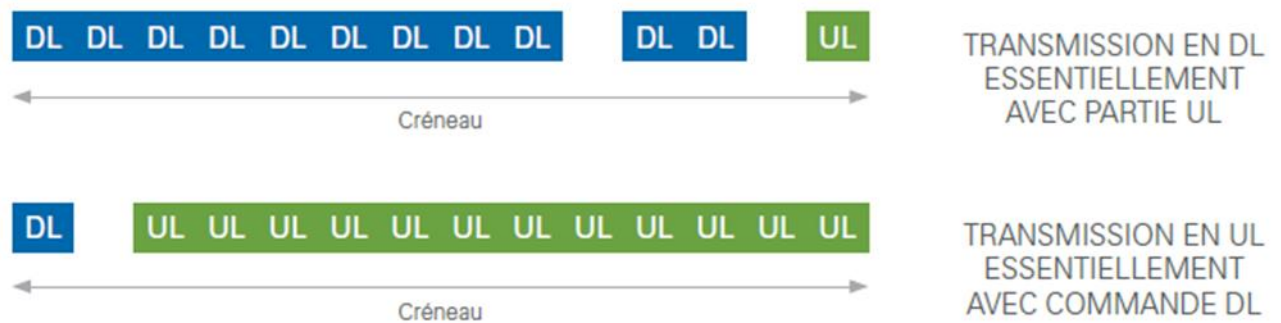


Figure 2. 6: Structure de créneau flexible pour la gestion dynamique des ressources TDD [15].

Par ailleurs, lorsque le système doit travailler avec d'importantes quantités de données utiles n'exigeant pas une attention immédiate, la norme permet un regroupement des créneaux.

Dans le cas de l'eMBB, par exemple, le fait de disposer de créneaux regroupés et de temps de transmission plus longs permet de répondre aux besoins des applications tout en réduisant la surcharge de signalisation et de commutation TDD [15].

2.2.4 Les mini-créneaux

Les mini-créneaux permettent une planification encore plus dynamique.

Afin de prendre en charge les transmissions asynchrones par rafales, la norme NR envisage également l'utilisation de « mini-créneaux » ayant des positions de début variables et des durées inférieures au créneau type de 14 symboles. Un mini-créneau représente la plus petite unité de planification possible et peut correspondre, en termes de durée, à 7, 4 ou 2 symboles OFDM. Les mini-créneaux sont particulièrement utiles pour les transmissions à faible latence.

Prenons l'exemple d'un futur système critique (URLLC) devant communiquer ses informations avec une latence minimale, la trame standard de 10 ms étant donc trop longue.

La numérologie NR permet aux mini-créneaux de « perforer » une trame existante sans attendre que le système procède à la planification correspondante. Pour éviter les conflits, le réseau détecte la rafale correspondant au mini-créneau et gère l'appareil URLLC en lui attribuant la plus haute priorité. Par ailleurs, le

réseau peut planifier les mini-créneaux à l'avance, ce qui est particulièrement intéressant dans un fonctionnement à ondes millimétriques, où la transmission de quelques symboles OFDM couvrant de grandes largeurs de bande peut être suffisante pour transporter des quantités de données utiles peu importantes [15].

2.2.5 Nombre maximum de RB par canal

Le 3GPP a spécifié la configuration de largeur de bande de transmission maximale pour chaque canal UE et l'espacement des sous-porteuses fourni dans la Figure 2. 7 :

. Le numéro de bloc de ressources indiqué correspond à 100 MHz après la suppression de la bande de garde de la bande passante du canal [12].

μ	SCS KHz	Supported Bandwidth	Min. Guard Band	Max Number of RB N_{RB}
0	15 KHz	50 MHz	692.5 KHz	270
1	30 KHz	100 MHz	845 KHz	273
2	60 KHz	100 MHz	1370 KHz	135

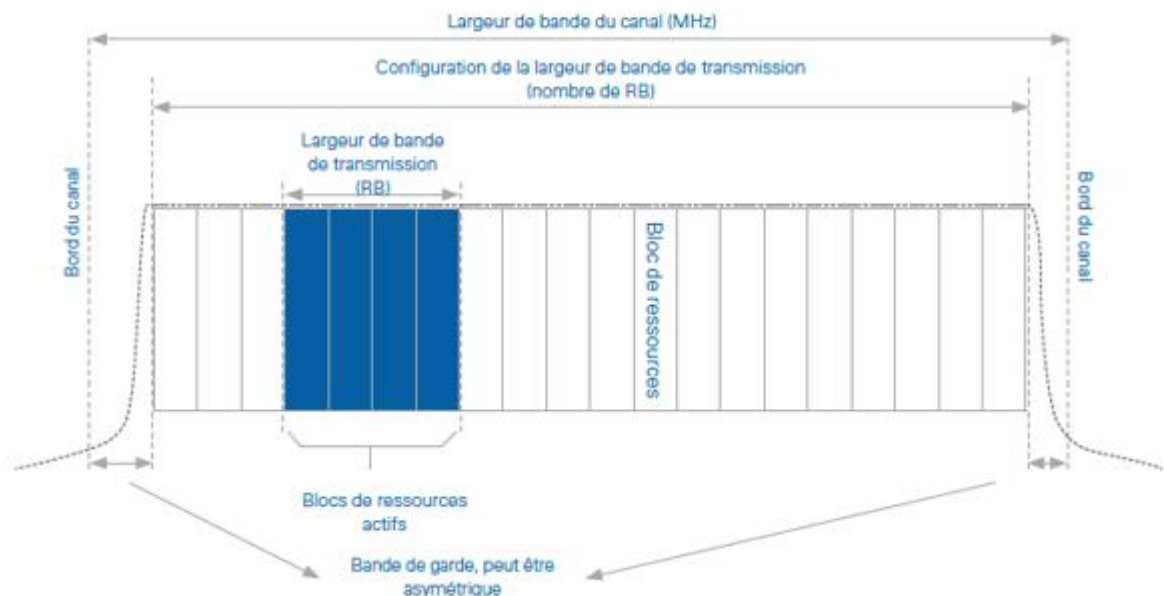


Figure 2. 7: Représentation d'un canal avec les blocs de ressources [12].

Exemple de calcul du nombre de blocs de ressource

Numérologie $\mu = 0$, $\Delta f = 15 \text{ KHz}$, donc un bloc de ressource est de 180 KHz

Largeur de canal : 50 MHz

Intervalle de garde : 692.5 kHz

Nombre de bloc de ressource = (*Largeur de canal* - $2 \times$ *Intervalle de garde*) / *un bloc de ressource* = $(50 \times 10^3 - 2 \times 692.5) / 180 = 273 \text{ RB}$

2.3 Canaux physiques

Les ressources temporelles et fréquentielles qui portent les informations venant des couches supérieures (couches au-dessus de la couche physique) sont appelées canaux physiques.

Il ya un nombre de canaux physiques spécifier pour la liaison montante et descendante

- PDSCH : utilisé pour la transmission de données en voie descendante ;
- PDCCH : utilisé en downlink pour le contrôle des informations, ce qui inclue les décisions d'ordonnancement requises pour la réception de données de liaison descendante (PDSCH) et pour les ordonnancements accordant l'autorisation de transmission de données de liaison montante (PUSCH) par un UE.
- PBCH : utilisé pour la diffusion d'informations de système requises par un UE pour accéder au réseau.
- PUSCH : utilisé pour la transmission de données en liaison montante (par un UE).
- PUCCH : utilisé pour les informations de contrôle de liaison montante, qui comprend : L'accusé de réception HARQ (indiquant si une transmission en liaison descendante a été un succès ou non), la demande de planification (demande de ressources temps-fréquence du réseau pour les transmissions en liaison montante) et les informations sur l'état du canal de la liaison descendante pour l'adaptation de la liaison.
- PRACH : utilisé par un UE pour demander l'établissement d'une connexion appelée accès aléatoire. Sur un niveau élevé, les transmissions en liaison descendante et
- montante entre le gNB et l'UE fonctionnent comme suit. En liaison descendante, une UE surveille le PDCCH, généralement une fois par slot (le PDCCH peut également être configuré plusieurs fois pour permettre les transmissions à latence extrême).

Lors de la détection d'un PDCCH valide, l'UE reçoit une unité de données (appelée bloc de transport) sur le PDSCH à la suite de la décision de planification du gNB. Ensuite, l'UE répond avec un accusé de réception HARQ indiquant si les données ont été décodées avec succès ou non. En cas d'échec du décodage, des retransmissions sont planifiées. Pour la transmission de données en liaison montante, un UE demande d'abord à gNB des ressources temps-fréquence physiques pour les données en attente de transmission. Ceci est appelé une demande de planification et est envoyé sur le PUCCH. En réponse, gNB envoie une autorisation de planification (sur le PDCCH) qui donne la permission à un UE d'utiliser certaines ressources

temps-fréquence pour la transmission. Suite à l'octroi de la programmation, l'UE programme sa transmission de données sur le PUSCH. Le gNB reçoit des données de liaison montante et envoie un accusé de réception HARQ indiquant si la transmission de données de liaison montante a été décodée avec succès ou non. En cas d'échec du décodage, des retransmissions sont planifiées. Pour permettre une communication à latence ultra-basse, le réseau peut également pré-configurer les ressources de transmission de données pour un UE afin d'éviter la signalisation impliquée dans l'envoi de demandes d'ordonnancement et d'octroi d'ordonnances. Ceci est connu sous le nom de transmission sans subvention. Un inconvénient de ce schéma réside dans le fait que des ressources temps-fréquence peuvent être réservées inutilement pour un UE même s'il n'y a pas de données en attente de transmission au niveau de l'UE [12].

2.4 Signaux physiques

Les ressources en temps-fréquence qui sont utilisées par la couche PHY et qui contiennent des informations provenant de couches supérieures (c'est-à-dire, des couches situées au-dessus de la couche PHY) sont appelées signaux physiques. Les signaux physiques sont des signaux de référence utilisés à différentes fins, telles que la démodulation, l'estimation de canal, la synchronisation et les informations d'état de canal. NR introduit les signaux de référence principaux suivants.

Les signaux physiques de liaison descendante comprennent :

- DM-RS
- PT-RS
- CSI-RS
- PSS
- SSS

En outre, les signaux physiques de liaison montante sont les suivants :

- DM-RS
- PT-RS
- SRS

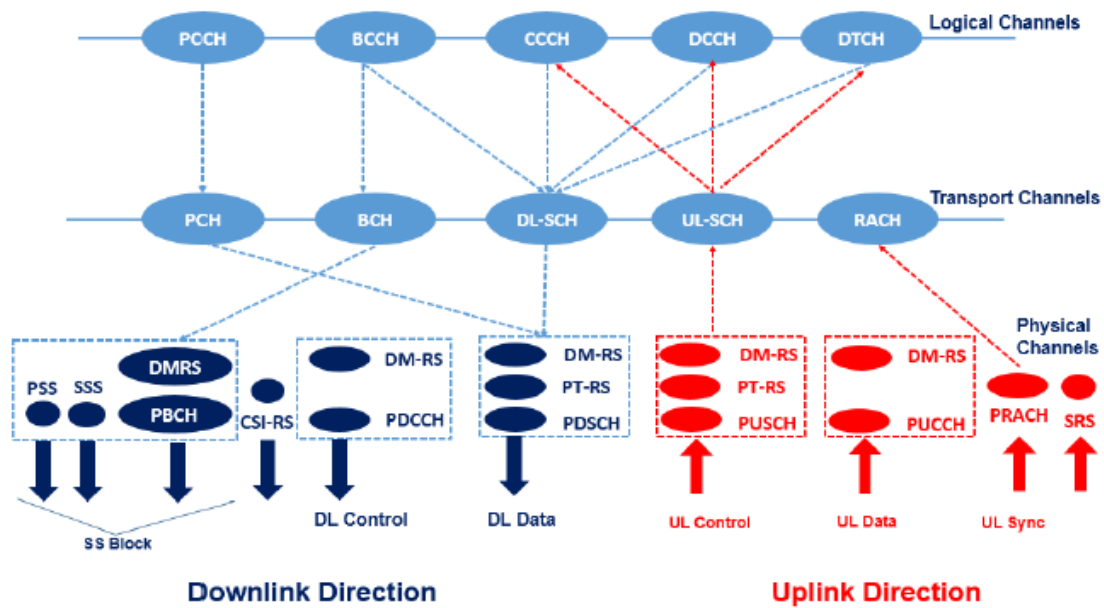


Figure 2. 8: Signaux physiques et couches physiques [12].

2.4.1 Différence par rapport à LTE

Dans NR, il n'y a pas de signal de référence spécifique à la cellule (C-RS). Un nouveau signal de référence PT-RS a été introduit pour le suivi temps / fréquence. DM-RS a été introduit pour les canaux de liaison descendante et montante. Dans NR, les signaux de référence ne sont transmis que si c'est nécessaire, alors que dans LTE, ils échangent constamment des signaux de référence pour gérer la liaison [12].

2.4.2 Signal de référence de démodulation (DM-RS)

Le DM-RS est spécifique à l'UE et utilisé pour estimer le canal radio. Le système peut former le faisceau du système DM-RS, le conserver dans une ressource planifiée et ne le transmettre que lorsque cela est nécessaire dans DL ou UL. De plus, plusieurs DM-RS orthogonaux peuvent être alloués pour prendre en charge la transmission MIMO. Le réseau fournit aux utilisateurs des informations DM-RS à un stade précoce pour répondre à l'exigence de décodage initiale requise par les applications à faible temps de latence, mais il ne présente cette information qu'occasionnellement pour les scénarios à faible vitesse dans lesquels le canal présente peu de changements. Dans les scénarios à forte mobilité pour suivre les changements rapides dans le canal, cela peut augmenter le taux de transmission du signal DM-RS (appelé « supplémentaire DM-RS »).

- DM-RS fait référence au signal de référence de démodulation - Il est utilisé par un récepteur pour estimer un canal radio en vue de la démodulation d'un canal physique associé.
- La conception et la cartographie DM-RS sont spécifiques à chaque canal NR de liaison descendante et de liaison montante, à savoir NR-PBCH, NR-PDCCH, NR-PDSCH, NR-PUCCH, NR-PUSCH. DM-RS peut être mis en forme de faisceau, conservé dans une ressource planifiée, et ne doit être transmis que lorsque cela est nécessaire dans DL ou UL [12].

2.4.3 Signal de référence de suivi de phase (PT-RS)

Le bruit de phase d'un émetteur augmente à mesure que la fréquence de fonctionnement augmente. Le PT-RS joue un rôle crucial, en particulier aux fréquences millimétriques, pour minimiser l'effet du bruit de phase de l'oscillateur sur les performances du système. L'un des principaux problèmes que le bruit de phase introduit dans un signal OFDM apparaît sous la forme d'une rotation de phase commune à toutes les sous-porteuses, connue sous le nom d'erreur de phase commune (CPE).

- PT-RS représente le signal de référence de suivi de phase - sa fonction principale est de suivre la phase de l'oscillateur local à l'émetteur et au récepteur.
- Le PT-RS permet la suppression du bruit de phase et de l'erreur de phase commune, particulièrement aux fréquences millimétriques élevées.
- Il est présent dans les canaux de liaison montante (dans NR-PUSCH) et de liaison descendante (dans NR-PDSCH).
- En raison des propriétés de bruit de phase, le PT-RS a une densité faible dans le domaine fréquentiel et une densité élevée dans le domaine temporel.
- Le PT-RS est associé à un port DM-RS pendant la transmission. De plus, il est limité au poids corporel planifié et à la durée utilisée pour NR-PDSCH / NR-PUSCH
- Le système NR mappe généralement les informations PT-RS à quelques sous-porteuses par symbole, car la rotation de phase affecte de manière égale toutes les sous-porteuses d'un symbole OFDM, mais présente une faible corrélation de symbole à symbole.
- Le système configure le PT-RS en fonction de la qualité des oscillateurs, de la fréquence porteuse, de l'espacement entre sous-porteuses et des schémas de modulation et de codage utilisés par la transmission [12].

2.4.4 Signal de référence d'information d'état de canal (CSI-RS)

En tant que signal DL uniquement, le CSI-RS que l'UE reçoit est utilisé pour estimer le canal et renvoyer des informations de qualité de canal au gNB. Pendant les opérations MIMO, NR utilise différentes approches d'antenne basée sur la fréquence porteuse. Aux basses fréquences, le système utilise un nombre modeste d'antennes actives pour le mode MU-MIMO et ajoute des opérations FDD. Dans ce cas, l'UE a besoin du CSI-RS pour calculer le CSI et le signaler dans la direction UL.

- CSI-RS fait référence au signal de référence d'informations d'état de canal et ces signaux sont uniquement des signaux en liaison descendante.
- Il est utilisé pour l'acquisition DL CSI.
- Il est utilisé pour les mesures RSRP utilisées lors de la gestion de la mobilité et du faisceau.
- Il est également utilisé pour le suivi de fréquence / temps, la démodulation et le pré-codage UL basé sur la réciprocité.
- CSI-RS est configuré spécifiquement pour l'UE, mais plusieurs utilisateurs peuvent également partager la même ressource.
- La norme 5G NR permet un haut niveau de flexibilité dans les configurations CSI-RS. Une ressource peut être configurée avec jusqu'à 32 ports.
- La ressource CSI-RS peut commencer à n'importe quel symbole OFDM de l'emplacement et occupe généralement 1/2/4 symboles OFDM en fonction du nombre de ports configurés.
- CSI-RS peut être périodique, semi-persistant ou aperiodique (en raison du déclenchement de DCI)
- Pour le suivi temps / fréquence, CSI-RS peut être périodique ou aperiodique. Il est transmis en rafales de deux ou quatre symboles répartis sur un ou deux slots [12].

2.4.5 Signal de synchronisation primaire (PSS)

Le 5G-NR PSS est un signal spécifique à la couche physique et aide l'UE à obtenir les limites des trames radio et est utilisé pour la synchronisation des trames radio.

NR-PSS présente les caractéristiques suivantes :

- NR-PSS une m -séquence composée de 127 valeurs ;
- Le service PSS est mappé sur 127 sous-porteuses actives autour de l'extrémité inférieure de la bande passante du système ;

- Il est utilisé par l'UE pour la synchronisation de trame descendante et fournit la limite de trame radio, c'est-à-dire la position du premier symbole dans une trame radio ;
- C'est un facteur critique pour déterminer l'identifiant de cellule de la couche physique et fournit la valeur N_{ID} pour calculer de l'identifiant [12].

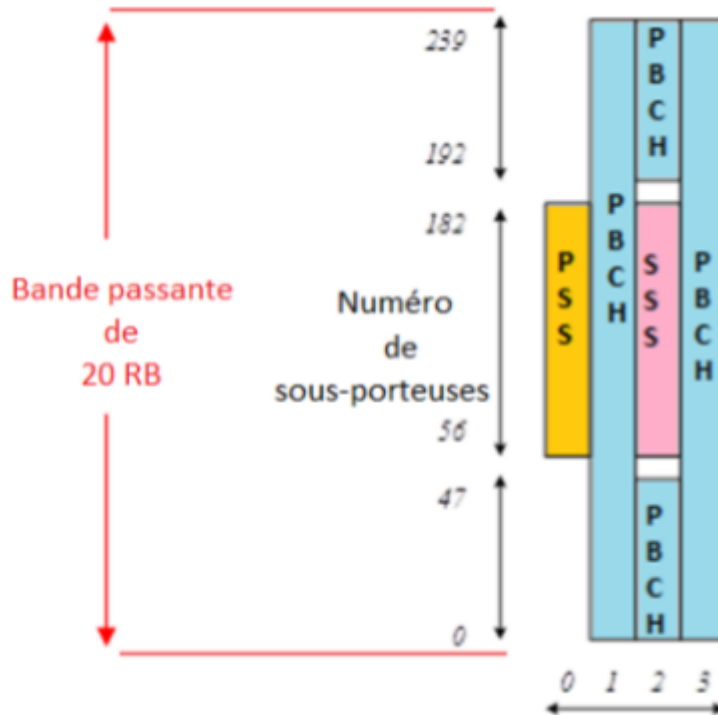


Figure 2. 9: Emplacement des signaux de signalisation [12].

2.4.6 Signal de synchronisation secondaire (SSS)

5G NR SSS est le signal de synchronisation secondaire similaire au PSS. Il présente les mêmes caractéristiques de PSS Exactement.

2.4.7 Signal de référence sonore (SRS)

Dans NR, il y a deux types de signaux de référence en UL qui donne des informations à propos de la qualité du canal. DM-RS et SRS. Avec leurs aides, le gNB prend des décisions intelligentes pour l'allocation des ressources en liaison montante, adaptation au lien de transmission, et pour décoder les données transmises par l'UE. SRS est un signal de référence en UL qui est émis par l'UE vers la station de base. Il donne les informations à propos des effets de l'atténuation par trajets multiples, dispersions, effet Doppler et perte de puissance du signal émis [12].

2.5 Les différentes couches sur l'interface Radio

2.5.1 Couche physique

Permet de transmettre des blocs de transport et adapter dynamiquement le schéma de la modulation et de codage et de nombre de ressources allouées.

La couche physique va s'occuper toutes les fonctions de traitement de signal (formation de faisceau, MIMO, modulation, codage correcteur d'erreur).

En 5G le choix a été d'utiliser des codes du LDPC pour les données, certains éléments de ressources sont réservés pour les signaux de référence [7].

2.5.2 Couche MAC

La couche MAC est située au-dessus de la couche physique, elle va transmettre les blocs et pour les blocs reçus transmettre des acquittements, elle fournit un seul canal de transport [7].

2.5.3 Couche RLC

Au-dessus de la couche MAC, il y a la couche RLC qui possède trois modes, transparent (les données délivrées par la couche supérieure sont transmises directement sans ajout d'aucun entête), sans acquittement (il y a ajout d'un entête pour détecter les pertes de données, mais il n'y a pas de mécanisme d'acquittement et de retransmission en cas d'erreur), avec acquittement (les blocs perdus sont retransmis jusqu'à ce qu'ils soient correctement reçus).

RLC ne gère pas de concaténation et ne gère pas spécifiée de la 5G de re-séquencement [7].

2.5.4 Couche PDCP

Au-dessus de RLC on trouve PDCP qui va gérer les fonctions de sécurité, il y a possibilité de duplication à l'émission et d'élimination des duplicata à la réception, PDCP peut gérer un re-séquencement et va gérer également la compression et la décompression d'entête [7].

2.5.5 Couche SDAP

Une nouveauté de la 5G, c'est la couche SDAP qui va se focaliser sur la qualité de service, et mise en œuvre des règles de priorité, et fait la gestion du marquage de QoS, il y a possibilité d'avoir plusieurs instances SDAP simultanément, SDAP ne présente que dans le plan d'utilisateur [7].

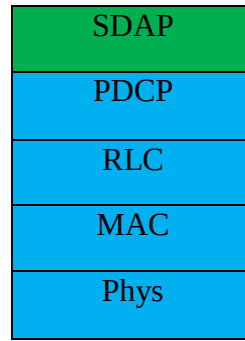


Figure 2. 10 : La pile protocolaire de la 5G [7].

2.6 Conclusion

Afin d'accroître la flexibilité et de rendre l'utilisation du spectre plus efficace, le TDD devient de plus en plus courant et important. TDD utilise la même fréquence pour chaque direction, avec une trame qui inclut différentes périodes de temps et des créneaux temporels pour les communications de liaison descendante ou de liaison montante. En modifiant la durée de ces performances, les performances du réseau peuvent être adaptées pour répondre à différents besoins et aider à fournir la meilleure expérience possible

NR TDD utilise une configuration de logement flexible. Les symboles OFDM dans un slot peuvent être classés comme liaison descendante, flexible ou liaison montante. Le symbole flexible peut être configuré pour les transmissions de liaison montante ou descendante.

L'une des intentions de l'introduction des symboles flexibles dans un créneau est de gérer la période de garde requise dans NR TDD.

Dans NR, la configuration du format de slot peut être effectuée de manière statique, semi-statique ou entièrement dynamique

Chapitre 3

Simulation et résultat

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, on décrit les différents organigrammes ainsi que leurs explications utilisées par les programmes Matlab de cette étude. Le premier organigramme décrit la modélisation d'un schéma d'ordonnancement basé sur des symboles en mode TDD, le deuxième concerne la configuration du modèle TDD DL-UL, le troisième est dédié à l'ordonnancement des ressources basé sur les symboles, le quatrième concerne la planification UL, et le cinquième organigramme concerne la planification DL, finalement le sixième organigramme et tout ce qui est suit sont consacré à la programmation de simulation.

3.2 Simulation

Les différentes opérations échangées entre gNB (station de base) et des UEs (utilisateur) pour faciliter les transmissions et les réceptions entre UL et DL sont données comme suit :

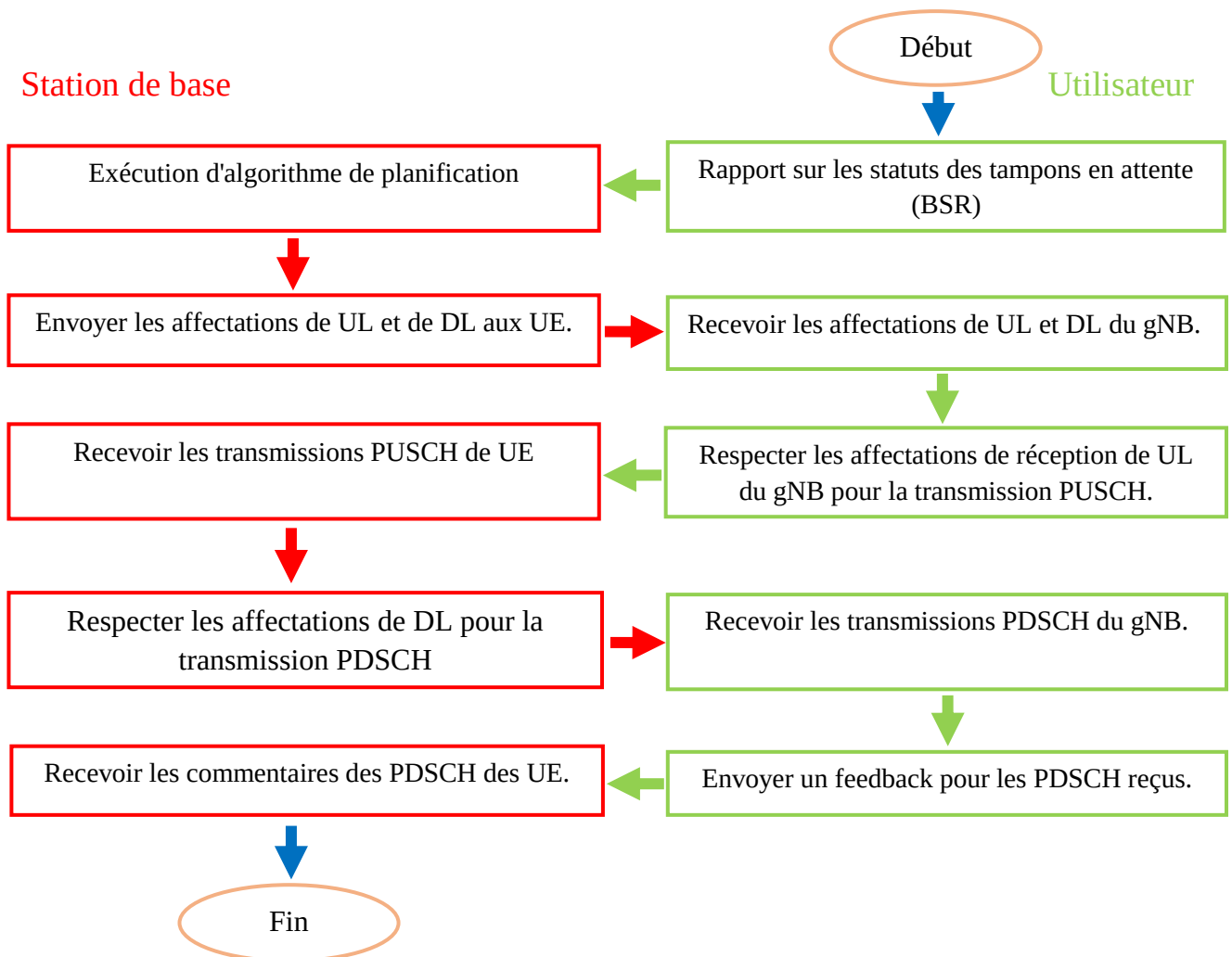


Figure 3. 1 : Opérations d'échangés entre gNB et UE.

Le paquet PUSCH ou PDSCH complet est transmis dans le premier symbole de son jeu de symboles alloué. Le récepteur traite le paquet dans le symbole juste après le dernier symbole de l'ensemble de symboles alloué, la simulation est traduite par l'organigramme représenté sur la figure suivante :

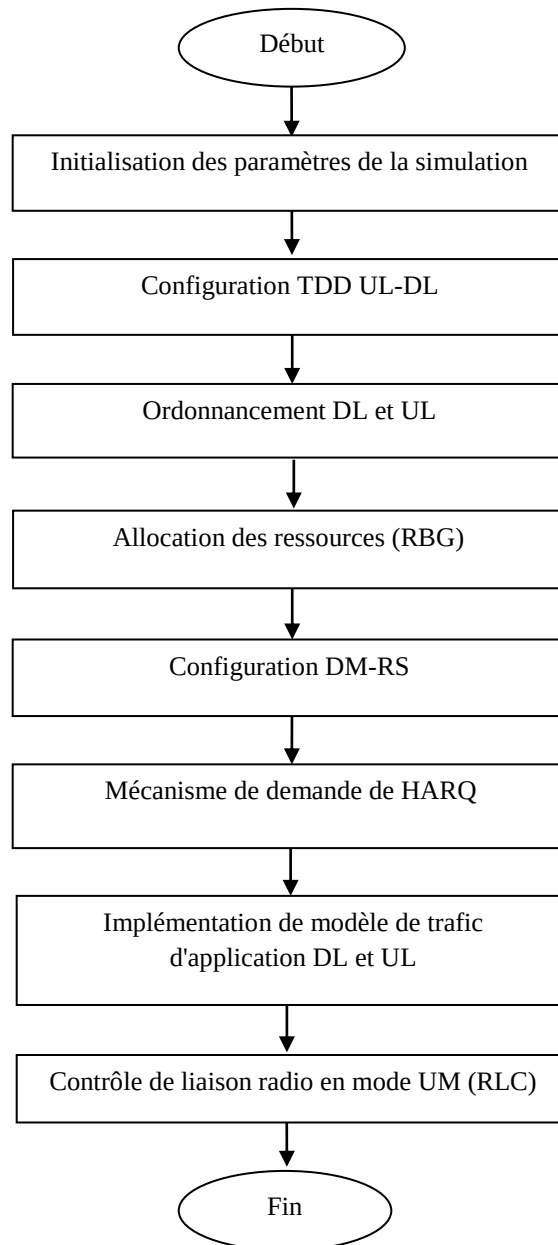


Figure 3. 2 : Transmission et réception des paquets PUSCH et PDSCH.

3.2.1 Configuration du modèle TDD DL-UL

Dans la 5G, NR fournit un moyen flexible de configurer les ressources DL et UL comme montre dans la figure suivante :

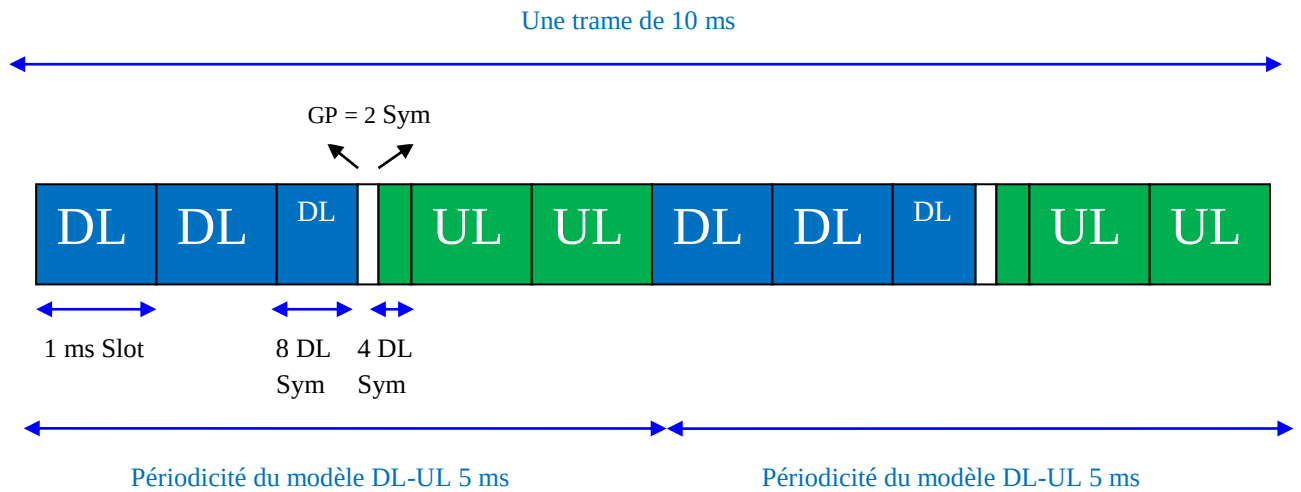


Figure 3. 3 : Exemple de configuration du modèle TDD DL-UL.

L'exemple ne modélise pas les symboles flexibles, de sorte que les symboles avec un type de symbole non spécifié sont supposés pour la période de garde.

Nombre de symboles de garde = nombre total de symboles dans le motif - nombre total de symboles avec le type spécifié

$$GP = (14 * NumSlots DLUL\text{périodicité}) - (numDLSlots*14 + numDLSyms + numULSyms + numULSlots*14) = 2 \text{ symboles.}$$

L'organigramme suivant traduit la configuration de modèle TDD UL-DL de sorte que les symboles flexibles avec un type de symboles spécifier :

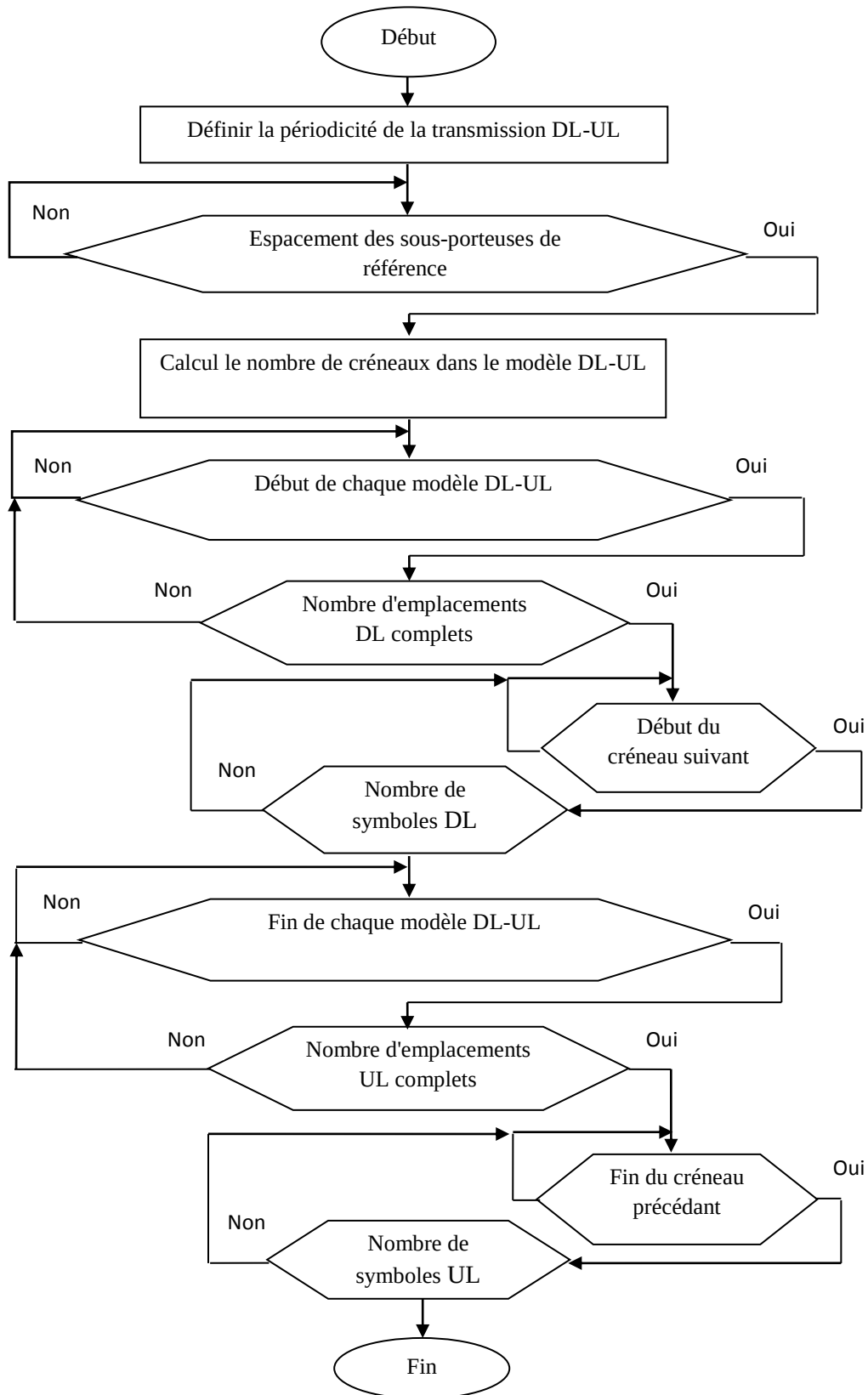


Figure 3. 4 : Les étapes de configuration de modèle TDD UL – DL.

Les paramètres de cette configuration du modèle TDD DL-UL sont donnés dans le tableau ci-dessus :

Paramètres	Spécifications
Périodicité (ms)	5
Numéro Slots DL-UL Périodicité	5
SCS (KHz)	15
Numéro DL Slots	2
Numéro DL Symbole	8
Numéro UL Slots	2
Numéro UL Symbole	4

Tableau 3. 1 : Paramètres de configuration TDD DL-UL

3.2.2 Ordonnancement DL et UL

3.2.2.1 Planificateur

Les ordonnanceurs UL et DL distribuent respectivement les ressources UL et DL entre les UE. Nous pouvons choisir l'une des stratégies de planification mises en œuvre :

- ✓ Juste proportionnelle (PF).
- ✓ Meilleur CQI.
- ✓ Round robin (RR).

Les différentes entrées prises en charge par les planificateurs sont affichées dans la Figure 3. 5 avec les stratégies de planification qui les prennent en compte :

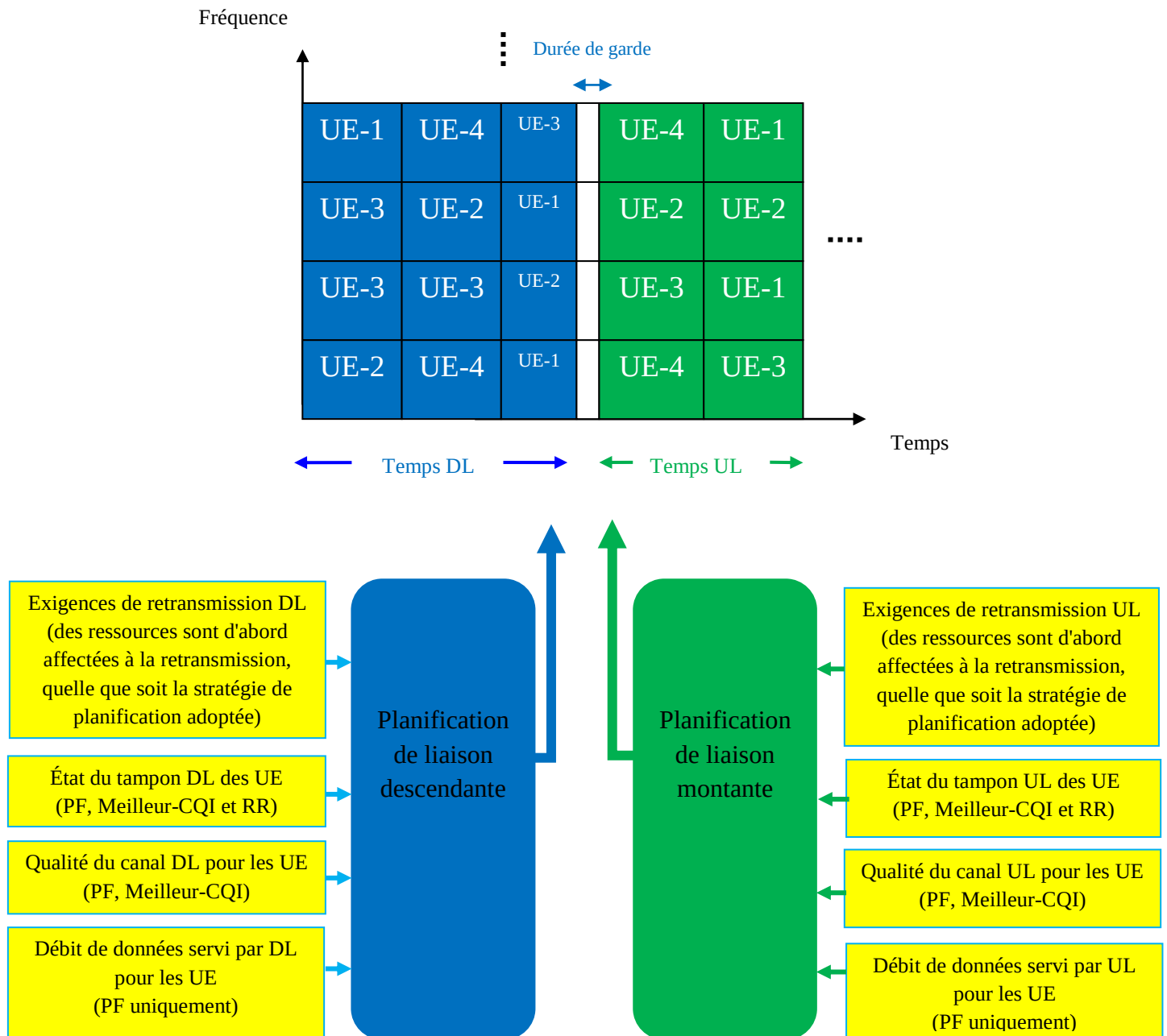


Figure 3. 5 : Schéma de principe de planification UL et DL.

L'exécution de l'algorithme du planificateur UL ou DL est traduit dans l'organigramme ci-dessous :

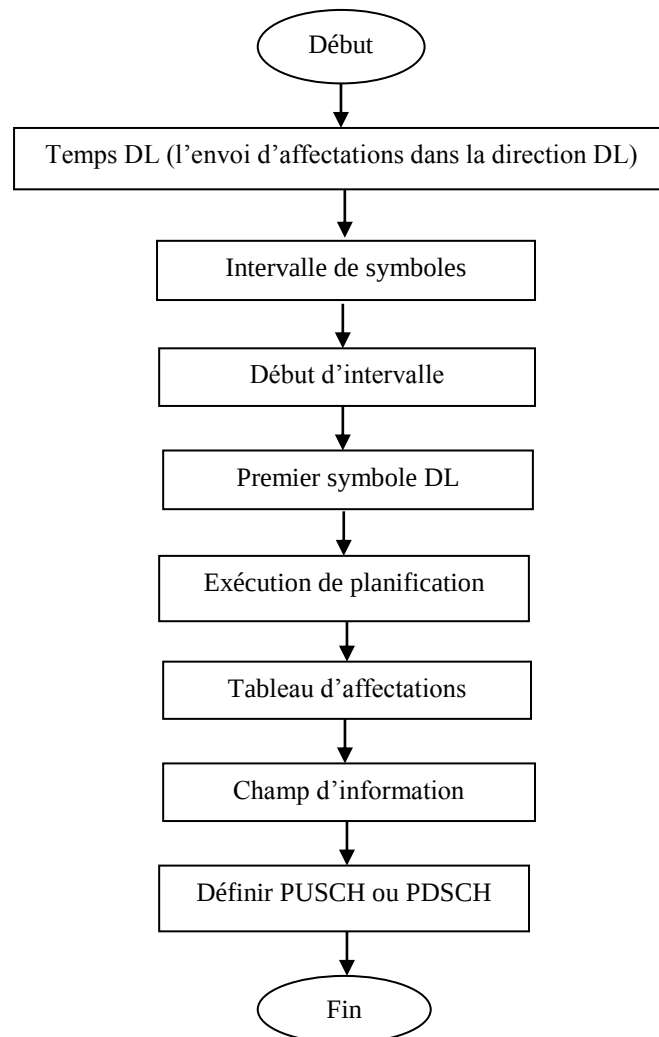


Figure 3. 6 : Planification PDSCH et PUSCH

Le temps d'exécution de l'algorithme du planificateur ainsi que le délai de propagation sont supposés être nuls.

3.2.2.2 Planificateur UL

La Figure ci-dessus montre à nous comment ce faire l'exécution de planification des slots UL :

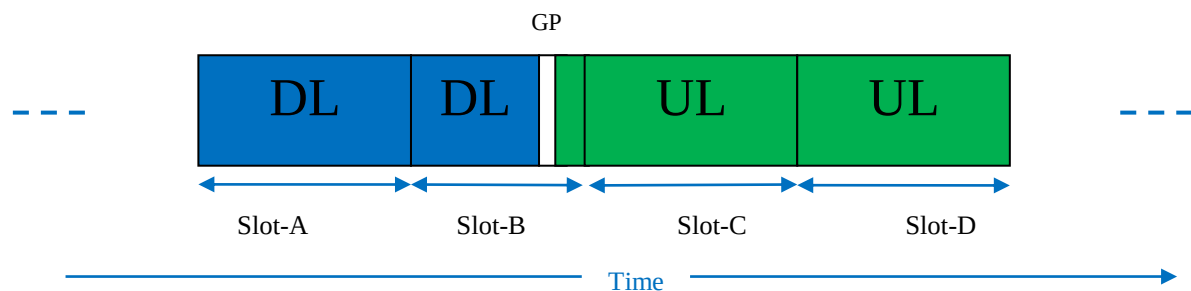


Figure 3. 7 : Planification des créneaux UL.

L'organigramme ci-dessous nous montre l'opération d'ordonnancement UL pour attribuer les ressources UL.

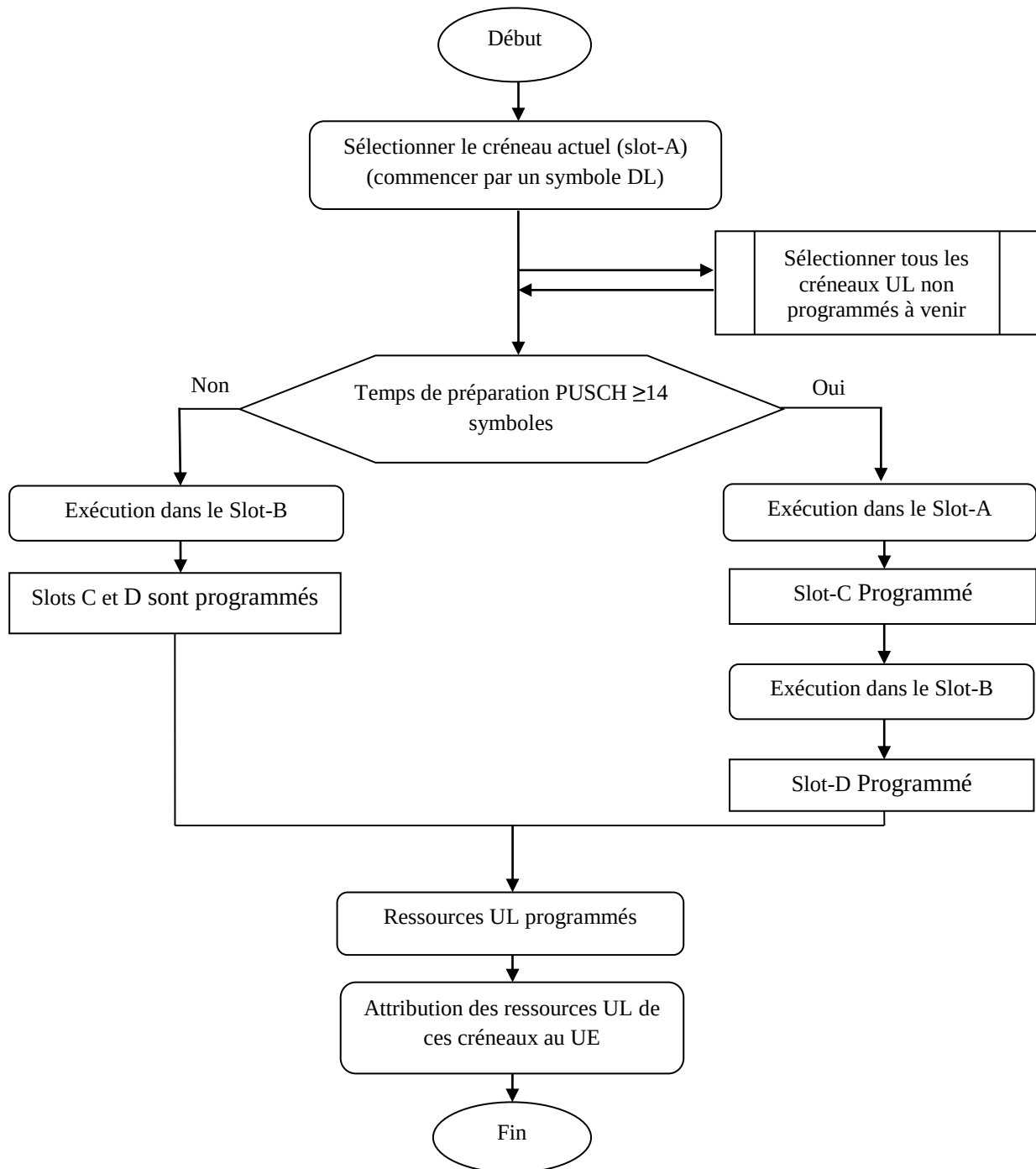


Figure 3. 8 : Ordonnancement de liaison montante UL.

3.2.2.3 Planificateur DL

L'organigramme ci-dessous nous montre l'opération d'ordonnancement DL pour attribuer les ressources DL.

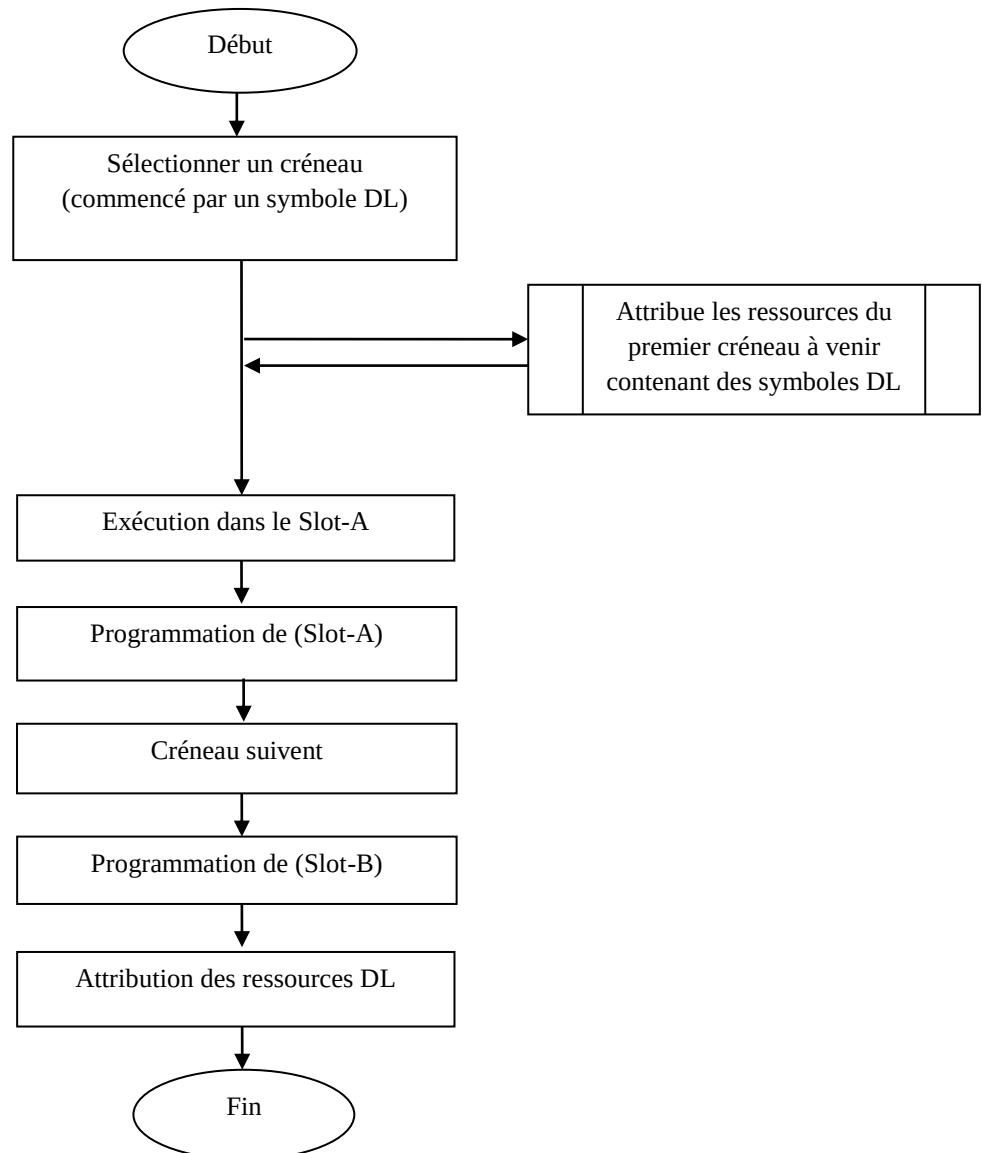


Figure 3. 9 : Ordonnancement de liaison descendante DL.

3.2.2.4 Ordonnancement des symboles

Pour l'ordonnancement des symboles, NR permet au TTI de démarrer à n'importe quelle position de symbole dans la fente et avec une granularité TTI dans les symboles, la figure ci-dessous montre la façon dont le planificateur UL fonctionne dans cet exemple pour planifier les symboles UL ou DL d'un slot avec une granularité TTI de quatre symboles.

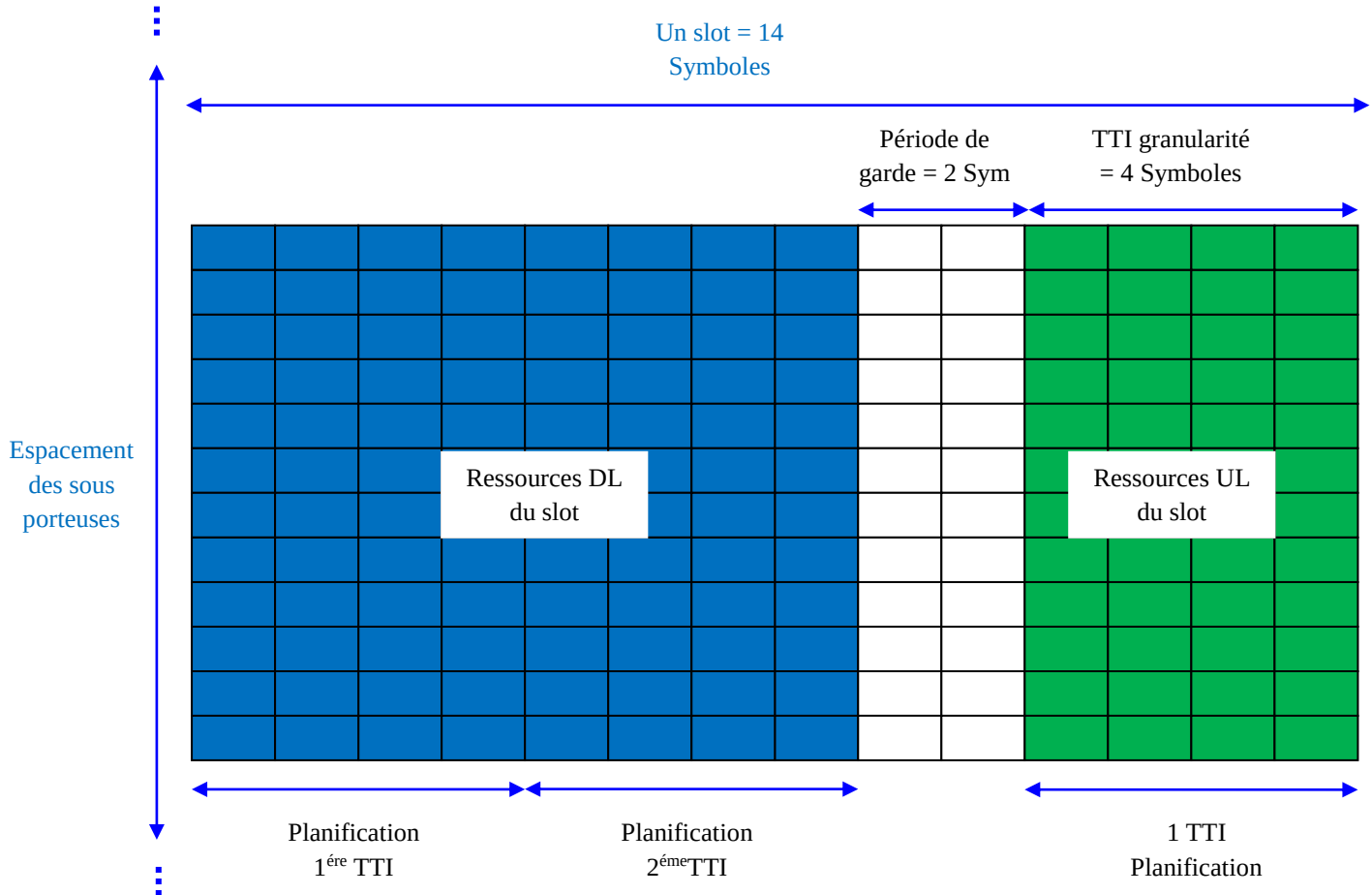


Figure 3. 10 : planification des symboles UL et DL.

Pour planifier les symboles UL, la fente illustrée contient quatre symboles UL. Le planificateur programmé des symboles UL avec une itération, pour l'ordonnanceur DL suit également une approche similaire pour l'ordonnancement UL,

La fente illustrée contient huit symboles DL, Le planificateur complète l'itération des symboles DL en deux itérations, chaque itération distribuant les ressources de fréquence de quatre symboles.

3.2.3 RLC fonctionnant en mode UM

La couche RLC est située au-dessus de la couche MAC et au-dessous de la couche PDCP, elle fait le transfert d'unités de données de protocole (PDU) de couche supérieure dans l'un des trois modes suivants :

- mode acquitté (AM)
- mode non acquitté (UM)
- mode transparent (TM)

Les tâches principales du protocole RLC pour le mode UM sont :

- ✓ Concaténation, segmentation et réassemblage des RLC SDU.
- ✓ Réorganisation des PDU de données RLC.
- ✓ Détection de doublons.
- ✓ Rejet RLC SDU.

La figure ci-dessous montre le fonctionnement de RLC en mode UM :

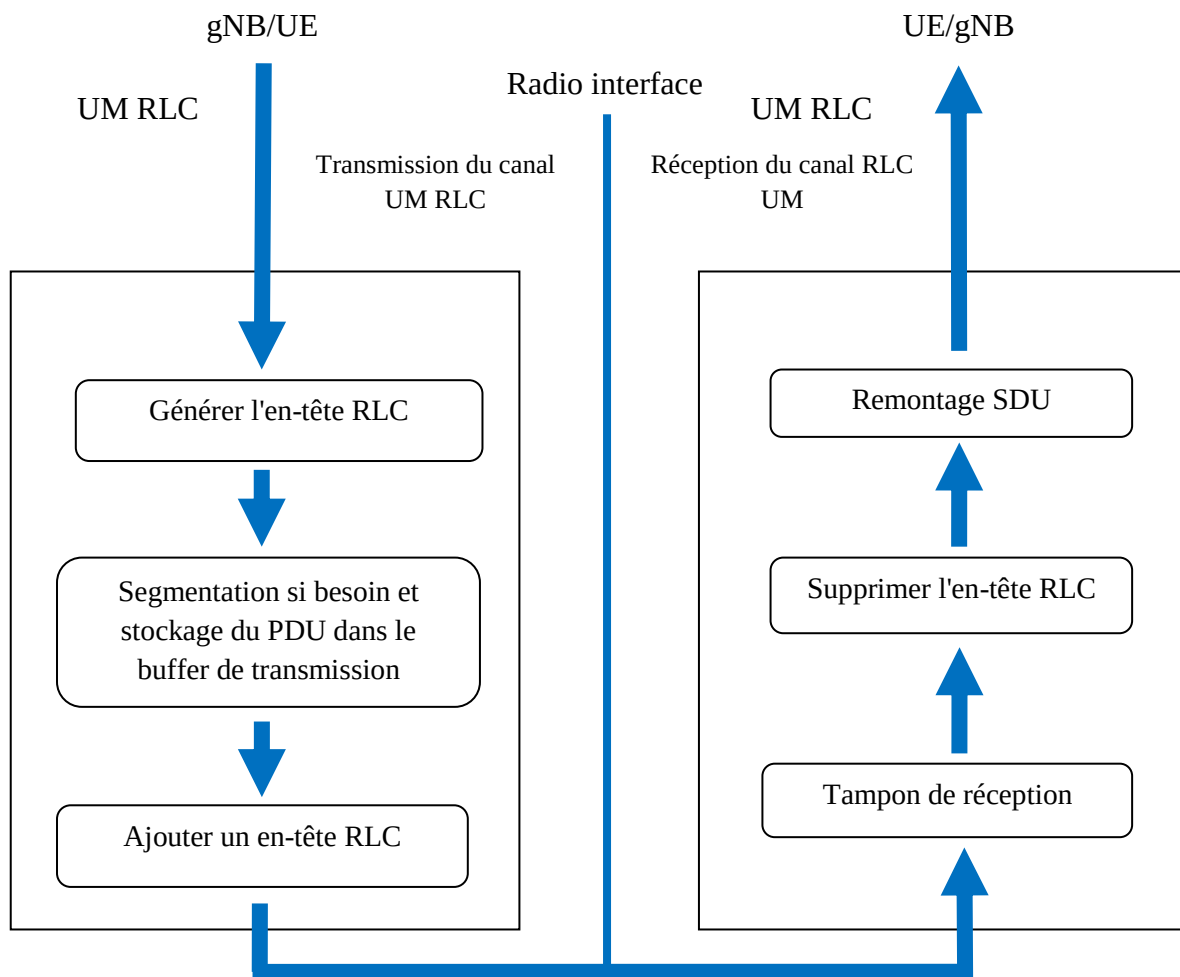


Figure 3. 11 : Transmission de données en mode UM.

3.3 Programmation de simulation

Dans ce chapitre nous allons exposer les différents organigrammes de programme Matlab de la simulation.

3.3.1 Configuration du scénario

Cet organigramme traduire la définition des paramètres de simulation :

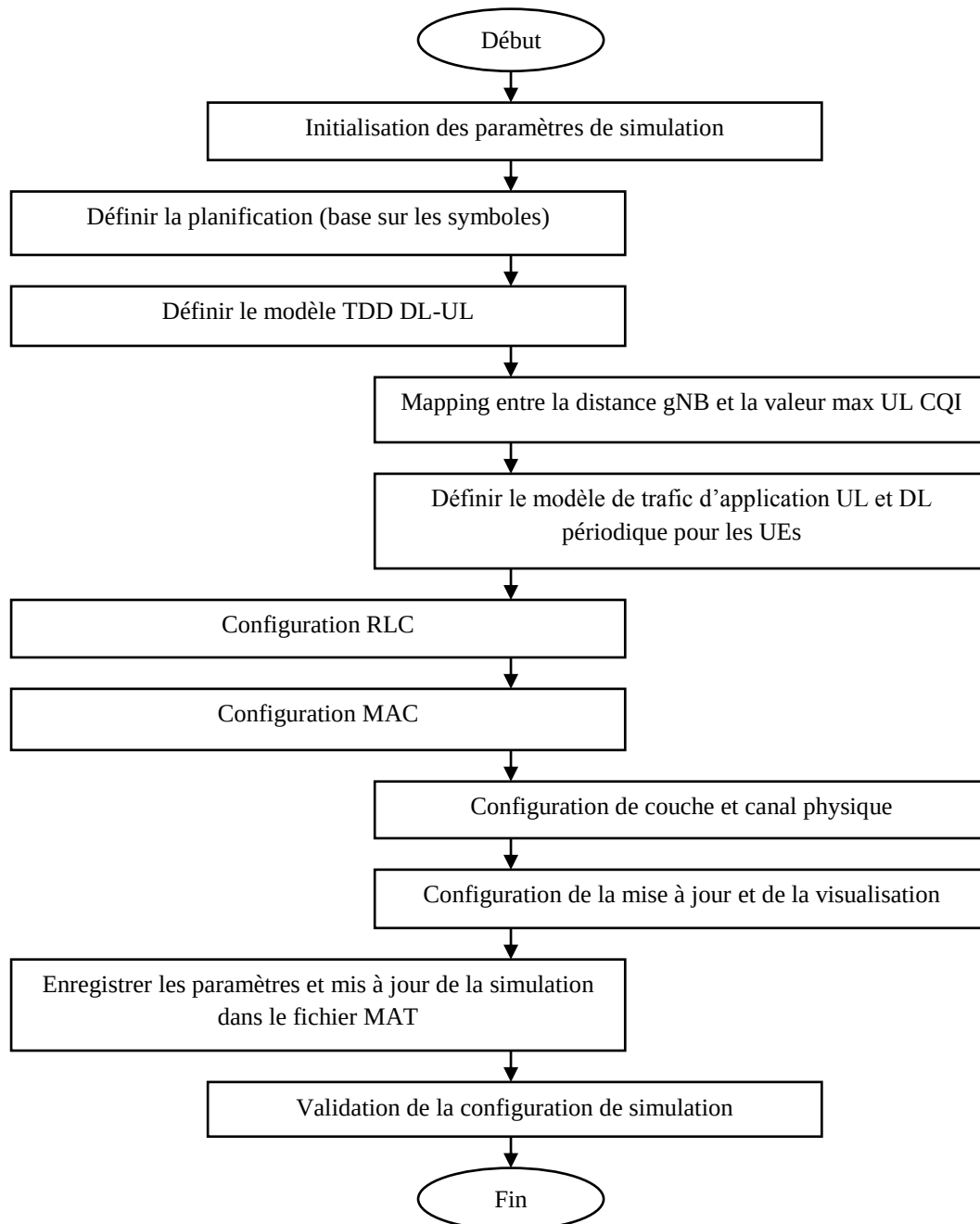


Figure 3. 12 : Définition de paramètre de simulation.

Les paramètres principaux de la simulation sont donnés dans le tableau suivant :

Paramètres	Spécifications
Nombre de trame de 10 ms	100
Nombre d'UEs	4
Distances des 'UEs de gNB	[100 ; 400 ; 300 ; 700] mètre
Type de planification	1 (Ordonnancement basé sur des symboles)
Granularité TTI	4
SCS	15 kHz
Bande passante UL et DL	5 MHz

Tableau 3. 2 : Paramètres principaux de simulation.

3.3.2 Paramètres dérivés

L'organigramme ci-dessous nous montre comment définir et calculer les paramètres dérivés :

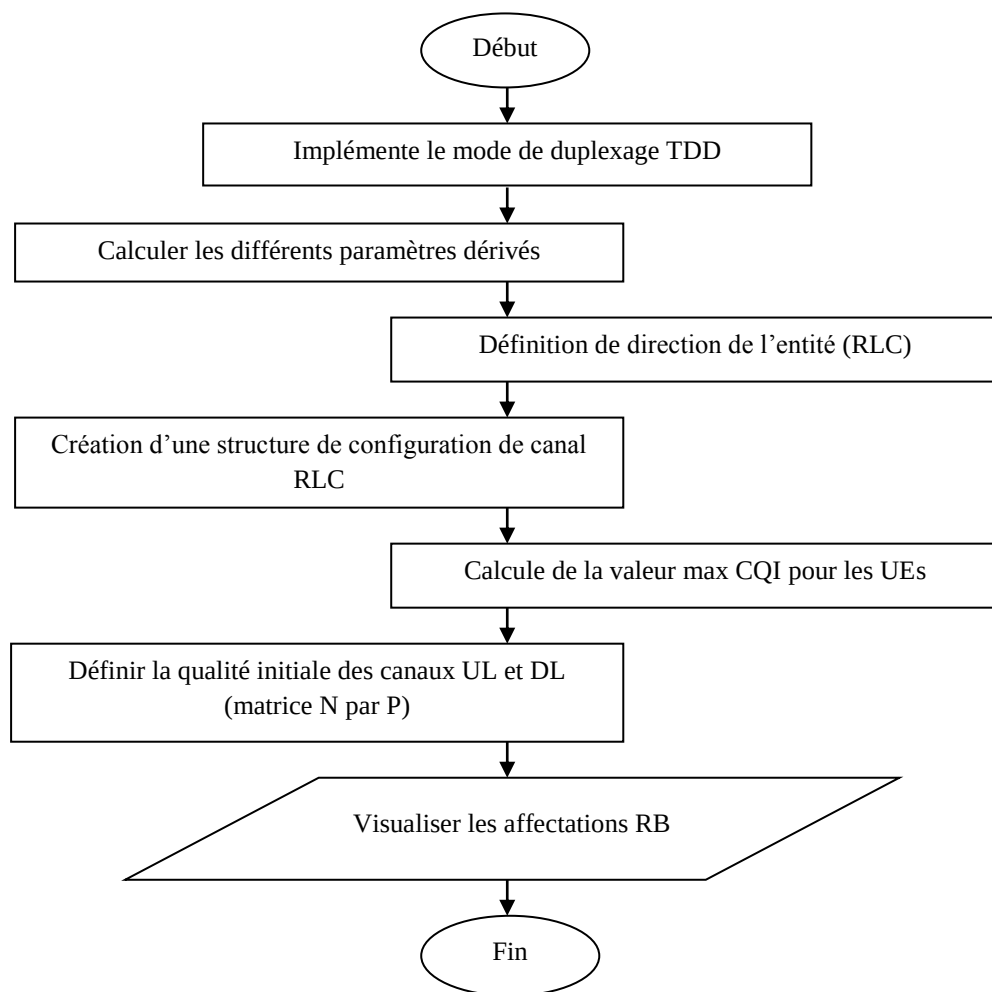


Figure 3. 13 : Définition des paramètres dérivés.

3.3.3 Configuration du gNB et des UEs

L'organigramme ci-dessous traduit la création des objets gNB et UE et l'initialisation des informations de qualité de canal pour les UE et la configuration de canal logique sur gNB et UE :

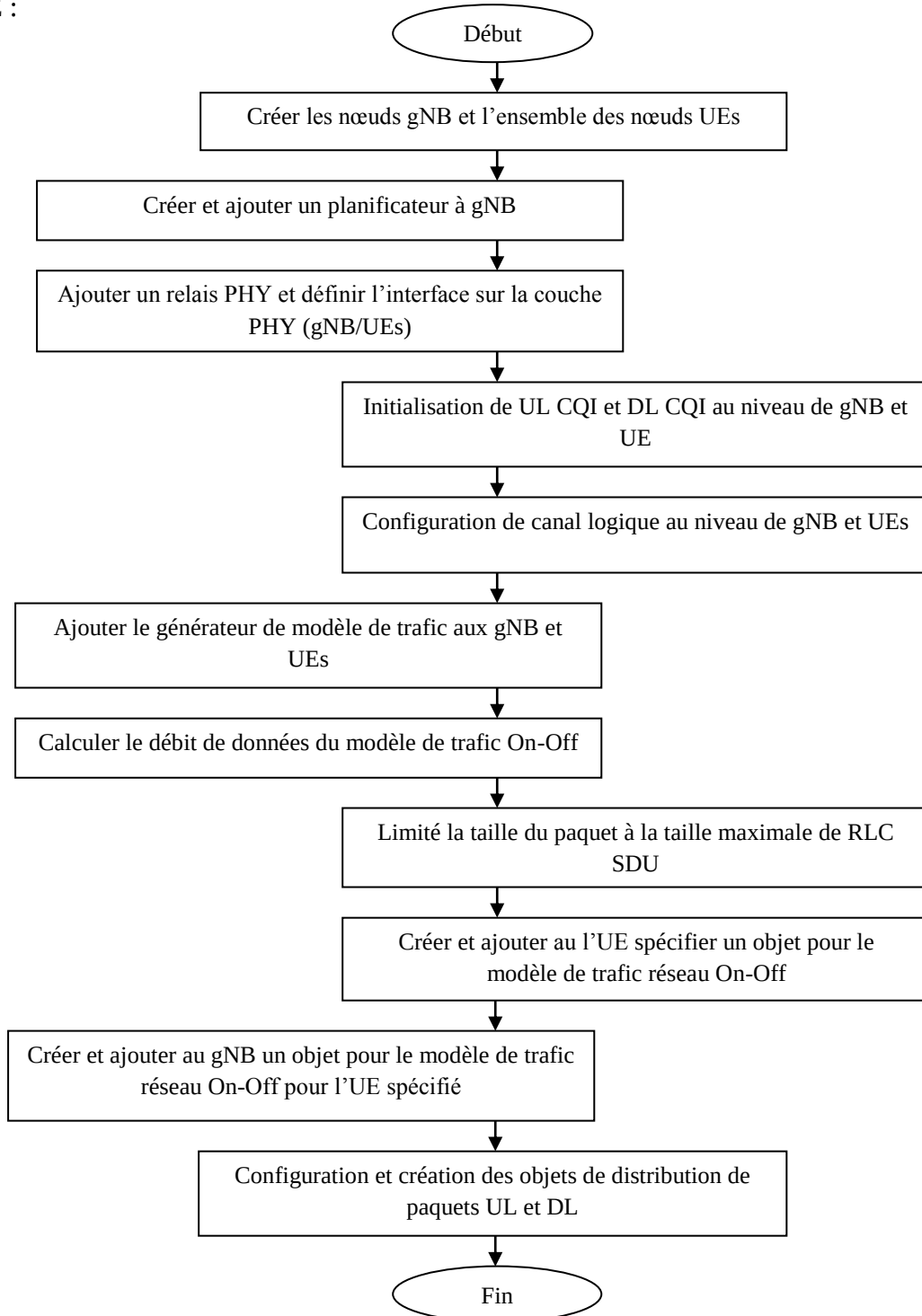


Figure 3. 14 : Création de gNB et UEs et configuration du canal logique.

3.3.4 Boucle de traitement

L'exécution de la simulation pour exécuter les opérations correspondantes est traduite par l'organigramme représenté sur la figure suivante :

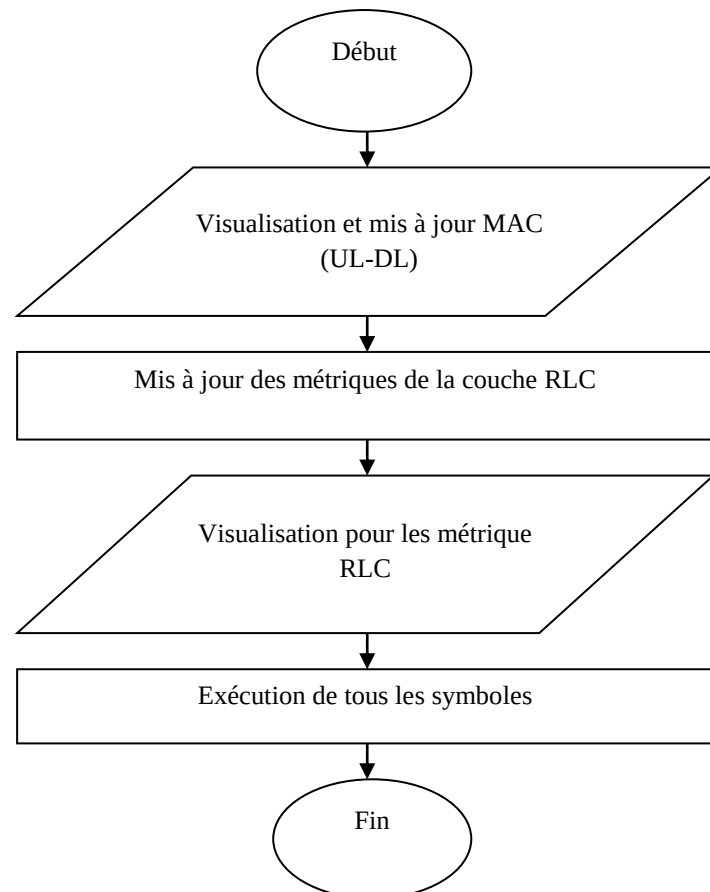


Figure 3. 15 : Visualisation de MAC et RLC.

3.3.4.1 Exécution des symboles

Nous allons traduits la dernière étape de l'organigramme précédant concernant l'exécution des symboles par l'organigramme suivant :

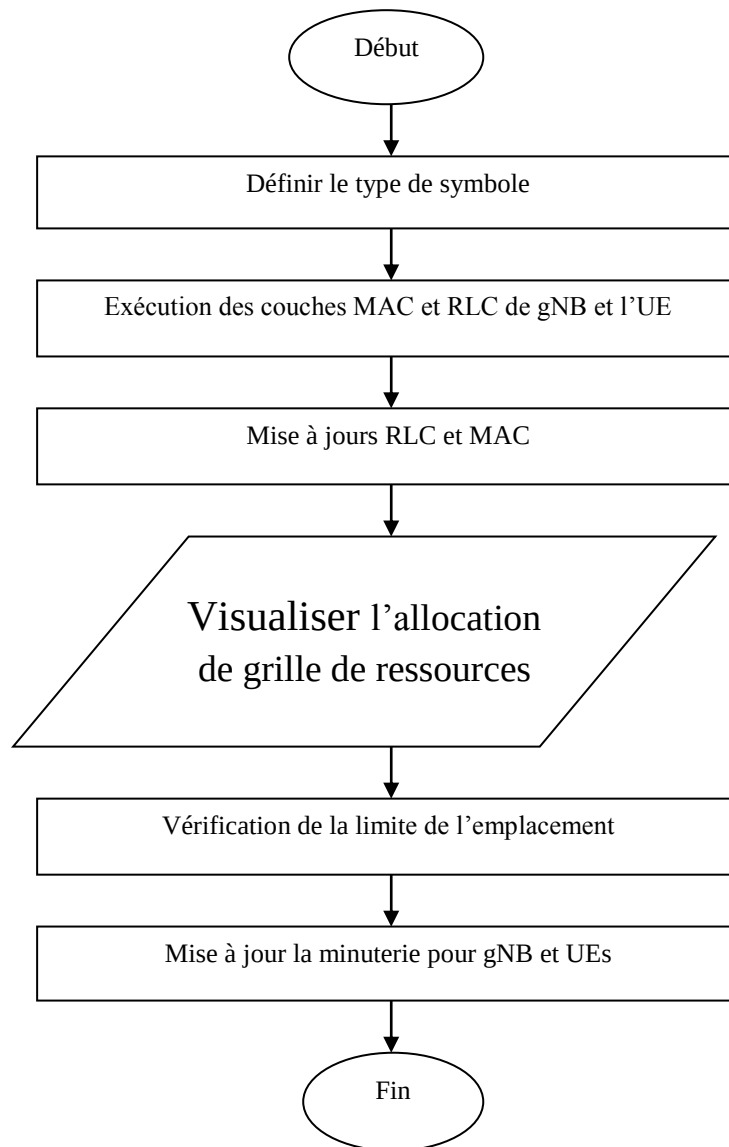


Figure 3. 16 : Visualisation d'exécution des symboles.

3.4 Test et résultat

Nous discuterons des résultats obtenus à partir les organigrammes précédents.

3.4.1 Validation des paramètres

La figure (3. 17), montre la validation des paramètres de simulation.

☐	NumFramesSim	100
☐	NumUEs	4
☐	SchedulingType	1
☐	TTIGranularity	4
☐	DLULPeriodicity	5
☐	NumDLSlots	2
☐	NumDLSyms	8
☐	NumULSyms	4
☐	NumULSlots	2
☐	UEDistance	[100;400;300;700]
☐	CQIvsDistance	[200,15;500,12;800,10;...
☐	ULPacketPeriodici...	[20;30;20;30]
☐	ULPacketSizesUEs	[2000;3000;1500;3000]
☐	DLPacketPeriodici...	[20;15;15;20]
☐	DLPacketSizesUEs	[4000;2500;2500;2000]
☐	RLCConfig	1x1 struct
☒	SchedulerStrategy	'PF'
☐	PUSCHPrepTime	200
☐	MovingAvgDataR...	0.5000
☒	EnableHARQ	1
☐	NumHARQ	16
☐	RBAllocationLimit...	15
☐	RBAllocationLimit...	15
☐	BSRPeriodicity	1
☐	NumRBs	25
☐	SCS	15
☐	ChannelUpdatePe...	0.2000
☐	CQIDelta	1
☒	CQISuccessProb	'.5 + (x/20)'
☒	CQIVisualization	1
☒	RBVisualization	0
☐	NumMetricsSteps	20
☒	ParametersLogFile	'simParameters'
☒	SimulationLogFile	'simulationLogs'
☐	DuplexMode	1
☐	NumLogicalChan...	1
☐	MetricsStepSize	50
☐	LCHConfig	1x1 struct
☐	maxRLCSDULength	9000

Figure 3. 17 : Paramètre de simulation.

3.4.2 Les affectations RB

La figure (3.18), montre le résultat de calcul des paramètres dérivés de simulation.

Name ▲	Value
appPeriodicityUEs...	[20;15;15;20]
appPeriodicityUEs...	[20;30;20;30]
channelQuality	4x25 double
channelQualityCh...	1
channelUpdatePer...	200
currentCQIs	1x25 double
downlinkChannel...	1x25 double
gNB	1x1 hNRGNB
gNBRLCStats	4x1 cell
HARQProcessStatus	4x16 double
i	[]
idx	4
lchInfo	4x1 struct
lcid	1
matchingRowIdx	[3;4;5]
maxUECQIs	[15;12;12;10]
numRLCSDU	0
numSlotsFrame	10
numSlotsSim	1000
numSymbolsSim	14000
rbAssignmentPlot...	1
resourceAssignme...	[]
resourceAssignme...	[]
rlcChannelConfig...	1x1 struct
rlcLogs	1002x4 cell
rlcSDU	3000x1 double
rxResultUEs	4x1 cell
scheduler	1x1 hNRGNBMACSch...
schedulingGrantL...	7675x14 cell
simParameters	1x1 struct
simRLCLogger	1x1 hNRRLCLogger
simSchedulingLo...	1x1 hNRSchedulingLo...
slotDuration	1
slotNum	1000
symbolNum	14000
symbolType	1
tickGranularity	1
timeStepLogs	14001x15 cell
ueldx	4
UEMetrics	4x3 double
ueRLCStats	4x1 cell
UEs	4x1 cell
updatedCQIs	1x25 double
updateType	[1,-1]
uplinkChannelQu...	1x25 double

Figure 3. 18 : Paramètres dérivé.

❖ Résultat et interprétation

La qualité initiale, des canaux UL et DL, est définie sous la forme d'une matrice N par P, où N est le nombre d'UE et P est le nombre de RB dans la bande passante de la porteuse. Nous avons affiché les valeurs CQI pour les UE sur la bande passante PUSCH/PDSCH.

Dans le cas de la liaison descendante DL on a:

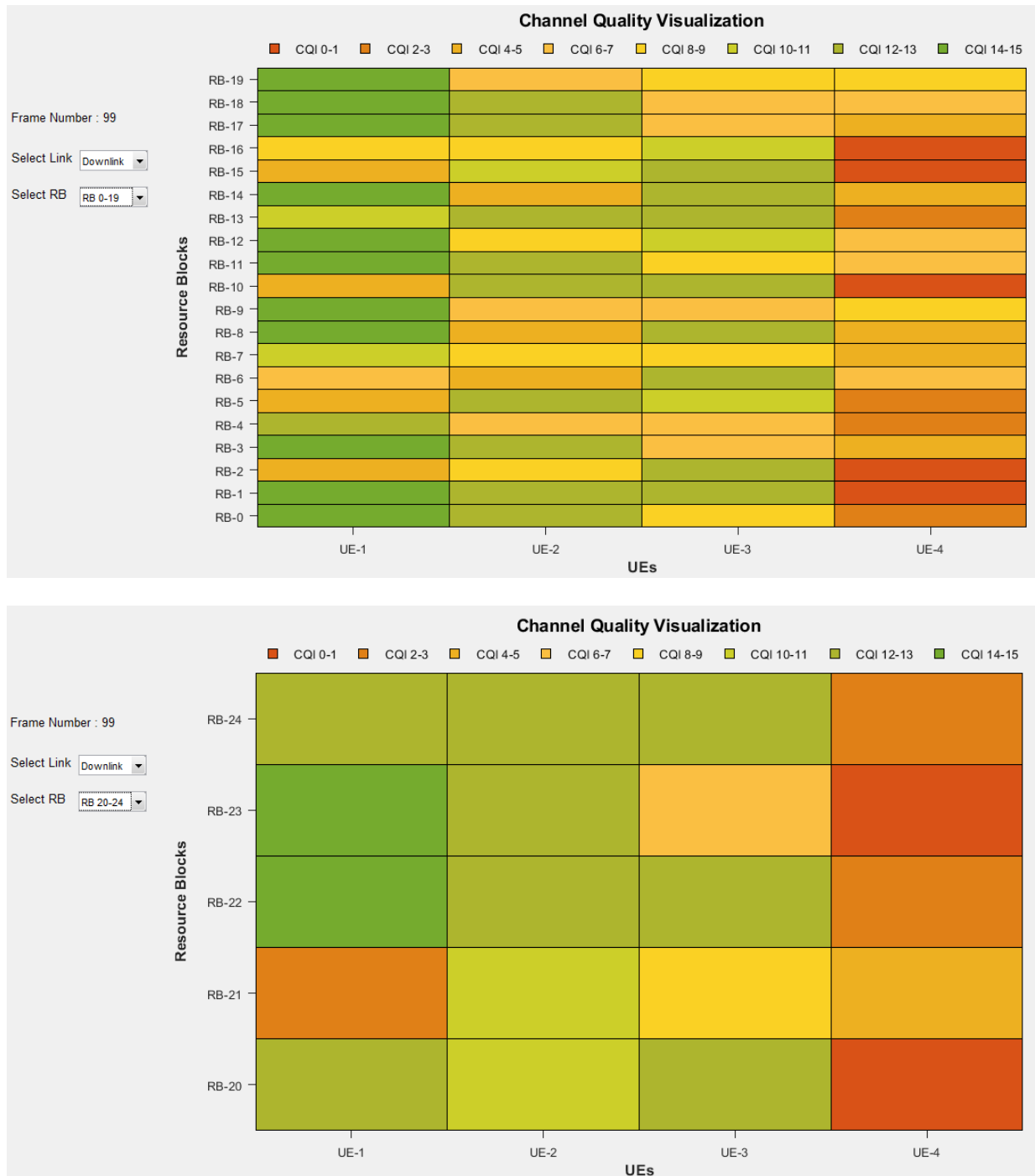


Figure 3. 19 : Matrice N par P de la liaison descendante.

Dans le cas de la liaison montante UL on a:

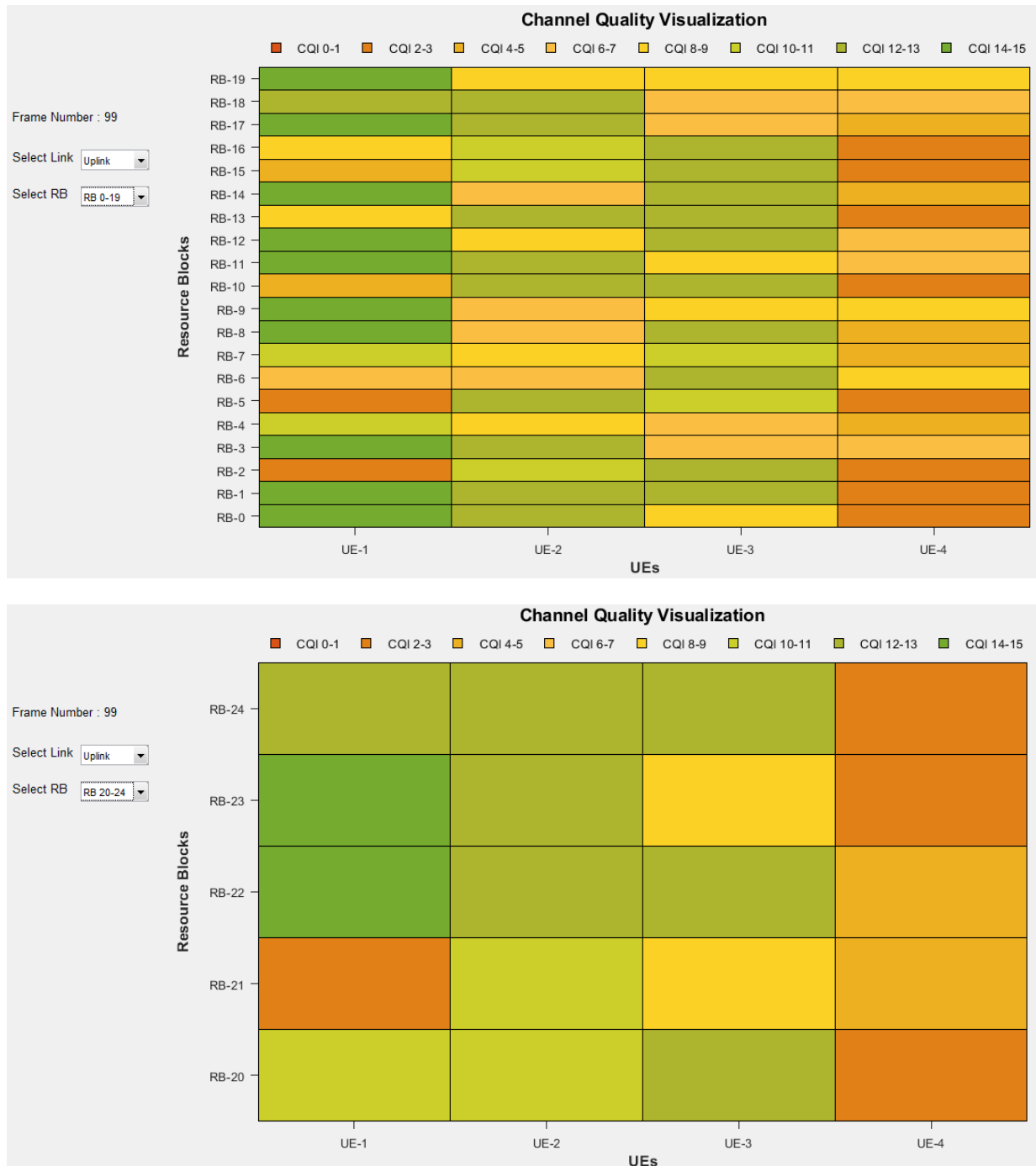


Figure 3. 20 : Matrice N par P de la liaison montante.

La valeur initiale du CQI pour chaque RB, pour chaque UE, est allouée de manière aléatoire et est limitée par la valeur maximale atteignable du CQI correspondant à la distance de l'UE à gNB. Les différentes couleurs utilisées par les deux figures ci-dessus indiquent la valeur de CQI initial pour chaque RB et UE. En remarque que lorsque la distance entre l'UE et gNB est plus courte, la valeur de CQI initial est plus élevée, et inversement.

3.4.3 Planification MAC (UL et DL)

Dans le cas de la liaison montante UL, la figure ci-dessous montre les tracés du débit UL (par UE et cellule), du bon débit UL (par UE et cellule), et le pourcentage de partage des ressources entre les UE (sur le total des ressources UL) pour rendre la planification plus équitable, et statut de tampon UL en attente des UE pour montrer si les UE obtiennent des ressources suffisantes. Les graphiques des mesures des performances permettent de mettre à jour tous les slots.

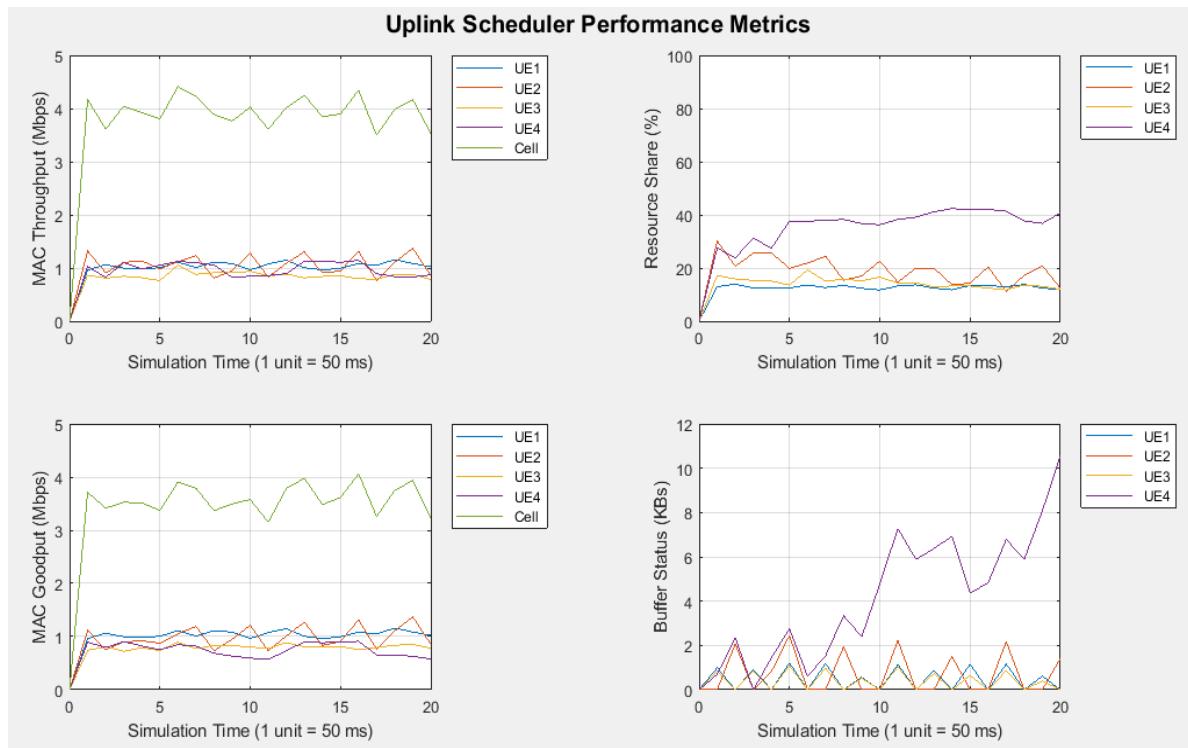


Figure 3. 21 : Mesure des performances du planificateur de liaison montante.

Les courbes de la figure 3.22 donnent les mesures des performances de la planification de la liaison descendante (DL).

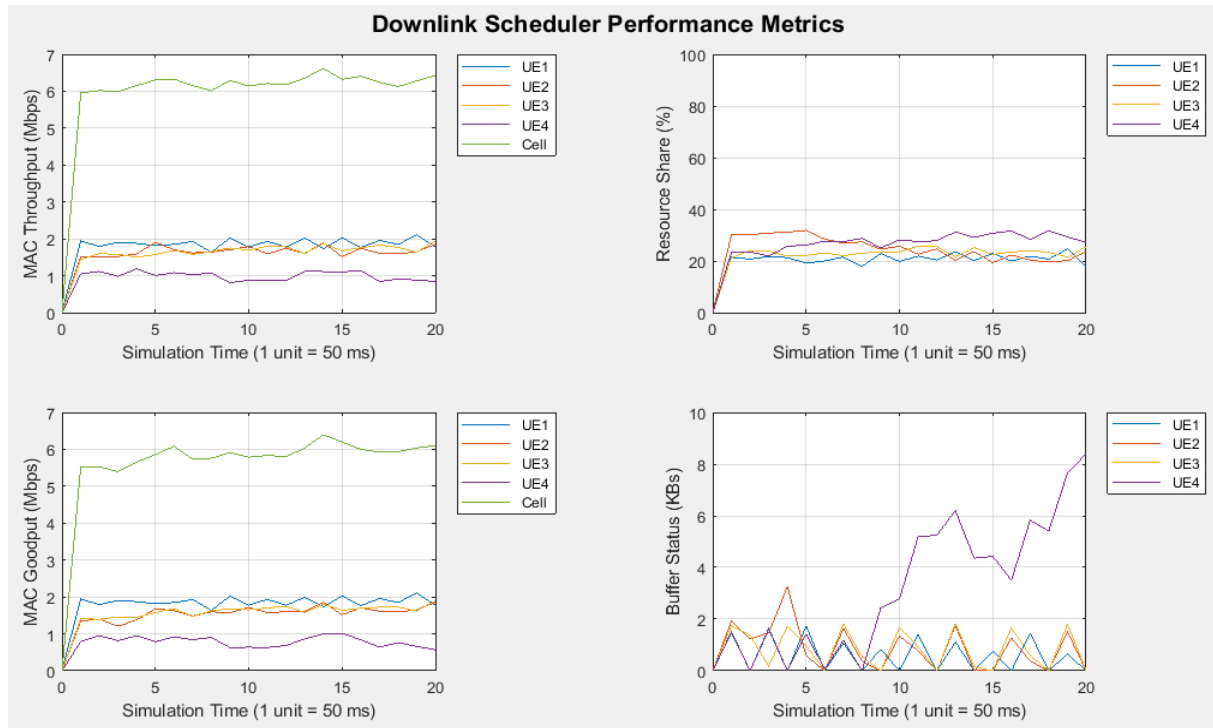


Figure 3. 22 : Mesure des performances du planificateur de liaison montante.

❖ Le débit MAC pour DL et UL

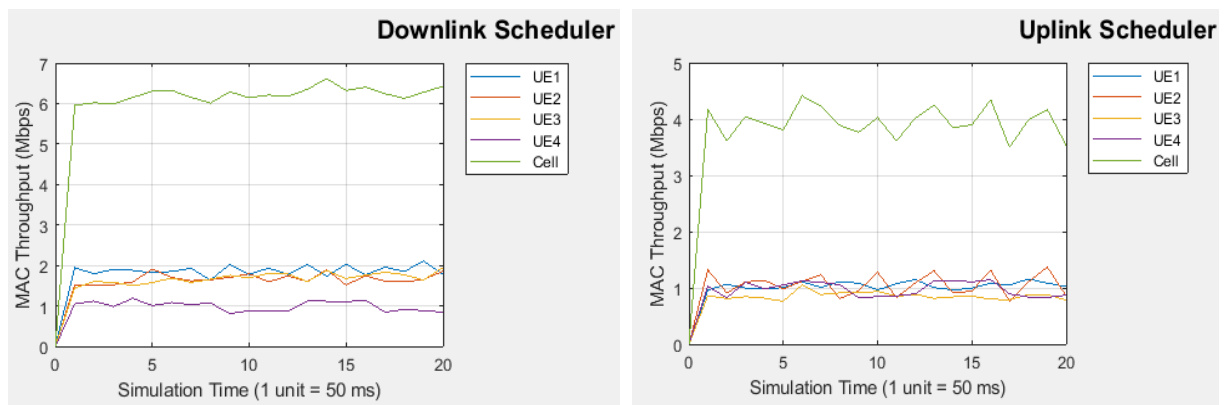


Figure 3. 23 : Le débit MAC pour UL et DL.

Nous remarquons pour chaque UE dans les deux liaisons UL et DL, le débit MAC sera élevé lorsque la taille des paquets est grande, et plus la taille des paquets est petite, plus le débit est faible, aussi concernant le débit de la cellule, est égale à la somme de tous les débits de tous les utilisateurs de la cellule.

❖ Le bon débit MAC pour DL et UL

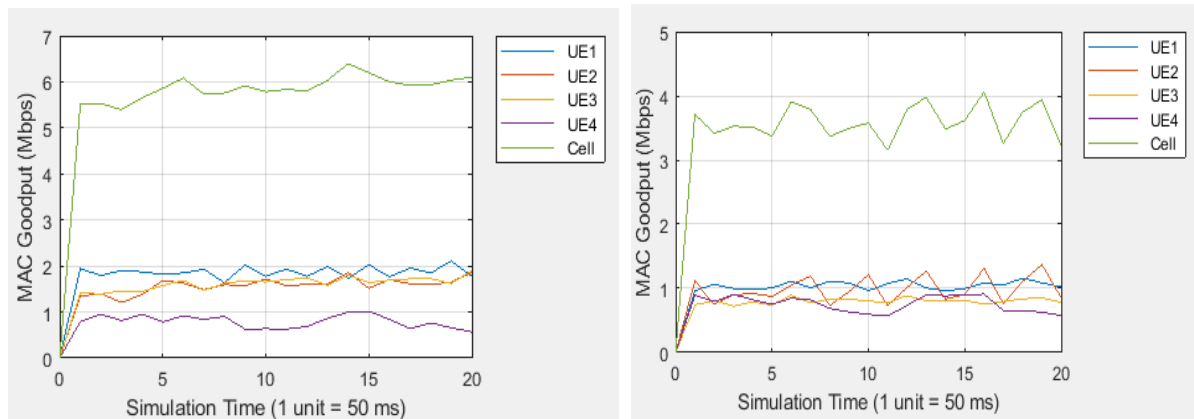


Figure 3. 24 : Le bon débit MAC pour DL et UL.

Nous voyons dans les figures ci-dessus pour la liaison UL et DL, le bon débit MAC est le débit idéal pour tous les utilisateurs de la cellule. Nous concluons également que le débit MAC pour chaque liaison et UE approximativement égal au débit idéal.

❖ Le pourcentage de partage des ressources pour DL et UL

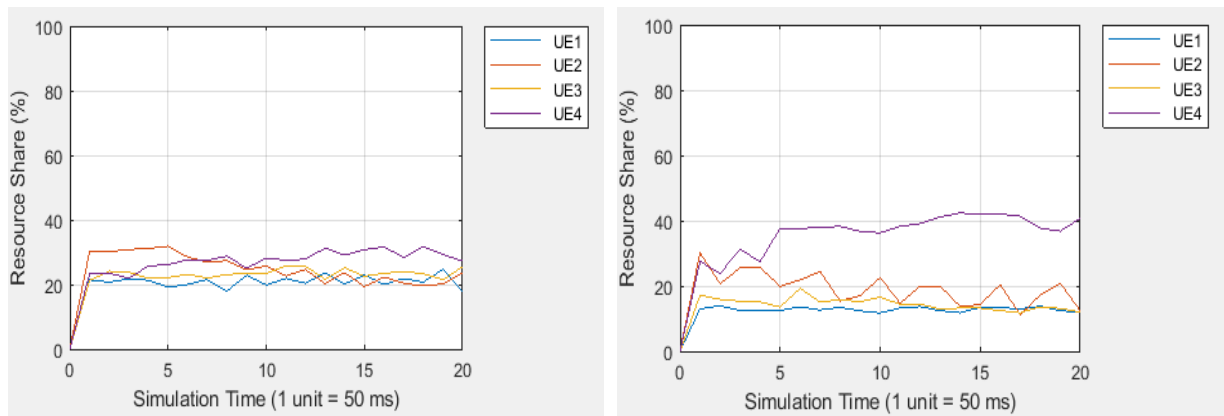


Figure 3. 25 : partage des ressources pour DL et UL

Les figures ci-dessus nous montrent le pourcentage de partage des ressources pour les liaisons UL et DL, pour chaque UE, qui augmente ou diminue selon les deux paramètres qui sont la distance entre l'UE et gNB, et la taille des paquets.

❖ La mémoire tampon pour DL et UL

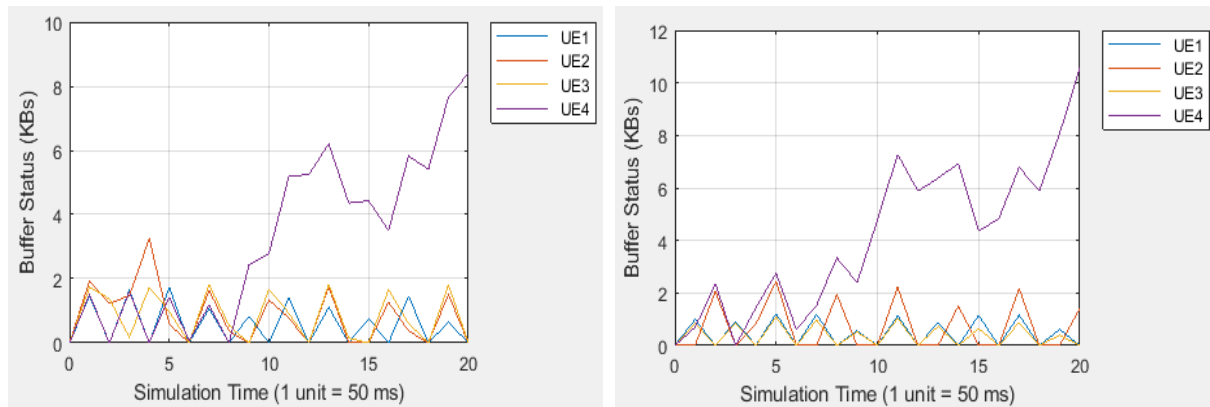


Figure 3. 26 : La mémoire tampon pour DL et UL.

On remarquant dans la figure 3.26 les tracées de mesure de la mémoire tampon qui stocker les paramètres de planification pour chaque UE, qu'il est plus élevé si la distance entre l'UE et gNB est grande, et inversement.

3.4.4 Les métriques RLC

❖ Résultat et interprétation

Les différentes figures ci-dessous représentent l'affichage du tracé des mesures RLC pour chaque UE :

Utilisateur 1 :

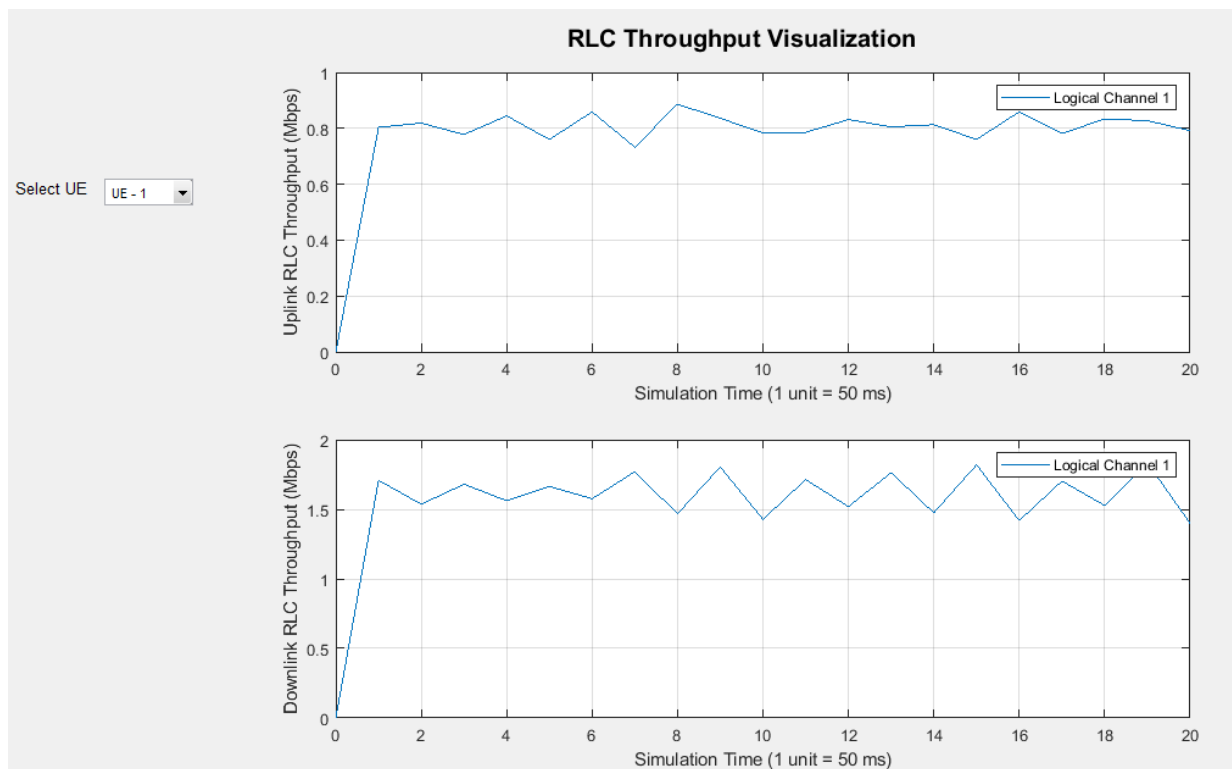


Figure 3. 27 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 1.

Utilisateur 2 :

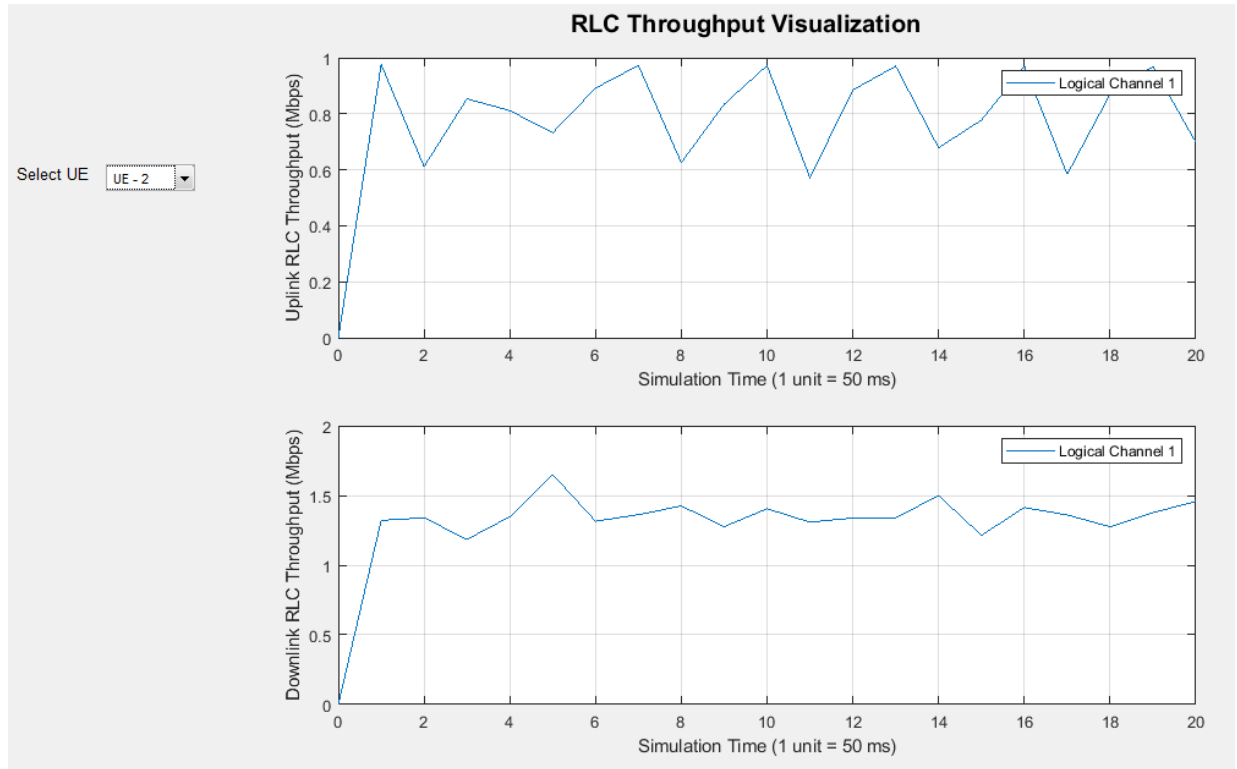


Figure 3. 28 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 2.

Utilisateur 3 :

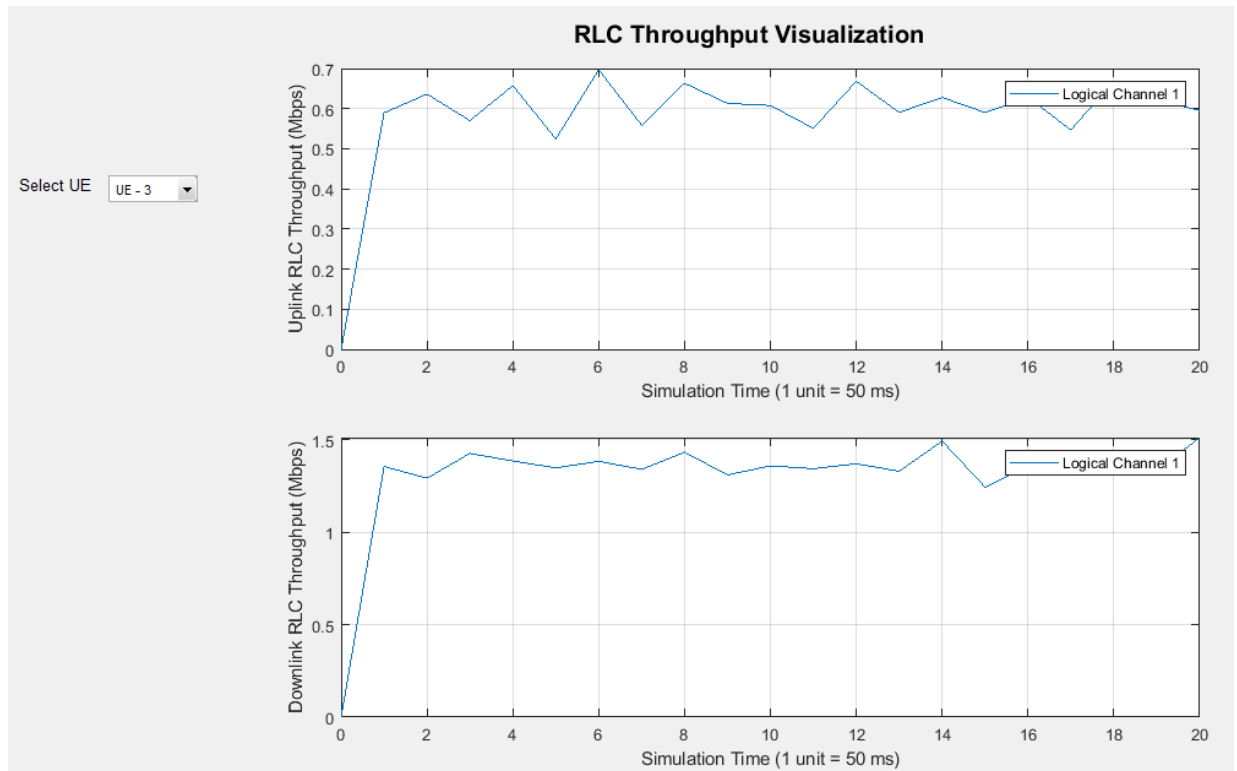


Figure 3. 29 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 3.

Utilisateur 4 :

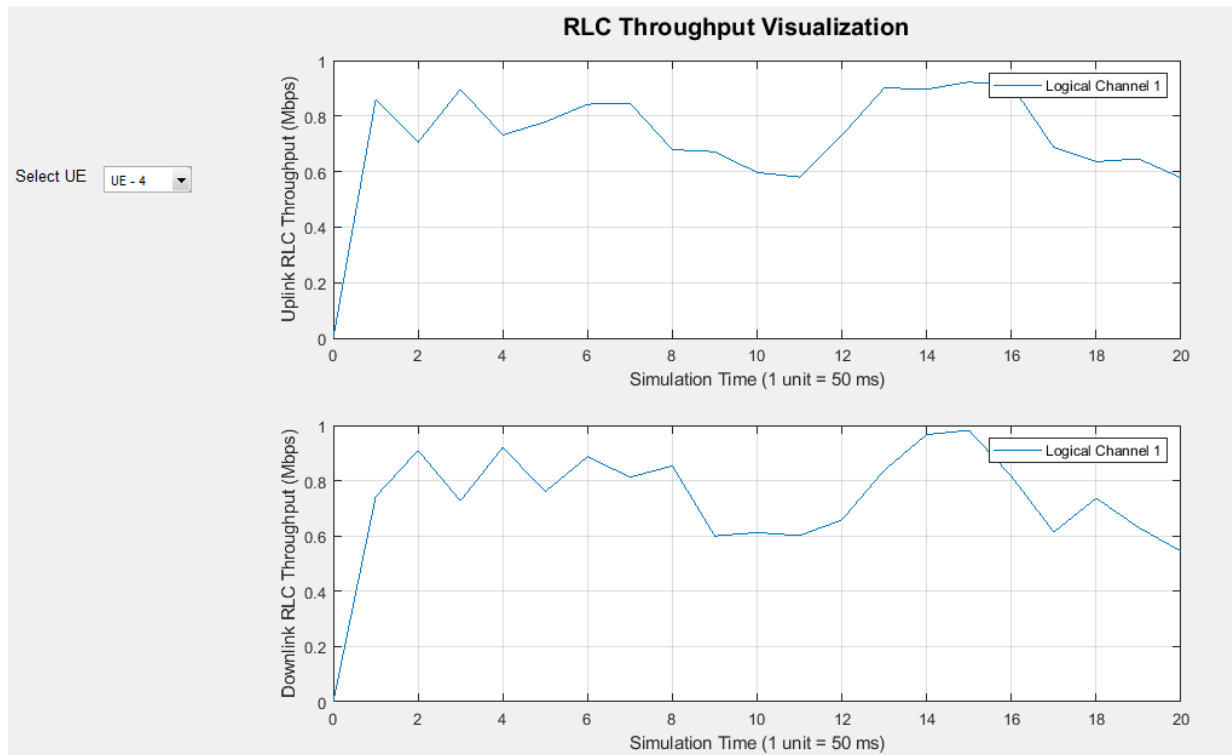


Figure 3.30 : Visualisation du débit RLC pour l'utilisateur 4.

Les figures de Visualisation du débit RLC montre le débit du canal logique RLC pour l'UE sélectionné pour la liaison montante et liaison descendente. Le tracé des mesures RLC met à jour tous les slots.

On déduire que le débit RLC pour UL et DL de chaque UE augmente à mesure lorsque la taille des paquets UL et DL est grande, et plus la taille des paquets est petite, plus la valeur de débit RLC diminue.

3.4.5 Allocation de grille de ressources

❖ Résultat et interprétation

La figure ci-dessous représente l'affichage de l'affectation de ressources aux UE.

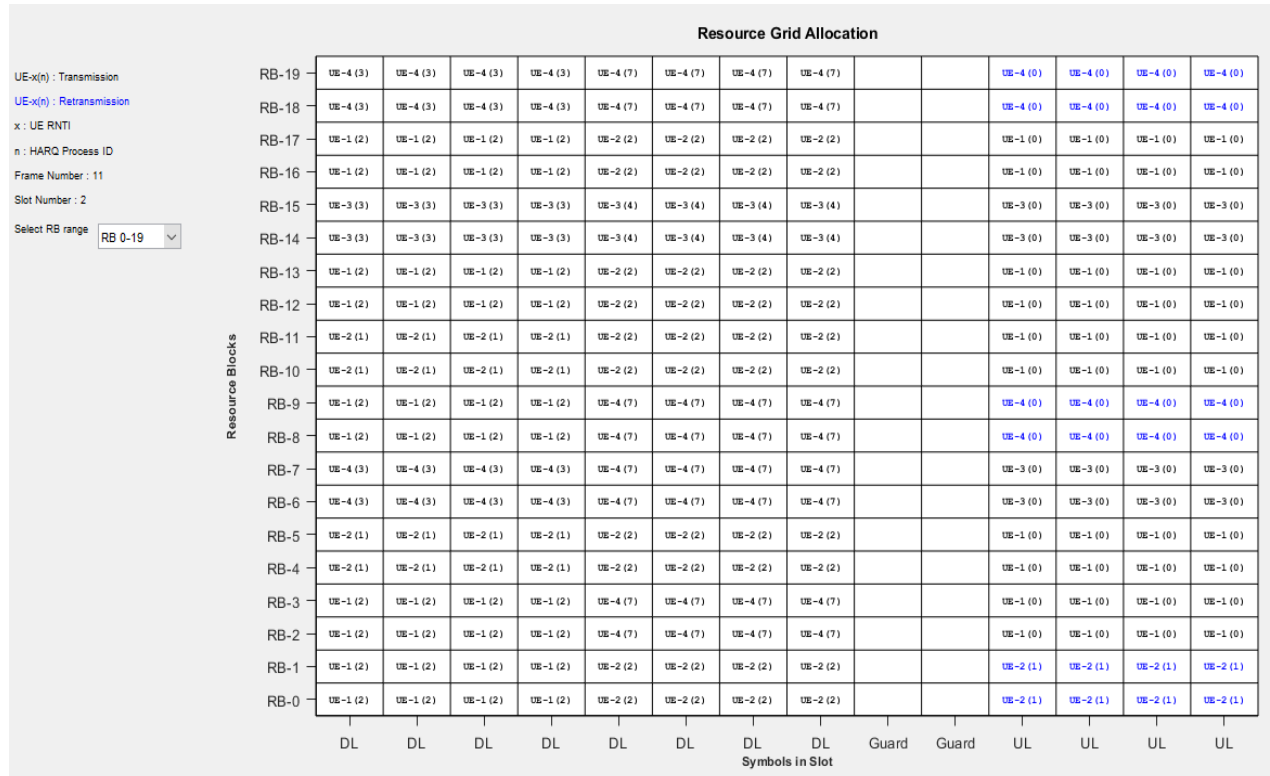


Figure 3.31 : Allocation de ressources

La grille temps-fréquence 2D montre l'affectation des ressources aux UE. Pour la planification basée sur les créneaux, il se met à jour toutes les 10 ms (longueur de trame) et affiche l'allocation RB aux UE dans la trame précédente. Pour la planification basée sur les symboles, il met à jour chaque créneau et affiche l'allocation RB des symboles du créneau précédent. Le processus HARQ pour les affectations est également affiché à côté du RNTI des UE. Les nouvelles transmissions sont affichées en noir et les retransmissions sont affichées en bleu. En utilisant l'ID de processus HARQ d'un UE, une attribution de retransmission peut être mappée à sa transmission ayant échoué précédemment.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a pu voir que sur la base de la stratégie de planification choisit dans notre exemple, qui montre l'affectation des ressources UL et DL à plusieurs UE par le gNB. La couche physique est abstraite dans l'exemple. Les performances de planification UL et DL sont analysés sur la base de tracés d'exécution du débit MAC, du bon débit MAC, de l'équité du partage des ressources et de l'état du tampon en attente des UE. Une analyse post-simulation plus approfondie utilisant les journaux enregistrés donne une image détaillée des opérations qui se déroulent par symbole/emplacement.

Conclusion générale

Ce projet de recherche rentre dans le cadre de l'étude de la communication sans fil. Il traite la problématique suivante : comment améliorer les performances de transmission dans les réseaux mobiles sans fil grâce à des techniques plus avancées ? Durant les dernières décennies, les exigences d'utilisations destinées aux communications sans fil sont devenues de plus en plus nombreuses, d'où la nécessité d'avoir des débits de transmission plus importants.

Dans le premier chapitre, nous avons mené une étude sur le développement la cinquième génération (5G) des réseaux cellulaires, et les techniques utilisées dans cette génération et leurs architectures qui diffèrent des générations précédentes. Ce réseau travaille sur l'augmentation du débit et gère un grand nombre de cas et des exigences d'utilisations, une connectivité 1000 fois supérieure à celle de 4G, une consommation faible d'énergie, une latence zéro, et pour arriver à ces exigences la 5G utilise les ondes millimétriques (30GHz-300GHz) car elle est capable de fournir des fréquences très élevées et des bandes plus larges par rapport à la 4G.

Dans le deuxième chapitre, nous avons décrit la planification des symboles NR TDD en 5G, ensuite la numéroteur et la structure de la trame dans la transmission sans fil. Ainsi, les signaux physiques de systèmes de radio communications mènent au constat de la nécessité de la recherche de nouvelles solutions résistantes aux interférences et aux multitrajets, qui est représentée dans les différents modèles de canaux rencontrés en pratique ont été examinés, notamment les canaux à évanouissements qui caractérisent le mieux les communications sans fil. Après avoir étudié quelques notions sur l'estimation d'un DL UL qui joue un rôle clé dans les performances des systèmes de communication. Dans ce point, on étudie des techniques fondées sur les estimateurs DL UL.

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié les performances de planification des symboles NR dans le mode duplexage par répartition dans le temps (TDD), on déduit que la planification dans la liaison montante sera asynchrone par contre dans la liaison descendante est synchrone. La simulation que nous avons réalisée a permis de montrer l'importance de la taille des paquets et la distance pour les UEs, à fin d'analyser les débits MAC et RLC ainsi que l'allocation des ressources pour les deux liaisons montante et descendante.

On peut conclure que l'utilisation des différentes numéroteurs dans l'interface NR permet d'atteindre les objectifs comme le débit ultra élevé, ou le temps de latence très faible.

BIBLIOGRAPHIE

[1] : D. MARWA B. ASMA, « Étude et Analyse de Méthodes de Beamforming pour des Systèmes Multi-utilisateurs Pour la 5G », mémoire de master, pages 5, 2019

[2] : Évaluation de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques 5G, rapport-ANFR, pages 2-10, Juillet 2019.

[3] : L. Bouchra & Z. Imane, « formation de faisceaux dans un système de communication MIMO massif », mémoire de master, département d'électronique, université de blida1, page 6, 2020.

[4] : D. Kaoutar & D. Warda, « Étude de massive MIMO pour 5G », mémoire de master, pages 5-6, 2019.

[5] : 5G : ANTICIPATION OPPORTUNITÉS « INFLUENCE DE LA 5G SUR LES ARCHITECTURES », page 11, Janvier 2020.

[6] : Sébastien. LES ENJEUX DE LA 5G, Arcep, pages 10-11-12-13, Mars 2017.

[7] : Cours de Réseau Mobile 5G (vidéo), GuiTechS, mai2020.

https://www.youtube.com/watch?v=cmFKY8pC5JI&list=PLfnd0q38sFP46oQpL3p_lUWIwuRfGbtOU

[8] : Jon Gold. « Les fréquences 5G en détail » Network World (adaptation Jean Elyan), Juillet 2020.

[9] : B. Amira Meriem & G. Rania, « Étude de méthodes de beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit pour des systèmes FBMC », mémoire de master, pages 8-9, juin 2018.

[10] : « Les principales innovations de la 5G | Informatique CDC », MAI 2020.

[11] : Detti, Andrea, « Functional architecture » CNIT - Electronic Eng Dept., Université de Rome Tor Vergata, page 60, 2020.

[12] : R. Orimbato Fehizoroniaina, « ÉTUDE DES FORMES D'ONDES UTILISEES EN 5G NR » ; Mémoire de master, pages 27-33-36...42, 2019

[13] : Kumara Swamy, How LTE Stuff Works?, Blogger, depuis 2011, <http://howltestuffworks.blogspot.com/search/label/TDD>

[14] : Frédéric Launay, « Les réseaux de mobiles 4G et 5G »lte Advanced, Université de Poitiers, 2021 ; <http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/>

[15] : 5G New Radio : - Ni - National Instruments « 5G New Radio : Introduction à la couche physique », pages 11-13-14, 2021.