

## TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLES DES MATIERES .....	ii
NOTATIONS.....	v
INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLEME.....	1
CHAPITRE 1 EVOLUTION VERS LE RESEAU 5G .....	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Evolution historique des communications sans fil .....	3
1.3 Evolution de la technologie LTE au-delà de 4G.....	6
1.4 L'aube de l'ère 5G.....	7
1.5 Vision des services 5G.....	8
1.5.1 <i>L'Internet of Things</i> .....	8
1.5.2 <i>Expérience multimédia immersive</i> .....	8
1.5.3 <i>Tout sur le Cloud</i> .....	9
1.5.4 <i>Accès à distance intuitif</i> .....	9
1.6 Exigences 5G.....	9
1.6.1 <i>Débit de données de bord de cellule et pic de débit de données</i> .....	10
1.6.2 <i>Latence</i> .....	10
1.6.3 <i>Connexion simultanée</i> .....	11
1.6.4 <i>Efficacité des coûts</i> .....	11
1.6.5 <i>Mobilité</i> .....	11
1.6.6 <i>Efficacité spectrale cellulaire</i> .....	11
1.7 Technologies habilitantes en termes d'exigences 5G .....	12
1.8 Caractéristiques du réseau 5G.....	14
1.9 Architecture de 5G.....	14
1.10 Applications pour 5G.....	16
1.11 Conclusion .....	17
CHAPITRE 2 GESTION DYNAMIQUE D'ALLOCATION DE RESSOURCES RADIO POUR LES NOUVELLES GENERATIONS DE COMMUNICATION SANS FIL.....	18
2.1 Introduction.....	18

2.1.1	<i>Définition</i> .....	18
2.1.2	<i>Les scénarios possibles pour le déploiement d'un système d'agrégation de porteuses</i> .....	19
2.1.3	<i>Techniques d'agrégation de porteuses</i> .....	20
2.2	<b>Les fonctions d'utilité des applications utilisateurs</b> .....	21
2.3	<b>Modèles d'allocation de ressources pour les réseaux cellulaires de nouvelle génération</b> .....	24
2.3.1	<i>Allocation de ressources via l'Équité Max-Min ou Max-Min Fairness</i> .....	24
2.3.2	<i>Allocation de ressources via l'Équité proportionnel ou Proportionnal Fairness</i> .....	24
2.3.2.1	Algorithme de Frank Kelly.....	25
2.3.2.2	Allocation de ressources via la fonction d'équité proportionnelle utilitaire avec agrégation de porteuses.....	26
2.4	<b>Allocation de spectre entre différentes classes d'utilisateurs dans les réseaux cellulaires</b> .....	27
2.4.1	<i>Formulation du problème de partage de spectre</i> .....	27
2.4.2	<i>Optimisation du partage de spectre</i> .....	29
2.4.2.1	Premier cas .....	29
2.4.2.2	Deuxième cas .....	32
2.4.3	<i>Proposition d'une solution globale optimale pour le deuxième cas</i> .....	35
2.5	<b>Conclusion</b> .....	36
<b>CHAPITRE 3 MODELISATION D'UN SYSTEME D'ALLOCATION DE RESSOURCES RADIO D'UN RESEAU UNICELLULAIRE VIA LA DISCRIMINATION D'UTILISATEURS</b> .....		
<b>3.1 Introduction</b> .....		
<b>3.1.1 Formulation du problème</b> .....		
<b>3.1.2 Problème d'optimisation d'allocation de ressources</b> .....		
<b>3.1.3 Problèmes d'optimisation d'allocation de ressources pour les utilisateurs multi-applications</b> .....		
3.1.3.1	Premier cas : quand le débit d'application requis est supérieur ou égale à R.....	39
3.1.3.2	Deuxième cas : quand le débit d'application requis est inférieur à R .....	41
<b>3.1.4 Algorithmes d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateur et résultats de simulations</b> .....		
3.1.4.1	Algorithmes d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateur .....	42
3.1.4.2	Résultats de simulations .....	44

3.1.4.3 Convergence dynamiques pour différentes valeurs de $R$ .....	46
3.1.4.4 Sensibilité d'allocation de débits aux changements de $\alpha$ .....	48
3.1.4.5 Sensibilité du Shadow price aux changements liés aux nombres d'UEs .....	49
<b>3.2 Conclusion .....</b>	<b>50</b>
<b>CHAPITRE 4 MODELISATION ET SIMULATION D'UN SYSTEME D'ALLOCATION DE RESSOURCES RADIO COMBINANT L'AGREGATION DE PORTEUSES ET LA DISCRIMINATION DES UTILISATEURS .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 Problème d'un système multi-porteur .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3 Méthode de groupement des utilisateurs .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4 Problème d'optimisation d'allocation de ressources multi-porteuses avec discrimination d'utilisateur et d'agrégation de porteuses.....</b>	<b>54</b>
<b>4.5 Proposition d'algorithme d'optimisation d'allocation de ressources multi-porteuses .....</b>	<b>59</b>
<b>4.6 Résultats de simulations .....</b>	<b>61</b>
<b>4.6.1 Débits alloués par le porteur 1 .....</b>	<b>63</b>
<b>4.6.2 Débits alloués par le porteur 2 et les débits totaux agrégés.....</b>	<b>64</b>
<b>4.6.3 Analyse des Shadow price pour le porteur 1 et porteur 2.....</b>	<b>66</b>
<b>4.7 Conclusion .....</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>68</b>
<b>ANNEXE 1 LES ALGORITHMES UTILISES DANS LES SIMULATIONS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANNEXE 2 EXTRAITS DE CODES SOURCES.....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAPHIES.....</b>	<b>79</b>
<b>FICHE DE RENSEIGNEMENTS .....</b>	<b>81</b>

## NOTATIONS

### 1. Minuscules latines

$w_i$	Bids ou poids d'applications
$L_i$	Nombres d'applications tournant dans les $i^{\text{ème}}$ UE
$d_i$	La distance entre l'eNodeB et l'utilisateur $i$
$\log_2$	Logarithme à base 2
$p^j$	UN multiplicateur de Lagrange, représentant un shadow price
$q_i^j$	Debit total requis pour les UEs pour atteindre leur débit minimum d'application requis
$r_{max}$	Debit d'utilisation maximale
$z_i$	Un variable négligeable
argmax	Argument maximal
c	Debit totale d'allocation
max	Maximum
r	Point d'inflexion ou débit d'allocation
$i$	Nombres d'utilisateurs
$j$	Nombres d'applications dans un UE
$k$	Pente d'une courbe
$p(n)$	Shadow price

### 2. Majuscules latines

$C_i$	Debits totaux agrégés alloués aux utilisateurs $i$
$D_j$	Le rayon de couverture des $j^{\text{ème}}$ porteurs
$D$	Debit théorique maximal
$\mathbf{K}$	Nombre de porteurs
$K$	Ensemble de porteurs
$L_i$	Nombres d'applications tournant dans les $i^{\text{ème}}$ UE
$M_j$	Nombre d'utilisateurs sous la zone de couverture de $j^{\text{ème}}$ eNodeB
$M$	Nombre d'utilisateur VIP
$N$	Bruit
$N$	Nombre d'utilisateur REGULIER

R	Ressources disponibles
$S$	Signal
$U$	Function d'utilité
$W$	Bande passante d'un spectre
$X$	La satisfaction d'utilisateur

### 3. Minuscules grecques

$\alpha_{ij}$	Pourcentages d'utilisation d'une application ou poids d'applications
$\beta_i$	Poids de souscription de l' $i^{\text{ème}}$ utilisateur assigné par le réseau
$\delta$	Seuil

### 4. Abréviations

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AR	Allocation de Ressource
B4G	Beyond 4G
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CoMP	Coordinated Multipoint
D2D	Device to Device
DL	Down Link
DOF	Degrees of freedom
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EE	Efficacité énergétique
eNodeB	evolved Node B
eSON	Enhanced Self Organising Networks
F1	Fréquence 1

F2	Fréquence 2
FBMC	Frequency Division Multiple Access
FCFS	First-Come First-Serve
FDD	Frequency Division Duplex
FM	Frequency Modulation
FQAM	Frequency and Quadrature Amplitude Modulation
FTP	File Transfert Protocol
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HetNet	Réseaux hétérogènes
HSPA	High Speed Packet Access
IMT	International Mobile Telecommunications
IMT-2000	International Mobile Telecommunications - 2000
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications - Advanced
IoT	Internet of Things
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
M2M	Machine to Machine
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MTC	Machine Type Communication
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technologies
RRHs	Remote Radio Heads
SE	Spectrum Efficiency
SSB	Single Side Band
SU-MIMO	Single-User MIMO
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access

UE	User Equipment
UHD	Ultra Haute Définition
UHD	Ultra Haute Définition
UIT-R	Union Internationale des Télécommunications – Secteur Radiocommunication
UL	Up Link
UPF	Utility Proportional Fairness
V2X	Vehicle-to-X
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WFQ	Weighted FairQueuing
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WRC	World Radiocommunication Conference

#### 5. Notations spéciales

$( )^{-1}$	Opérateur inverse
$   $	Module

## INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLEME

Ce mémoire consiste à l'étude, l'optimisation et à la proposition de nouveaux algorithmes d'allocation de ressources radio pour faire face aux évolutions du système de transmission mobile 5G et satisfaire ainsi les besoins des utilisateurs.

### *Problématiques :*

- Les futurs systèmes cellulaires sans fil doivent satisfaire les utilisateurs souscrivant à une offre, quelques exigences principales coexistent : l'optimisation de l'efficacité spectrale, le partage de spectre et le déploiement de dense small cells.
- Pour les systèmes multicellulaires, existe-il un moyen efficace afin de répartir de façon optimale les ressources disponibles de l'eNodeB, sans avoir détérioré le QoS (Quality of Service) des utilisateurs ?

### *Les objectifs de ce mémoire sont :*

- De modéliser un système d'allocation de ressources multi-étage par discrimination d'utilisateur afin d'allouer de façon optimale les ressources, à travers différentes classes et types d'applications des utilisateurs.
- De proposer un algorithme d'allocation de ressources multi-porteuses en se basant sur une approche d'agrégation de porteuses ou carrier aggregation en anglais, et en mettant en œuvre la technique d'équité proportionnelle ou proportional fairness profile en anglais.

Ces dix dernières années, le trafic de données mobiles a connu une augmentation exponentielle en raison de la croissance spectaculaire des smartphones, des tablettes, des ordinateurs portables et de nombreux autres dispositifs sans fil. Ainsi, la hausse des demandes pour une communication sans fil plus fiable et plus rapide a entraîné l'étude de développement d'une nouvelle génération de communication mobile, c'est là que naît la cinquième génération de réseaux de communication sans fil ou 5G.

Pour satisfaire la qualité de service et améliorer le débit, certaines nouvelles technologies doivent être exploitées. Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur des techniques qui améliorent le processus d'allocation de ressources du réseau. Une manière bien connue d'améliorer celle-ci consiste à utiliser la technique d'agrégation de porteuses et aussi de sa combinaison avec un système de discrimination d'utilisateur, les deux via l'équité proportionnelle utilitaire.



Ce mémoire sera axé sur la procuration d'un Framework qui satisfait le problème d'optimisation d'allocation de ressource afin d'allouer des ressources multi-porteuses de façon optimale à travers différentes classes d'utilisateurs. Par conséquent, ceci s'intitule « Optimisation du système d'allocation de ressource pour le réseau 5G ».

Tout d'abord, dans le premier chapitre, nous nous aborderons sur l'évolution de 4G vers 5G. En nous intéressant sur le réseau 5G avec ses concepts, ses caractéristiques, son architecture, ses applications, ses défis et ses technologies clés. Ensuite, dans le second chapitre, nous parlerons du système d'agrégation de porteuses, des fonctions d'utilités des applications utilisateurs, des modèles d'allocation de ressources, et d'une solution optimale de partage de spectres. Dans le troisième chapitre, nous nous focalisons sur la recherche d'une solution optimale d'allocation de ressources d'un réseau unicellulaire en se basant sur la discrimination des utilisateurs. Enfin, le dernier chapitre concernera la modélisation et la simulation d'un système d'allocation de ressources d'un réseau multicellulaire 5G combinant l'agrégation de porteuses et la discrimination des utilisateurs. Et nous présentons un algorithme d'allocation de ressources, assignant chaque utilisateur à un débit optimal. Nous présentons des résultats de simulation, développé en C++ et Matlab, pour visualiser le fonctionnement de l'algorithme, et montrer sa performance.

# **CHAPITRE 1**

## **EVOLUTION VERS LE RESEAU 5G**

### **1.1 Introduction**

Au cours des dernières années, la demande mondiale de services de données mobiles a connu une croissance phénoménale, générant ainsi une lourde charge de signalisation dans le réseau. Cela consomme une quantité disproportionnée de ressources réseau, compromettant le débit et l'efficacité du réseau et, dans des cas extrêmes, provoquant le crash des réseaux cellulaires 3G ou 4G [1].

Pour résoudre le problème de l'explosion du trafic de données mobiles, de nombreuses idées sont proposées, y compris l'approche par petites cellules, la communication D2D, etc. Cependant, nous notons que de tels efforts se concentrent principalement sur la façon de gérer les ressources radio. Ce chapitre fournit un bref aperçu de l'évolution historique des communications sans fil, des réseaux 4G avec l'aube des 5G, des visions de services 5G, des exigences 5G, un aperçu des principales technologies habilitantes pour le réseau 5G, ses caractéristiques, son architecture, concepts et applications. [2]

### **1.2 Evolution historique des communications sans fil**

Une nouvelle génération de système cellulaire apparaît tous les 10 ans environ, la dernière génération (4G) étant introduite en 2011. Suite à cette tendance, le système cellulaire 5G devrait être normalisé et déployé au début des années 2020 [3].

La normalisation des nouvelles interfaces aériennes pour 5G a pris de l'ampleur après la réunion du Secteur de l'UIT-R (Union internationale des télécommunications-Secteur Radiocommunication) lors du WRC (World Radiocommunication Conference) qui s'est tenu en 2015. Le tableau 1.01 résume l'année de déploiement ainsi que les exigences IMT (International Mobile Telecommunications) pour le pic et la moyenne de débit de données pour différentes générations du système cellulaire [3].

Bien que les exigences IMT pour 5G sont encore à définir, le consensus commun des chercheurs universitaires et de l'industrie est qu'en principe, il devrait offrir une expérience de fibre optique pour l'Internet mobile avec des taux de pointe jusqu'à 10 Gbps dans des conditions statiques/très peu de mobilité, et de 1 Gbps pour les utilisateurs très mobiles/bord de la cellule (avec des vitesses>

300 km/h). La latence de temps d'aller-retour du système 4G (LTE/LTE-A) à la pointe de la technologie est d'environ 20 ms, ce qui devrait diminuer à moins de 1 ms pour 5G [3].

Génération	Année de déploiement	Debit exigé par l'IMT	
		Utilisateurs mobiles	Utilisateurs statiques
1G	1981	<10 Kbps	<10 Kbps
2G	1992	<10 Kbps	10 Kbps
3G	2001	384 Kbps	>2 Mbps
4G	2011	100 Mbps	1 Gbps
5G	2021	1 Gbps	10 Gbps

**Tableau 1.01:** *Caractéristiques des différentes générations de systèmes cellulaires.*

Les standards mondiaux sont une pierre angulaire pour atteindre une connectivité omniprésente, assurer l'interopérabilité à l'échelle mondiale, permettre l'harmonisation entre plusieurs fournisseurs et les économies d'échelle. L'UIT-R est responsable de la définition des spécifications IMT pour les systèmes cellulaires de la prochaine génération.

Ayant défini deux spécifications précédentes (IMT-2000 pour 3G et IMT-Advanced pour 4G), elle a déjà commencé à définir des spécifications pour 5G, qui devrait être achevée très prochainement. L'UIT-R organise les WRC tous les trois ou quatre ans pour examiner et réviser les règlements de la radio.

L'attribution d'un nouveau spectre pour les communications mobiles était déjà à l'ordre du jour lors du WRC qui s'est tenu en novembre 2015.

Avant 1G (<1981) : Toutes les communications sans fil étaient basées sur la voix et utilisaient des systèmes analogiques avec modulation SSB (Single Side Band).

Pour comprendre où nous voulons être en termes de 5G, il est utile d'apprécier où tout a commencé et de marquer où nous sommes maintenant. Voici une feuille de route de l'évolution vers les communications 5G. [4]

	Année de deployments	Détails techniques
1G	1981	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un système cellulaire nommé AMPS (Advanced Mobile Phone System).</li> </ul>
2G	1992	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nommé GSM (Global System for Mobile Communications), ou IS-54 pour l'Amérique du Nord,</li> <li>- Un système numérique utilisant TDMA (Time Division Multiple Access),</li> <li>- Et aussi une migration d'un système analogique vers le numérique.</li> </ul>
2.5G	1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un communication de voix haute capacité,</li> <li>- Un service de donnée encore limité,</li> <li>- Un système utilisant CDMA (Code Division Multiple Access), et une bande passante: 1,25MHz,</li> <li>- Amélioration vers GPRS (General Packet Radio Service) et EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).</li> </ul>
3G	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'UMTS possède des capacités vocales et de données,</li> <li>- 3G exploite WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) utilisant une bande passante de 5 MHz,</li> <li>- Il fonctionne en mode FDD (Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex).</li> </ul>
4G	2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un très haut débit de données plus un système de voix,</li> <li>- Développement de deux systems: WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) utilisant OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), et LTE, très similaires.</li> <li>- Bande passante: 20 MHz,</li> </ul>
5G	2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas encore défini officiellement,</li> <li>- Un système de données ultra-haute capacité et ultra-haute vitesse,</li> <li>- Un changement de paradigme de conception d'un système de discipline unique à un système multi-disciplinaire.</li> </ul>

**Tableau 1.02:** *Evolution vers les communications 5G*

### 1.3 Evolution de la technologie LTE au-delà de 4G

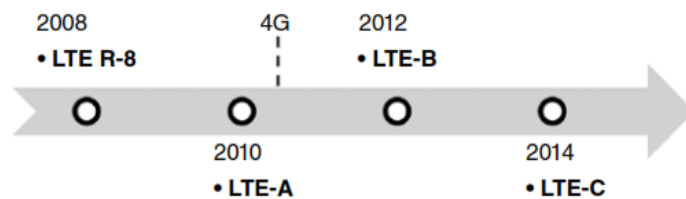
Un résumé des exigences IMT-Advanced pour le réseau 4G est le suivant :

Intitulés	Caractéristiques
Débit de données maximal	- 100 Mbits/s mobilité élevée à 360 km/h, - 1 Gbit/s pour les utilisateurs stationnaires ou piétons.
Latence du plan utilisateur	- Moins de 10 ms.
Largeur de bande	- Evolutive jusqu'à 40 MHz, - Extensible à 100 MHz.
SE Pic de liaison descendante	- 15 bits/s/Hz
SE Pic de liaison montante	- 6,75 bits/s/Hz

**Tableau 1.03:** *Les exigences IMT-Advanced pour le réseau 4G*

Ouvrant la voie à 5G implique à la fois évolution et révolution du système de conception. Bien que des RAT (Radio Access Technologies) perturbateurs soient nécessaires pour fournir une étape vers le niveau suivant de la capacité de performance, nous devons également améliorer les RAT existants. À cet égard, nous devons améliorer encore le système LTE à B4G. Tout d'abord ciblant les exigences IMT-Advanced, la norme LTE R-8 était incapable de satisfaire aux exigences de la liaison descendante (bien qu'elle puisse répondre à toutes les exigences en direction de la liaison montante) avec un seul élément d'antenne à l'UE et quatre antennes de réception au niveau eNodeB (evolved Node B) [5].

En revanche, LTE-A est une véritable technologie 4G (répondant à toutes les exigences IMT-Advanced), nécessitant au moins deux éléments d'antenne à l'UE. En tant que tel, il a été accepté comme IMT-Advanced 4G technologie en Novembre 2010. La figure 1.01 illustre l'évolution de la norme LTE par le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) vers le B4G (Beyond 4G). Les innovations de cette feuille de route comprennent notamment l'amélioration de la SE (Spectrum Efficiency) et de la capacité de la zone tout en réduisant le coût opérationnel du réseau pour garantir un coût marginal fixe pour les opérateurs. Enfin, le Tableau 1.04 résume les principales caractéristiques des différentes versions de LTE de R-8 à R-13, la dernière révélée en décembre 2013 [5].



**Figure 1.01 :** Évolution de la norme LTE au-delà de 4G.

#### 1.4 L'aube de l'ère 5G

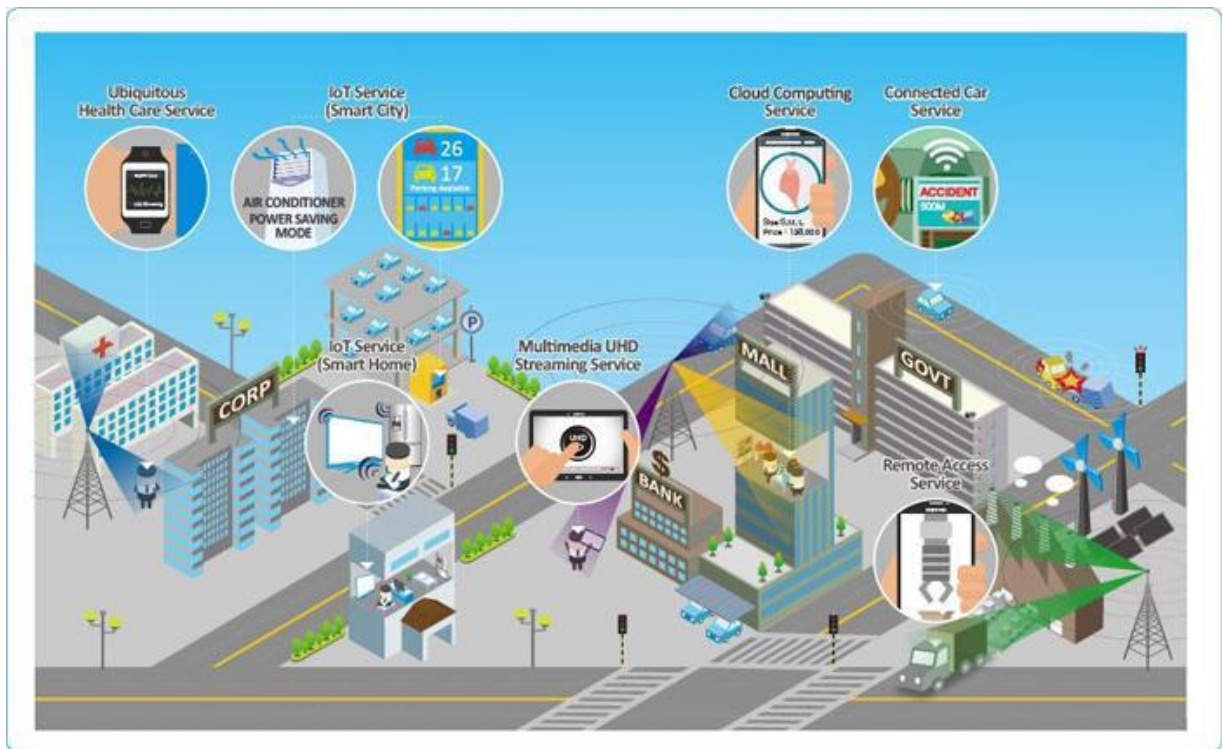
On peut s'attendre qu'avec l'impact des besoins des capacités de cellule supérieures, des besoins de débit de données de l'utilisateur final dues au flux multimédia UHD (Ultra Haute Définition), aux exigences de latence extrêmement faible pour le cloud computing, 5G supporte des applications immersives qui requièrent des connexions sans fil à haute vitesse, un IoT (Internet of Things) pleinement réalisé, et l'expérience en latence plus faible. Examinons les services et les exigences que 5G devrait traiter [6].

Release		Caractéristiques
LTE	R8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supportant à la fois FDD et TDD</li> <li>• Spectre de fréquence évolutif en six bandes de fréquence différentes : 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20 MHz</li> <li>• OFDM</li> <li>• Supportant jusqu'à quatre couches de multiplexage spatial avec SU-MIMO</li> <li>• Atteignant 300 Mbps en DL et 75 Mbps en UL</li> <li>• Latence du plan utilisateur inférieure à 20 ms</li> </ul>
	R9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionnalités multicast et broadcast</li> </ul>
LTE-A	R10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrégation de porteuse utilisée jusqu'à 100 Mhz de bande passante</li> <li>• Supportant jusqu'à huit couches de multiplexage spatial avec SU-MIMO</li> <li>• MU-MIMO amélioré</li> <li>• Signal de référence étendu et plus souple</li> <li>• Fonctionnalité de relais</li> <li>• Pic de débit de données au-delà de 1 Gbps en DL et 500 Mbps en UL</li> <li>• Latence du plan utilisateur inférieure à 10 ms</li> <li>• CoMP transmission et réception</li> </ul>
	R11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Support amélioré pour HetNet</li> </ul>
LTE-B	R12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la zone locale (soft cell)</li> <li>• Porteur maigre</li> <li>• Amélioration du beamforming</li> <li>• MTC amélioré</li> <li>• 3D-MIMO</li> <li>• CoMP amélioré</li> <li>• eSON</li> </ul>
	R13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration du partage RAN</li> </ul>

**Tableau 1.04:** Caractéristiques principales des différentes LTE Release

## 1.5 Vision des services 5G

Examinons la vision des services de 5G dans la **Figure 1.02** [6].



**Figure 1.02** : *Vision des services 5G*

### 1.5.1 L'Internet of Things

5G fera de l'IOT une réalité. En 5G, un dispositif sera capable de maintenir la connectivité du réseau indépendamment de l'heure et de l'emplacement, et relier tous les dispositifs sans intervention humaine. Pour ce faire, il est prévu que 5G fournira un soutien pour un million de connexions simultanées par kilomètre carré, permettant une variété de services M2M (Machine to Machine), y compris la mesure sans fil, paiement mobile, smart grid, maison connectée, smart home, smart transport, remise en forme/soins de santé, magasin intelligent, bureau intelligent et voiture connectée. Les appareils intelligents communiquent de façon autonome et s'échangent librement les uns avec les autres en arrière-plan [7].

### 1.5.2 Expérience multimédia immersive

En 5G, les utilisateurs profiteront d'un streaming multimédia réaliste en tout temps et n'importe où. Actuellement, les services UHD (Ultra Haute Définition) sont déjà standardisés dans certains pays. Certains smartphones sur le marché sont maintenant équipés d'une caméra qui peut enregistrer avec

une vidéo 4K UHD. On s'attend à ce que les services UHD soient intégrés d'ici 2020. D'autres exemples sont VR et AR [7].

### 1.5.3 Tout sur le Cloud

5G offrira une expérience de bureau basée sur le cloud computing pour les utilisateurs. Tout est stocké et traité sur le nuage et accédé immédiatement avec une faible latence. Par exemple, lorsque vous faites vos achats, l'appareil intelligent peut vous informer de l'arrivée d'un nouveau manteau que vous pourriez aimer ou il vous permettra de savoir si le manteau dans le nouvel inventaire correspond à votre goût en fonction de votre historique d'achat. Cette notification peut être déclenchée lorsque vous entrez dans un magasin [7].

### 1.5.4 Accès à distance intuitif

Dans l'environnement 5G, les utilisateurs pourront contrôler des machines distantes (machines industrielles lourdes) et des appareils et accéder à des sites dangereux à distance, comme s'ils étaient justes devant eux, même à des milliers de kilomètres [7].

## 1.6 Exigences 5G

Les exigences de 5G se composent de sept indices de performance clés [8].

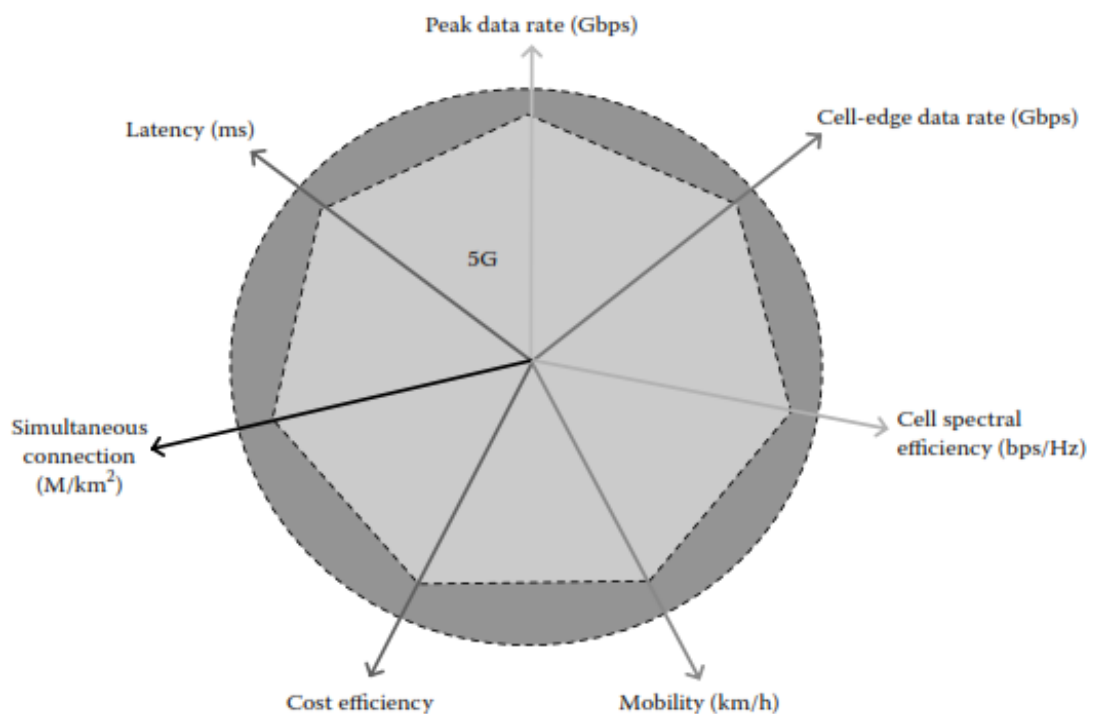
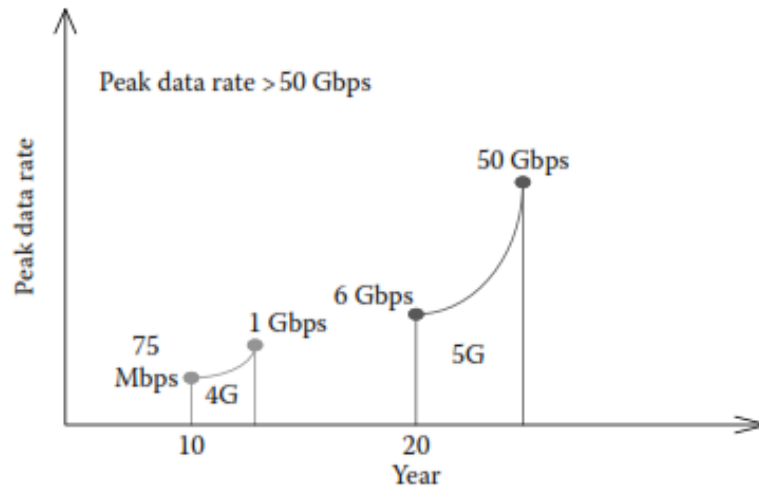


Figure 1.03 : Exigences 5G

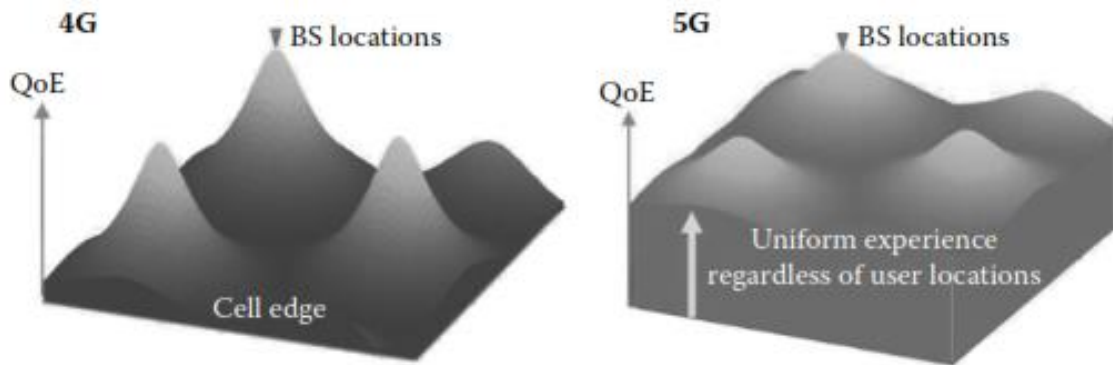


### 1.6.1 Débit de données de bord de cellule et pic de débit de données



**Figure 1.04 :** Comparaison des taux de données de 5G avec 4G

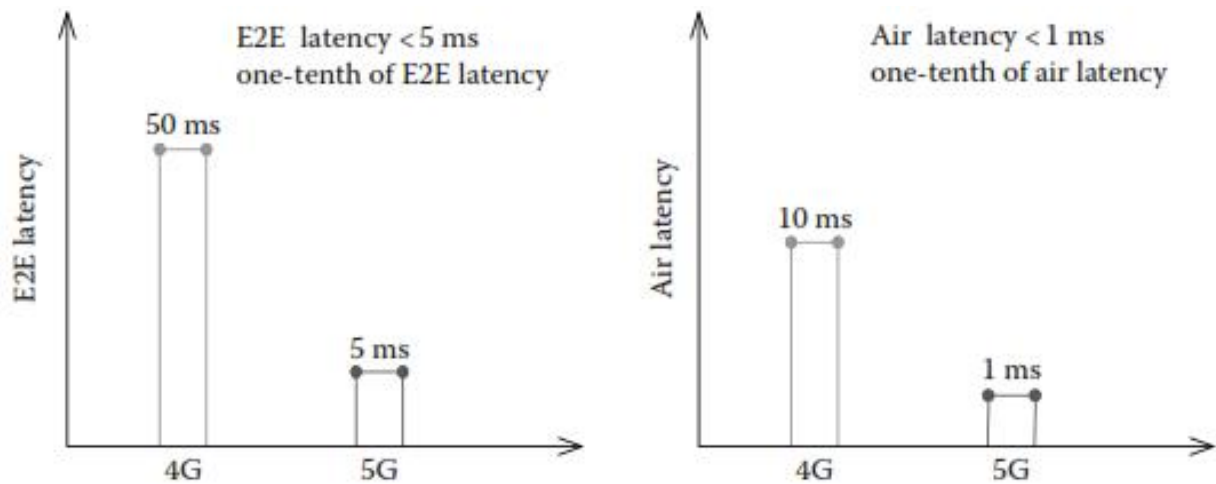
On s'attend à ce que le système 5G supporte des débits de données de 10-50 Gbps pour les utilisateurs à faible mobilité. Le système 5G fournira des services de données à débit gigabit indépendamment de l'emplacement d'un utilisateur [8].



**Figure 1.05 :** RAN sans bordure-1 Gbps partout

### 1.6.2 Latence

5G fournira une latence de bout en bout inférieure à 5 ms et une latence d'air inférieure à 1 ms, soit un dixième de la latence du réseau 4G [8].



**Figure 1.06 :** *Comparaison latence de 5G avec 4G*

### **1.6.3 Connexion simultanée**

Les connexions simultanées dans le système 5G devraient être plus de 10 par unité de kilomètre carré, ce qui est beaucoup plus élevé que celui du système 4G [8].

### **1.6.4 Efficacité des coûts**

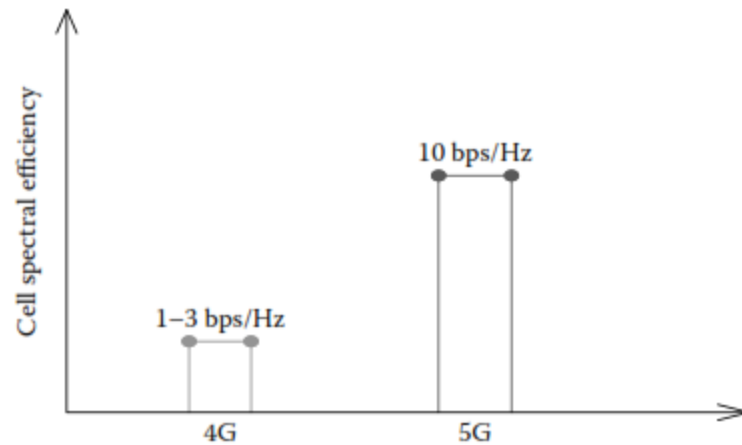
5G sont conçus pour être 50 fois plus efficaces que 4G en réduisant les coûts et la consommation d'énergie par bit. Cela nécessite séquentiellement un équipement réseau peu coûteux, des coûts de déploiement plus faibles et une fonctionnalité d'économie d'énergie améliorée sur le réseau et les côtés de l'UE [8].

### **1.6.5 Mobilité**

Les technologies 5G fourniront la mobilité sur demande en fonction des besoins de chaque appareil et service. D'une part, la mobilité de l'UE doit être garantie au moins au même niveau que le système 4G. D'autre part, le système 5G soutiendra la mobilité à des vitesses allant de 300 à 500 km/h [8].

### **1.6.6 Efficacité spectrale cellulaire**

L'efficacité spectrale de la cellule est réglée au niveau de 10 bps/Hz (contrairement de 1-3 bps/Hz pour 4G). 5G est également censé fournir une utilisation efficace du spectre en utilisant MIMO, codage avancé et les schémas de modulation, et une nouvelle conception de forme d'onde [8].



**Figure 1.07 :** Comparaison d'efficacité spectrale cellulaire de 5G avec 4G.

### 1.7 Technologies habilitantes en termes d'exigences 5G

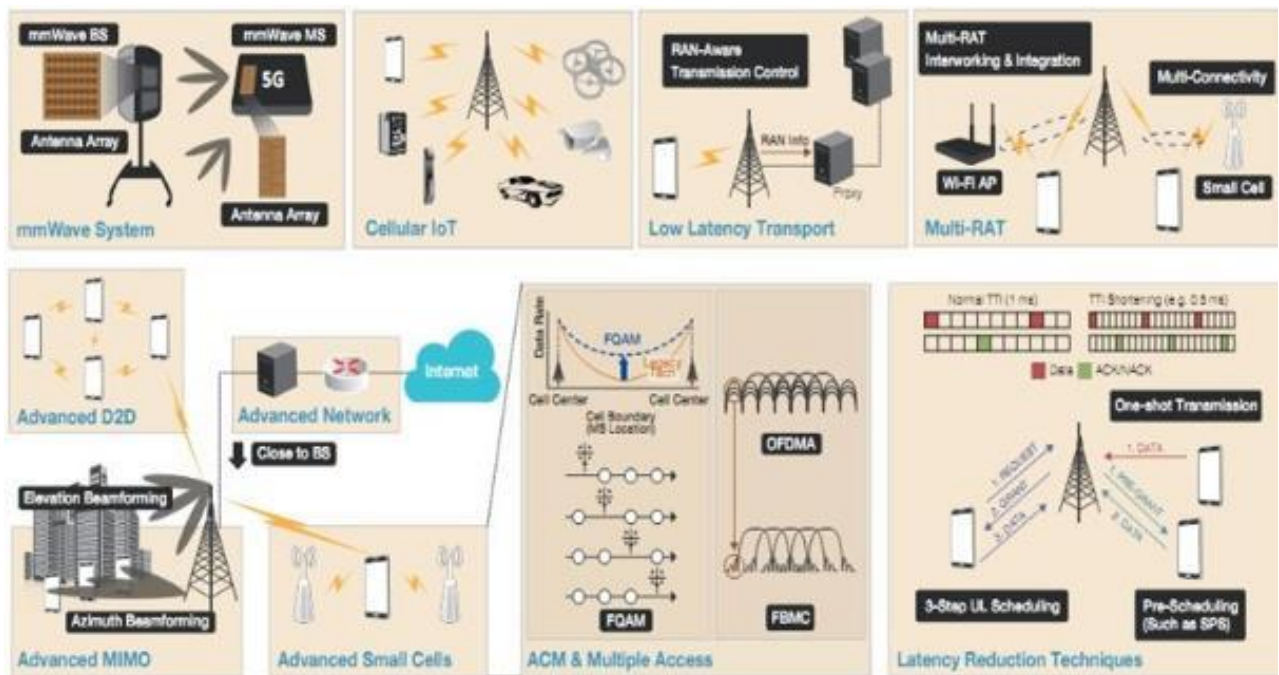
Les technologies 5G permettront de rencontrer des vitesses sans précédent, des latences presque filaires et une connectivité omniprésente avec une QoE (Quality of Experience) uniforme, et elles auront la possibilité de connecter un grand nombre d'appareils entre eux [7].

Technologie	Latence	Connexion simultanée	Rentabilité	Mobilité	Efficacité spectrale cellulaire	Débit au bord de cellule	Pic débit
Ondes millimétriques	×	×	×	–	×	×	×
Multi-RAT	×	–	–	×	×	×	–
Réseau avancé	–	–	–	×	×	×	×
MIMO avancé	–	×	×	–	×	×	–
ACM et accès multiple	–	×	×	–	–	×	–
D2D avancé	–	–	×	–	–	×	×
Petite cellule avancée	–	×	–	×	×	–	–

**Tableau 1.05:** Technologies habilitantes en termes d'exigences 5G

Les technologies 5G fourniront une expérience immersive, même lorsque l'utilisateur est en déplacement. Le futur système 5G sera doté de capacités sans fil utilisant de nouvelles bandes de fréquences, des méthodes avancées d'amélioration de l'efficacité du spectre dans les bandes

existantes et une intégration transparente des bandes sous licence et sans licence. Le Tableau 1.05 résume les technologies habilitantes en termes d'exigences 5G [7].



**Figure 1.08 :** *Vue d'ensemble des technologies clés de 5G*

La Figure 1.08 présente une vue d'ensemble des technologies clés 5G. Dans le système 5G, les besoins de capacité massivement plus élevés seront pris en compte par les nouveaux systèmes à ondes millimétriques, qui fournissent 10 fois plus de bande passante que les bandes cellulaires 4G; petite cellule avancée dans laquelle il est nécessaire de déployer un grand nombre de cellules dans une zone donnée et de les gérer intelligemment; MIMO avancé qui possède de petites interférences inter-utilisateurs et intercellulaires et par conséquent un débit significativement plus élevé que le système MIMO classique; et de nouveaux schémas MA tels que FBMC (Frequency Division Multiple Access) [7].

Le codage et la modulation adaptatifs tels que FQAM (Frequency and Quadrature Amplitude Modulation) peuvent améliorer de manière significative les performances de bordures de cellule et, combinés à des déploiements de densité plus élevée avec une coopération multi-BS (Base Station), aideront à respecter la promesse de "Gbps partout" et une QoE uniforme.

L'intégration multi-RAT, y compris l'agrégation de porteuses de bandes sous licence et non licenciées, aidera inévitablement à augmenter la bande passante disponible du système. Du côté du réseau, les nouvelles topologies, y compris les serveurs d'application placés plus près du bord du

réseau, contribueront à réduire considérablement la latence du réseau. La technologie avancée D2D (Device to Device) peut aider à réduire la latence des communications et à prendre en charge un plus grand nombre de connexions simultanées dans un réseau [7] [8].

## 1.8 Caractéristiques du réseau 5G

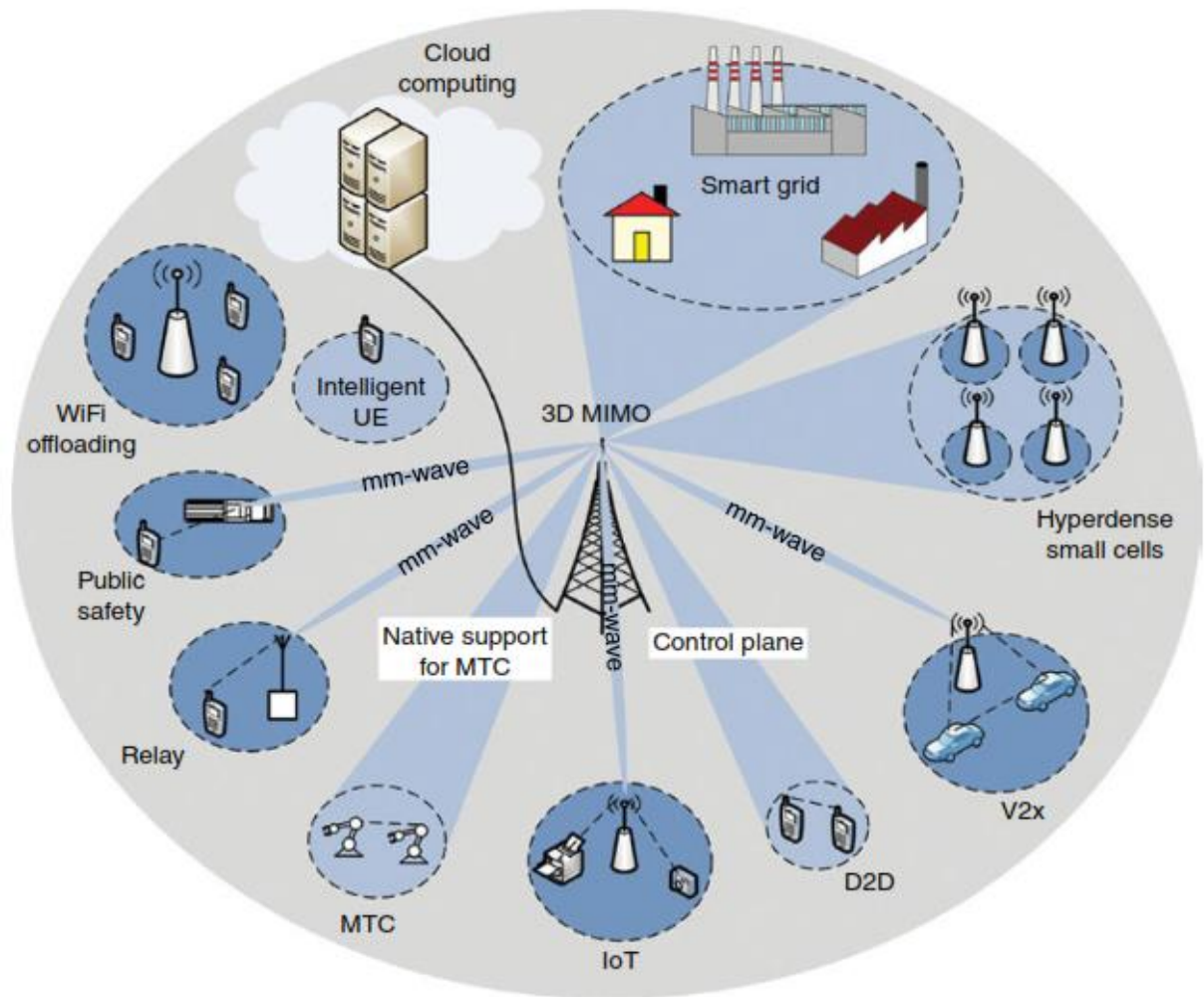
En 3G et 4G, les améliorations du taux de pointe et de l'efficacité spectrale sont les principaux objectifs. 5G vise à accroître l'efficacité d'un réseau basé sur l'une des architectures les plus utiles à faible coût appelé le dense HetNet. Il s'agit de satisfaire toutes les exigences des industries et de fournir une connectivité cohérente. Dans 5G, l'architecture de HetNet sera telle qu'un ensemble divers de bandes de fréquence sera incorporé. Cette gamme de bandes de fréquences comprend des macro-cellules dans une bande autorisée telle que LTE et des petites cellules dans une bande sous licence ou non autorisée telle que Wi-Fi. Une autre possibilité consiste à utiliser un spectre de fréquences plus élevées tel que les ondes millimétriques dans de petites cellules, ce qui fournira des services de débit de données ultra-élevé [7] [9].

## 1.9 Architecture de 5G

Comme l'illustre la **Figure 1.09**, 5G sera un système véritablement convergent prenant en charge un large éventail d'applications, de la téléphonie mobile et de l'Internet mobile multi-Gbps à la D2D et V2X (Vehicle-to-X ; X signifie communications de véhicule (V2V) ou Infrastructure (V2I)), ainsi que le support natif des applications MTC (Machine Type Communication) et de sécurité publique. 3D-MIMO sera incorporé aux BSs pour améliorer encore le débit de données et la capacité au niveau des macrocellules. Les performances du système en termes de couverture, de capacité et d'EE (Efficacité énergétique) seront encore améliorées dans les points morts et chauds en utilisant des relais, des déploiements de cellules hyperdenses ou le déchargement Wi-Fi ; les liens des ondes millimétriques directionnels seront exploités pour le backhauling du relais et/ou des BSs de petite cellule [2] [7].

Les communications D2D seront assistées par les macro-BSs, fournissant le plan de contrôle. Le réseau intelligent est une autre application intéressante envisagée pour le 5G, permettant au réseau électrique de fonctionner de manière plus fiable et plus efficace.

Le cloud computing peut être appliqué au RAN et, au-delà, aux utilisateurs mobiles qui peuvent former un pool virtuel de ressources à gérer par le réseau. Le rapprochement des applications à travers le nuage vers l'utilisateur final réduit la latence de communication pour prendre en charge les applications de contrôle en temps réel sensible au retard [7].



**Figure 1.09 :** Architecture du système 5G.

Il est envisagé que 5G intègre de façon transparente les RAT existants (par exemple, GSM, HSPA, LTE et Wi-Fi) avec les nouveaux complémentaires inventés dans les bandes millimétriques. La technologie millimétrique va révolutionner l'industrie mobile non seulement en raison de l'abondance du spectre disponible sur cette bande (permettant facilement les canaux sans fil Gbps), mais aussi en raison de la diminution de la taille des antennes, permettant la fabrication d'antennes réseau avec des centaines ou des milliers d'éléments d'antenne de l'UE. Des antennes intelligentes dotées de capacités de formation de faisceau et de réseau à phases seront utilisées pour indiquer le faisceau d'antenne à un emplacement souhaité avec une grande précision, tourné électroniquement par déphasage. Les rayons étroits permettront d'exploiter le DOF (Degrees of freedom) spatial sans interférer avec d'autres utilisateurs. Les petites tailles d'antenne permettront la Massive MIMO aux BSs et finalement aux UEs. La technologie millimétrique fournira également des liaisons de backhaul ultra-large bande pour transporter le trafic des petites BSs ou des stations relais, ce qui

permet une plus grande souplesse de déploiement pour les opérateurs, par rapport à la liaison câblée (cuivre ou fibre). Le déploiement hyperdense de petites cellules est une autre solution prometteuse pour 5G pour répondre au défi de capacité 1000x. Les petites cellules ont le potentiel de fournir une capacité massive et de minimiser la distance physique entre les BSs et les UEs pour obtenir l'amélioration d'EE requise pour 5G. Les bandes traditionnelles sous-3 GHz seront employées pour la couverture des macro-cellules, tandis que les bandes de fréquences plus élevées (par exemple les bandes cm et mm) seront utilisées pour les petites cellules afin de fournir un plan de données spectral et économe en énergie assisté par un plan de commande desservi par la macro-BS [10].

Parallèlement au développement de nouvelles RAT et au déploiement de petites cellules hyperdenses, les RAT existantes continueront à évoluer pour fournir un SE et une EE plus élevées. La latence du plan de données (temps d'aller-retour) du système LTE-A est d'environ 20 ms, ce qui devrait être réduit à moins de 1 ms dans ses évolutions futures. De plus, la SE du système HSPA existant est de 1 b/s/Hz/cellule, ce qui devrait augmenter 10x d'ici 2020. L'EE du système cellulaire devrait s'améliorer de 1000x d'ici à 2018, par rapport au niveau de 2010. Les techniques « physique et MAC (Media Access Control) » seront revisitées pour transporter des paquets courts et sensibles au retard pour les MTC. La virtualisation jouera également un rôle clé dans 5G pour l'utilisation efficace des ressources dans les systèmes cellulaires, grâce à un réseau multi-locataire où un opérateur mobile ne devra pas posséder un ensemble complet d'équipements de réseau dédiés ; Plutôt, l'équipement de réseau (par exemple BS) sera partagé entre différents opérateurs. Le concept de réseau cloud existant concerne principalement les centres de données. La virtualisation du réseau mobile poussera ce concept vers le backhaul et le RAN pour permettre le partage des liens backhaul et BSs entre différents opérateurs. Enfin, il est envisagé que les UEs 5G soient des dispositifs intelligents multimodes. Ces UEs seront assez intelligents pour choisir de façon autonome l'interface adéquate pour se connecter au réseau en fonction de la qualité de la chaîne, de la batterie restante, de l'EE de différents RAN et de l'exigence QoS de l'application en cours d'exécution. Ces UEs 5G intelligents et efficaces pourront prendre en charge les supports 3D avec des vitesses pouvant atteindre 10 Gbps [7] [10].

### **1.10 Applications pour 5G**

Avec l'avènement de 5G, tout type de communication sera affectée dans une grande mesure. Regardons les motivations pour la recherche du nouveau réseau appelé 5G. Il est clair que la demande croissante pour des connexions à haut débit, la nécessité d'augmenter le volume de données

sur des réseaux sans fil, la demande pour un service de meilleure qualité et un prix inférieur sont parmi les facteurs qui ont conduit au réseau 5G. Les réseaux mobiles, les soins de santé, la vidéo et l'audio sur Internet, les jeux, la surveillance de la sécurité et divers aspects de notre vie profiteront du réseau 5G. Il jouera également un rôle important dans les affaires, l'industrie, les écoles et les collèges, dans la vie des médecins, des pilotes et de la police, dans les véhicules et dans bien d'autres domaines de notre vie. L'un des plus grands avantages de 5G est sa capacité à établir un réseau mondial. Ce réseau global est basé sur l'utilisation de toutes les communications disponibles. Pensez à la disponibilité de dispositifs portables dotés de capacités d'intelligence artificielle, qui peuvent nous aider à surveiller les activités de notre organisme telles que la variabilité du rythme cardiaque, la pression artérielle et les activités du cerveau, et établir une communication en ligne avec un centre de soins de santé central. 5G vise à apporter une telle contribution [7] [8] [10] [11].

### **1.11 Conclusion**

Ce chapitre a donné un bref aperçu des réseaux 4G avec l'aube des 5G, des visions de services 5G, des exigences qui ne sont pas adéquatement prises en compte par le réseau de pointe déployé 4G et une vue d'ensemble des technologies clés pour le réseau 5G. On a pu aussi constater la nécessité d'un nouveau système mobile 5G reposant sur quelques changements remarquables dans les environnements de réseaux mobiles, tels que l'avalanche de trafic Internet accablant, la croissance explosive du nombre de différents périphériques connectés et la grande diversité des cas d'utilisation et des exigences. 5G va révolutionner le marché pour un système sans fil. Le réseau 5G sera une combinaison de plusieurs technologies améliorées pour répondre aux exigences en établissant un réseau plus efficace avec une plus grande capacité et une meilleure QoS, et avec la technologie verte. Pour concevoir un réseau avec une telle grande qualité et capacité, un réseau plus dense avec de petites cellules est la clé. Le partage du spectre est toujours un défi pour l'industrie sans fil dans les réseaux 5G.



## CHAPITRE 2

### GESTION DYNAMIQUE D'ALLOCATION DE RESSOURCES RADIO POUR LES NOUVELLES GENERATIONS DE COMMUNICATION SANS FIL

#### 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les principales acquis d'un système d'allocation de ressources, utilisant la technique d'agrégation de porteuses afin d'allouer de façon optimale les ressources en porteurs des eNodeB parmi les utilisateurs se trouvant dans leurs zones de couverture tout en prenant en compte des débits assignés à chacun de ses utilisateurs. Nous proposons une approche d'allocation de ressources par agrégation de porteuses, et puis le combiné avec une autre méthode de partage de spectre à savoir l'équité proportionnelle utilitaire ou utility proportional fairness en anglais. Par conséquent, nous allons voir en premier lieu quelques notions sur le système d'agrégation de porteuses en se focalisant sur sa définition, les différents scénarios possibles, ainsi que les variantes techniques d'agrégation. Suivi par un survol des fonctions d'utilités d'applications utilisateurs. Et se poursuit ensuite avec une citation de quelques modèles d'allocation de ressources, et enfin achevé par une généralisation d'une solution d'optimisation d'un système de partage de spectre à travers la classe au quelle appartienne l'utilisateur.

##### 2.1.1 Définition

L'agrégation de porteuses, en anglais Carrier Aggregation, est une technique utilisée dans les réseaux de communications mobiles, dans les dernières générations de Wi-Fi et sur certains réseaux filaires afin d'augmenter le débit de données d'un utilisateur du réseau.

Plusieurs bandes de fréquences sont regroupées et attribuées à un utilisateur ce qui permet d'augmenter la vitesse maximale de transfert des données, qui devient proportionnelle au nombre de porteuses utilisées. Les ressources radioélectriques peuvent ainsi être distribuées avec plus de souplesse entre les utilisateurs d'un réseau [12].

La formule de Shannon montre que le débit théorique maximal  $D$  d'un canal augmente en fonction de la proportion de la bande passante  $W$ , en considérant un rapport signal sur bruit ( $S/N$ ) constant.

$$D = W \cdot \log_2\left(\frac{S}{N}\right) \quad (2.01)$$

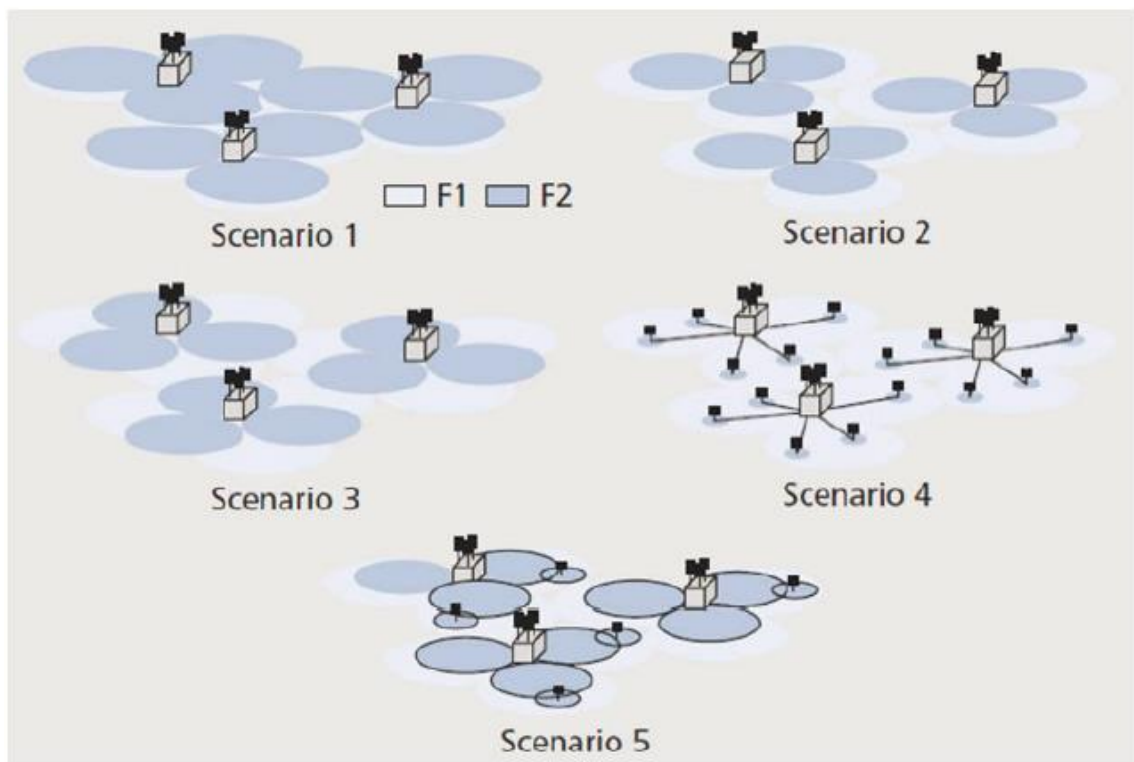
Où :

- $W$  : la bande passante du spectre,
- $S$  : le signal à transmettre,
- $N$  : la proportion du bruit.

Pour augmenter alors le débit, une solution consiste à augmenter la bande passante. Mais compte tenu des nombreuses contraintes liées à la gestion du spectre de fréquence, l'agrégation de porteuses est adoptée. C'est-à-dire que cette technique consiste à transmettre le signal en utilisant plusieurs canaux de fréquences simultanément [12].

### 2.1.2 Les scénarios possibles pour le déploiement d'un système d'agrégation de porteuses

Différents scénarios de déploiement d'agrégation de porteuses peuvent être considérés pour la conception de notre système. La Figure 2.01 présente les différents scénarios de déploiement, de cinq avec deux composantes porteuses  $F1$  et  $F2$ . Les cinq scénarios sont décrits ci-dessous [13] [14].



**Figure 2.01** : Différents scénarios d'agrégation de porteuses avec  $F2 > F1$

- **Scénario 1** : Les cellules avec les deux fréquences porteuses sont situées et superposées dans la même bande. Les deux fréquences  $F1$  et  $F2$  ont presque la même zone de couverture.

L'agrégation de porteuses permet d'atteindre un taux plus élevé de débit de données dans les cellules.

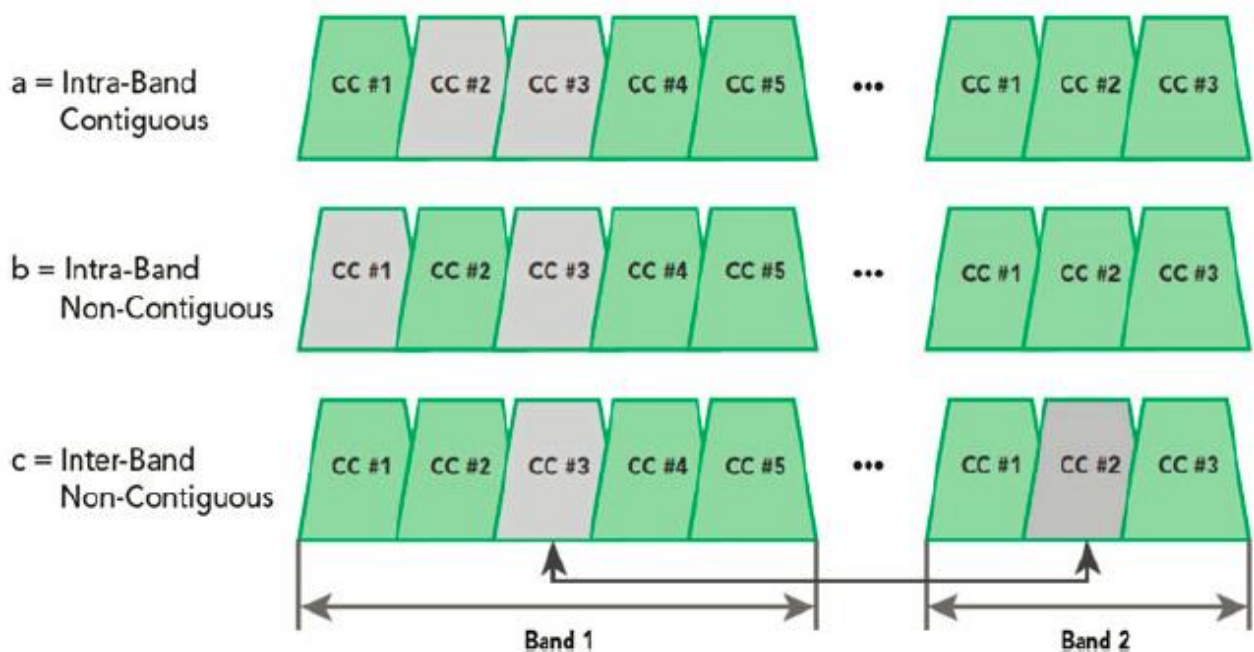
- **Scénario 2** : Les cellules avec les deux fréquences porteuses sont situées et superposées dans différentes bandes. Les différentes porteuses ont différentes zones de couverture parce que les bandes des hautes fréquences possèdent de larges pertes en ligne. Les bandes de fréquence des porteuses sont ainsi utilisés pour améliorer les débits de données.
- **Scénario 3** : Les cellules avec les deux fréquences porteuses sont regroupées dans différentes bandes. Pour améliorer le débit de cellule, les antennes pour les cellules de F2 sont dirigées vers la limite des cellules de F1. L'agrégation de porteuses est appliquée aux zones de couverture qui se chevauchent.
- **Scénario 4** : Les RRHs (Remote Radio Heads) du porteur F2 sont utilisées afin d'améliorer le débit, et les cellules du porteur F1 sont les macro-cellules. Il y a généralement différentes bandes de fréquences pour F1 et F2. L'agrégation de porteuses est alors appliquée pour tous les utilisateurs se trouvant sous la zone de couverture, à la fois de RRHs et les macro-cellules.
- **Scénario 5** : Elle est similaire au scénario 2 à l'exception qu'au lieu d'allonger l'un des couvertures des deux fréquences, des répéteurs sélectifs en fréquence sont déployés.

### *2.1.3 Techniques d'agrégation de porteuses*

Le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) a défini trois principaux types d'agrégation de porteuses radioélectriques dans le but de transporter un flux de données plus élevé vers un utilisateur du réseau. Ces types sont intra-bande contiguë, intra-bande non contiguë, et inter-bande non contiguë. Les liaisons ascendantes et descendantes peuvent être configurées de façon indépendante. Cependant, le nombre de porteurs pour la liaison montante ne doit pas dépasser de celle de la liaison descendante. Ces trois types d'agrégation de porteuses sont illustrés à la Figure 2.02 et détaillés ci-dessous [12] [15].

- **Intra-bande contiguë** : on parle d'agrégation intra-bande lorsque les canaux de fréquences peuvent être compris dans la même bande de fréquence. Ici, elle est contiguë car les positions des canaux sont relativement continues. Le matériel de mise en œuvre de ce type d'agrégation n'est pas compliqué puisque ceci peut être réalisé par une seule chaîne Radio Fréquence. Toutefois, ce type d'agrégation de porteuses est peu probable, car le spectre actuel est fortement segmenté.

- **Intra-bande non contiguë** : comme énoncé précédemment, dans ce deuxième cas, les canaux de fréquences sont compris dans la même bande de fréquence, cependant, les fréquences ne sont pas à côté. Ce type d'agrégation est plus réaliste puisque les bandes de fréquences sont très segmentés. La mise en place de ce type de matériel peut être simplement obtenue par une chaîne RF (Radio Fréquence) unique étant donné que les porteuses sont dans la même bande de fréquence.
- **Inter-bandes non contiguë** : c'est une autre possibilité d'utiliser des canaux situés dans des bandes de fréquences différentes. La mise en œuvre du côté matériel utilisateur pour ce type d'agrégation est la plus complexe, puisqu'une seule chaîne Radio Fréquence a une limitation en termes d'un certain groupe d'intérêt, pour des raisons pratiques.



**Figure 2.02** : Les techniques d'agrégation de porteuses pour les réseaux cellulaires de nouvelle génération

## 2.2 Les fonctions d'utilité des applications utilisateurs

La satisfaction des utilisateurs sur les services produits peut être exprimée en utilisant la fonction d'utilité, représentant le degré de satisfaction des utilisateurs en fonction de l'allocation ou répartition du débit par le réseau cellulaire. En supposant alors que les fonctions d'utilités des applications utilisateurs sont des fonctions strictement concaves ou des fonctions d'utilités sigmoïde ; Ses fonctions d'utilités d'applications ont les propriétés suivantes.

- $U(0)=0$  et  $U(r)$ , une fonction croissante suivant  $r$ ,
- $U(r)$  est deux fois différentiable et sans interruption dans  $r$ .

On utilise la fonction d'utilité Sigmoidale ou sigmoïdale-like utility function en anglais :

$$U(r) = \left( \frac{e^{ar} - 1}{e^{ar} + e^{ab}} \right) \quad (2.02)$$

On a :

$$c = \frac{1 + e^{ab}}{e^{ab}}, \quad d = \frac{1}{1 + e^{ab}},$$

Et,

$$\begin{aligned} U(r) &= c \left( \frac{1}{1 + e^{-a(r-b)}} - d \right) \\ U(r) &= \frac{1 + e^{ab}}{e^{ab}} \left( \frac{1}{1 + e^{-a(r-b)}} - \frac{1}{1 + e^{ab}} \right) \\ U(r) &= \left( \frac{1 + e^{ab}}{e^{ab}(1 + e^{(-ar+ab)})} - \frac{1}{e^{ab}} \right) \\ U(r) &= \left( \frac{1 + e^{ab}}{e^{ab}(1 + e^{-ar} \cdot e^{ab})} - \frac{1}{e^{ab}} \right) \\ U(r) &= \left( \frac{e^{ar}(1 + e^{ab}) - (e^{ar} + e^{ab})}{(e^{ar} + e^{ab})} \right) \\ U(r) &= \left( \frac{e^{ar} - 1}{e^{ar} + e^{ab}} \right) \end{aligned}$$

Et ceci satisfait les conditions :  $U(0)=0$ ,  $U(\infty)=1$ .

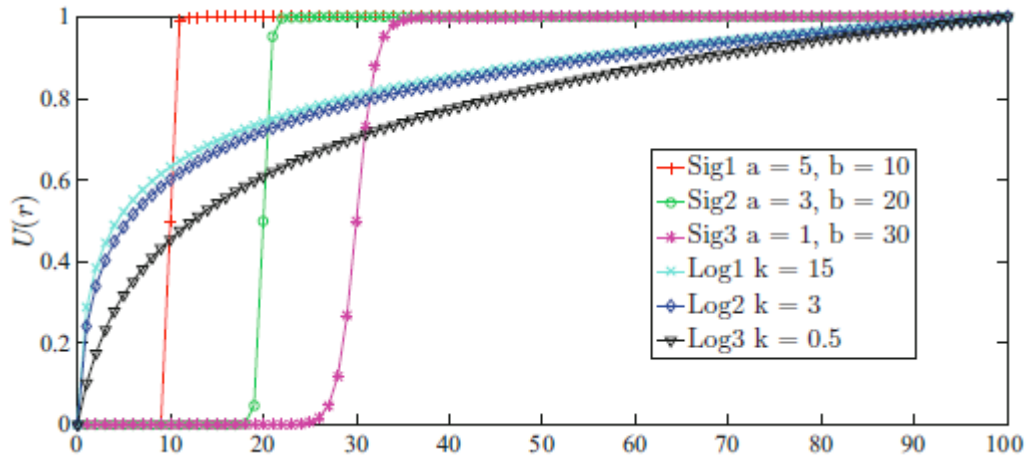
La fonction sigmoïdale normalisée a un point d'inflexion sur  $r = r^{inf} = b$ .

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} = 0 \rightarrow r = b$$

En addition, on utilise la fonction d'utilité logarithmique normalisée, et ceci peut s'exprimer par :

$$U(r) = \frac{\log(1 + kr)}{\log(1 + kr_{max})} \quad (2.03)$$

Où :  $r_{max}$  fournit les 100% de l'utilisation, avec laquelle la qualité de service de l'application serait pleinement satisfaisant et  $k$  est la pente de la courbe variant en fonction de l'application utilisateur. Ainsi, il satisfait les conditions :  $U(0)=0$ ,  $U(r_{max})=1$ . Et le point d'inflexion de la fonction d'utilité logarithmique normalisée s'opère sur  $r = r^{inf} = 0$ .



**Figure 2.03 :** Fonctions d'utilités logarithmique et sigmoïde  $U(r)$  représentant les applications en temps réel et en retard tolérant

La Figure 2.03 montre un exemple de fonctions d'utilité logarithmique et sigmoïde. Il montre trois fonctions d'utilités sigmoïdes normalisées, qui sont exprimées par l'équation 2.02, avec différents paramètres  $a=5$ ,  $b=10$ , qui est une approximation d'une fonction d'étape dont le débit est égale à  $r=10$  (par exemple pour les services VoIP (Voice over Internet Protocol)) ;  $a=3$ ,  $b=20$ , qui est une approximation d'une application en temps réel adaptatif dont le point d'inflexion est  $r=20$  (pour les services de streaming vidéo) ;  $a=1$ ,  $b=30$ , qui est aussi une approximation d'une application en temps réel adaptatif dont le point d'inflexion est le point  $r=30$  (pour les services de streaming vidéo haute définition). En outre, la Figure 2.03 présente aussi trois fonctions logarithmiques qui sont exprimées par la formule 2.03, avec  $r_{max} = 100$  et les différentes paramètres  $k$  qui sont des approximations d'une application toléré en retard (exemple les services FTP : File Transfert Protocol). Ici, on a utilisé  $k = \{15, 3, 0.5\}$ .

Il est à remarquer que pour les applications en temps réel, ceux-ci nécessitent un débit minimal, c'est-à-dire, un point d'inflexion, et c'est après que se poursuive l'extension de la courbe en QoS (Quality of Service), tandis que pour les fonctions d'utilités logarithmique, celles-ci peuvent fournir la courbe en QoS à de très faibles débit et qui conviendrait à toutes les applications de nature tolérant en retard [13].

## 2.3 Modèles d'allocation de ressources pour les réseaux cellulaires de nouvelle génération

Dans la littérature des formulations mathématiques pertinentes à des fonctions d'utilité et de l'affectation des ressources, une grande variété de formulations a été présentée et de nombreuses solutions ont été proposées. Au milieu d'autres formulations, l'équité max-min et l'équité proportionnelle ont reçu l'attention qu'ils peuvent produire de manière optimale des solutions efficaces [12] [13].

### 2.3.1 Allocation de ressources via l'Équité Max-Min ou Max-Min Fairness

Une pertinente affectation de ressources permet d'atteindre l'équité max-min si une tentative d'accroissement du taux d'une affectation à une entité du système mène à la réduction de l'affectation dans une autre entité ayant plus de ressources, pour ce qui n'a plus assez de ressources.

En utilisant l'équité max-min, nous pouvons façonner le trafic, par rapport à une application, selon le principe du FCFS (First-Come First-Serve) multiplexage, en ne permettant pas une lourde circulation de gros bloque de paquets desservant d'autres flux dans le réseau. En particulier, pour la fonction d'utilité  $U(r)$  où  $r$  est le débit à allouer, l'équité max-min peuvent être formalisées par :

$$r = \operatorname{argmax}_r \min_r U(r) \quad (2.04)$$

Où :

- $r$  : débit à allouer,
- $U(r)$  : la fonction d'utilité.

### 2.3.2 Allocation de ressources via l'Équité proportionnel ou Proportionnal Fairness

Une pertinente Allocation de ressources permet d'atteindre l'équité proportionnelle si elle maximise l'utilité globale du système tout en fournissant un service minimum aux entités du système ayant besoin de ressources. C'est en attribuant à chaque flux un taux inversement proportionnel à son besoin de ressources. Pour la fonction d'utilité  $U_i(r_i)$ ,  $r_i$  est l'ensemble des débits alloués pour les  $i^{\text{ème}}$  utilisateurs, l'équité proportionnelle peut être formalisée comme suit : [12]

$$r_i = \operatorname{argmax}_{r_i} \prod_{i=1}^N U_i(r_i) \quad (2.05)$$

Où :

- $r_i$  : les débits alloués,
- $N$  : le nombre des utilisateurs,
- $U_i(r_i)$  : la fonction d'utilité.

En outre, selon les propriétés de la fonction d'utilité pour les applications utilisateurs précédents, on a vu que  $U_i(r_i = 0) = 0$  rend zéros le système utilitaire c'est-à-dire  $\prod_{i=1}^N U_i(r_i)$ . Par conséquent, aucun utilisateur ne devra pas être assigné d'une valeur nulle sous cette équation.

Diverses méthodes de résolution des problèmes d'optimisation de l'équité proportionnelle ont été introduites, le WFQ (Weighted Fair Queuing), et l'algorithme de Frank Kelly faisaient aussi partie. L'algorithme de Frank Kelly est un itératif permettant au réseau d'offrir des ressources aux utilisateurs jusqu'à ce que l'algorithme atteigne l'attribution optimale et ainsi que le shadow price (quantité de ressources consommées par bit d'informations). D'autre part, l'équité proportionnelle peut être obtenue en fixant l'inverse du shadow price comme poids utilisés pour le WFQ.

### 2.3.2.1 Algorithme de Frank Kelly

Envoi du poids ou bid initial  $w_i(n = 1)$  vers l'entité gestionnaire d'affectation de ressources.

**loop**

- Calcul du Shadow price  $p(n) = \frac{\sum_i^N w_i(n)}{R}$ .
- Réception du Shadow price  $p(n)$  dans le gestionnaire d'affectation de ressources.
- Calcul du débit allocation  $r_i = \frac{w_i(n)}{p(n)}$ .
- Résolution de  $r_{i,opt} = \underset{r_i}{arg \max}(U_i(r_i) - p \cdot r_i)$ .

**if**  $r_i \neq r_{i,opt}$  **then**

- Calcul de  $w_i = r_{i,opt} * p$ .
- Envoi de  $w_i(n)$  vers le gestionnaire d'allocation de ressources.

**end if**

**end loop**

**Figure 2.04 :** *Algorithme de Frank Kelly*

L'algorithme de Frank Kelly est un travail consistant à la réalisation de l'équité proportionnelle. Le début de la procédure commence par la proposition du poids  $w_i$  (bids) vers un gestionnaire d'affectation de ressources qui obtient par conséquent le shadow price  $p(n)$  en effectuant le calcul de la moyenne des poids  $w_i$  sur l'ensemble des Ressources  $R$  disponibles pour l'entité gestionnaire. Le rapport entre ses derniers permet ensuite la dérivation ou le calcul du débit  $r_i$ . Ensuite, les UEs



vérifient si les débits obtenus sont optimaux en résolvant  $r_{i,opt} = \arg \max_{r_i} (U_i(r_i) - p \cdot r_i)$  et en vérifiant en même temps si la relation,  $r_i \neq r_{i,opt}$ , est vraie alors ils transmettent à nouveau des poids  $w_i = r_{i,opt} * p$  vers le gestionnaire d'allocation de ressources et la procédure se poursuit jusqu'à la rencontre d'une convergence. La Figure 2.04 illustre en détail tous ses processus.

### 2.3.2.2 Allocation de ressources via la fonction d'équité proportionnelle utilitaire avec agrégation de porteuses

Dans ce présent ouvrage, l'allocation de ressources via la fonction d'équité proportionnelle utilitaire avec agrégation de porteuses est proposée afin d'allouer de façon optimale des ressources multi-porteuses parmi les utilisateurs mobiles actifs.

Le problème d'optimisation d'allocation de ressources de l'UPF (Utility Proportional Fairness) que nous utilisons dans le système d'allocation de ressources avec une approche par agrégation de porteuses est donnée par : [15]

$$\max_{r_j} \prod_{i=1}^{M_j} U_i(r_i^j + c_i^j) \quad (2.06)$$

C'est-à-dire :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{M_j} r_i^j &\leq R_j, \\ r_i^j &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, M_j, \\ c_i^j &= \sum_{n=1, n \neq j}^k v_i^n r_i^{n,opt}, \\ v_i^n &= \begin{cases} 1, & i \text{ UE} \in M_n \\ 0, & i \text{ UE} \notin M_n \end{cases} \end{aligned}$$

Où :

- $M_j$  : Nombre d'utilisateurs sous la zone de couverture du  $j^{\text{ème}}$  eNodeB,
- $r_i^j$  : L'ensemble des débits alloués,
- $R_j$  : Nombre de porteuses disponibles,
- $c_i^j$  : Débits totales alloués aux  $i^{\text{ème}}$  utilisateurs par d'autres porteuses,
- $r_i^{n,opt}$  : Débits alloués de façon optimaux aux  $i^{\text{ème}}$  utilisateurs par n porteuses.

Afin de considérer le cas où l'on exige de traiter les utilisateurs différemment lors de l'allocation des ressources du réseau, nous allons présenter un dispositif de discrimination d'utilisateur au cadre d'attribution de ressources tels que certains groupes d'utilisateurs sont accordés à une priorité en allouant des ressources du réseau.

En outre, nous avons développé un système d'allocation de ressources avec la méthode d'agrégation de porteuses pour allouer les ressources multi-porteuses basées sur la discrimination d'utilisateur et en utilisant UPF afin de calculer les ressources allouées.

## **2.4 Allocation de spectre entre différentes classes d'utilisateurs dans les réseaux cellulaires**

Dans cette partie, nous allons nous référer sur une approche de partage de spectre entre deux classes d'utilisateurs : l'utilisateur en sécurité publique (VIP) et l'utilisateur commerciale. Nous nous concentrerons sur la recherche d'une solution optimale pour le problème d'affectation de ressources pour ses deux groupes d'utilisateurs exécutant des applications qui sont présentées par des fonctions d'utilités sigmoïde ou logarithmique. Ces fonctions d'utilités sont des fonctions concave et non concave respectivement.

Le système alloue une partie de la bande passante de l'un des eNodeB vers chaque utilisateur souscrivant à un service mobile en prenant en considération le fait que chaque utilisateur obtient un minimum de qualité de service (QoS). En outre, les utilisateurs de la sécurité publique (VIP) en mode d'urgence sont priorités par rapport aux utilisateurs commerciaux. Dans notre système, chaque abonné de la classe sécurité publique possède un débit d'applications requis, variant selon le type d'applications, et ceci est alloué pour les abonnés de la sécurité publique du réseau.

L'algorithme d'allocation de ressources affecte d'abord le débit d'application requis pour chaque UE ou utilisateur de la classe sécurité publique lorsque ce dernier est en mode d'urgence ou de priorité. Il alloue ensuite le reste des ressources pour les abonnés de la classe commerciale. Donc, l'eNodeB et l'UE collaborent afin d'allouer un débit optimal pour chaque UE et en priorité les utilisateurs de la classe sécurité publique si nécessaire. Et au sein d'un même groupe, la priorité sera donnée aux applications dites en temps réelles, dans notre cas présenté par la fonction d'utilité sigmoïde.

### **2.4.1 Formulation du problème de partage de spectre**

Considérons un réseau cellulaire mobile avec un seul eNodeB,  $N$  utilisateurs commerciaux, et  $M$  utilisateurs en sécurité publique. L'utilisateur  $i$  est affecté à un certain débit  $r_i$  dépendant du type d'application exécuté dans ce terminal utilisateur. Chaque utilisateur se voit attribuer d'une fonction d'utilité  $U_i(r_i)$  fondée sur l'application en cours d'exécution quoiqu'il s'agisse d'un utilisateur

commercial ou de la sécurité publique. Notre but est de déterminer la bande passante optimale qui doit être attribué à chaque utilisateur, par l'eNodeB [13].

Les fonctions d'utilité  $U_i(r_i)$  sont utilisées pour représenter les applications exécutées sur les UEs utilisateurs. Les fonctions d'utilité logarithmique et sigmoïde sont utilisées pour représenter les applications tolérées en retard et en temps réel, respectivement. La formulation de base du problème d'allocation de ressources est donnée par le problème d'optimisation suivant :

$$\max_r \prod_{i=1}^M U_i(r_{i,s}) \prod_{j=1}^N U_j(r_{j,c}) \quad (2.07)$$

C'est-à-dire :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^M r_{i,s} + \sum_{j=1}^N r_{j,c} &\leq R, \\ r_{i,s} &\geq r_{i,s}^t, i = 1, 2, \dots, M, \\ r_{j,c} &\geq 0, j = 1, 2, \dots, N. \end{aligned}$$

Où :

- $R$  : Débit maximale atteignable par l'eNodeB,
- $r_{i,s}$  : Débit pour les utilisateurs en sécurité publique  $i$ ,
- $r_{j,c}$  : Débit pour les utilisateurs commerciaux  $j$ ,
- $r_{i,s}^t$  : Débit requis pour les utilisateurs en sécurité publique, un débit minimal que l'utilisateur veule atteindre.
- $M, N$  : Nombre d'utilisateur VIP et commerciaux.

L'objectif de la fonction d'allocation de ressources vise à maximiser le produit du système utilitaire utilisateurs lors de l'affectation des ressources pour chaque utilisateur. Par conséquent, il offre une fonction d'équité proportionnelle entre les services. Les utilisateurs de la sécurité publique exécutants des applications en temps réel ont la priorité lors de l'affectation des ressources par l'eNodeB. La prochaine priorité est donnée à l'exécution du trafic élastique, pour les utilisateurs de la sécurité publique.

Une fois que chaque utilisateur de la sécurité publique atteigne le débit d'application requis, l'eNodeB commence à affecter ses ressources aux utilisateurs commerciaux tout en donnant la priorité aux utilisateurs exécutant des applications en temps réel. En supposant que les utilisateurs

de la sécurité publique soient dans un mode d'urgence, ces utilisateurs sont alors prioritaires sur les utilisateurs commerciaux [12].

### 2.4.2 Optimisation du partage de spectre

L'affectation des ressources pour les utilisateurs de la sécurité publique et les utilisateurs commerciaux est divisée en deux cas. Le premier cas est quand les ressources disponibles maximaux  $R$  pour l'eNodeB est inférieur à la somme de la totalité de débits d'application requis pour les abonnés de la sécurité publique ayant souscrits à un service de l'eNodeB et le deuxième cas, c'est quand  $R$  est supérieur à cette somme. Ces deux cas de problèmes d'optimisation seront résolus par notre algorithme dans le but d'obtenir un débit optimal pour chaque utilisateur.

#### 2.4.2.1 Premier cas

Comme mentionné précédemment, le premier cas du problème d'optimisation est appliquée dans le cas où :  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t \geq R$ . Dans ce cas, l'eNodeB alloue seulement des ressources pour les utilisateurs de la sécurité publique parce qu'ils sont considérés plus importants et ses ressources disponibles n'excèdent pas ses besoins. Dans ce cas, les utilisateurs commerciaux ne bénéficieront pas alors des ressources venant de l'eNodeB [13].

Ce scénario peut être écrit comme suit :

$$\max_r \prod_{i=1}^M U_i(r_{i,s}) \quad (2.08)$$

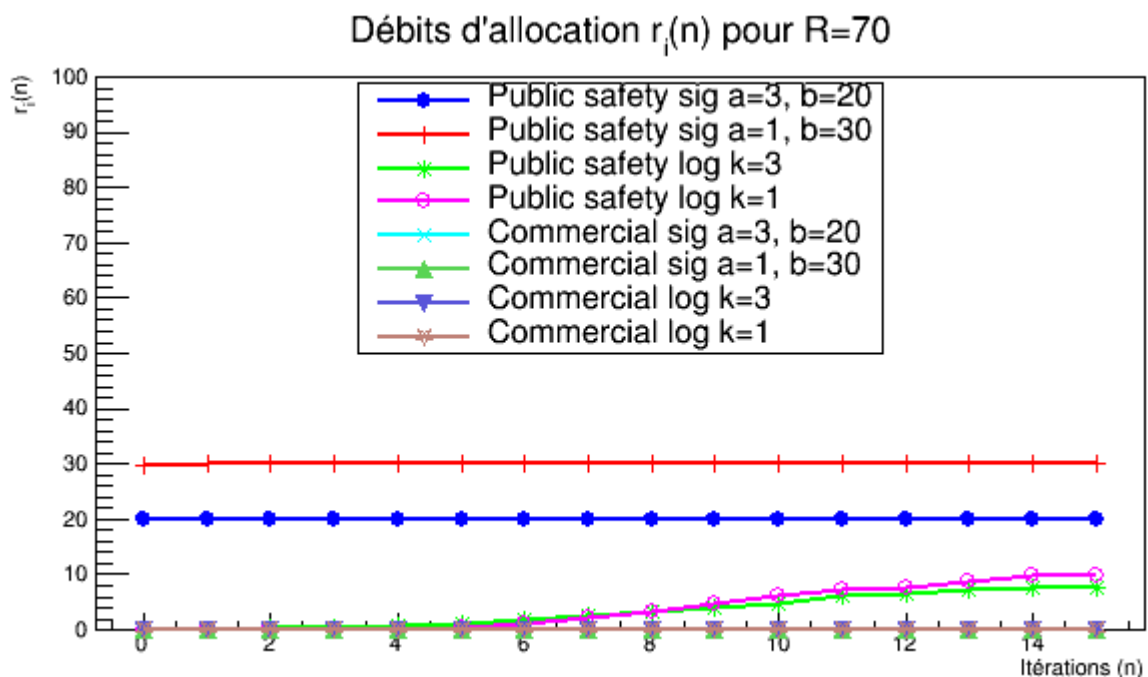
Avec :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^M r_{i,s} &\leq R, \\ 0 &\leq r_{i,s} \leq r_{i,s}^t, \\ i &= 1, 2, \dots, M \end{aligned}$$

Où :  $U_i$  la fonction d'utilité de la classe sécurité publique.

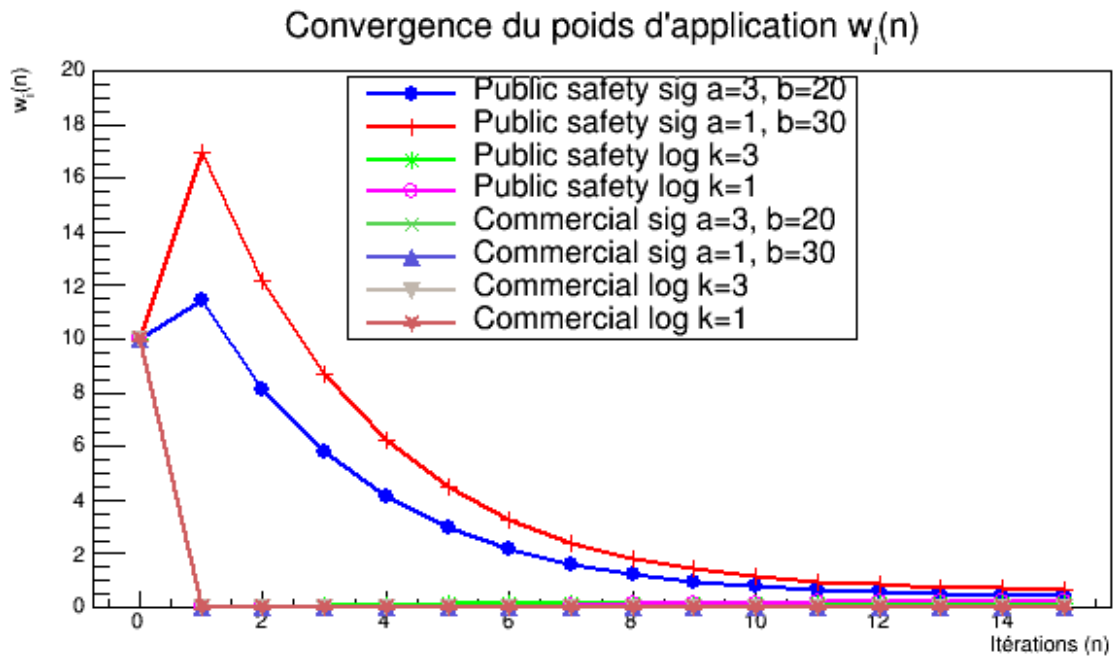
C'est une solution optimale car ceci garantira que les utilisateurs de la sécurité publique sont prioritaires lors de l'attribution de ressources. Les utilisateurs de la sécurité publique exécutant des applications en temps réel seront priorités par rapport aux utilisateurs avec un trafic élastique. Et cette solution privilégie un débit optimal  $r_{i,s}^{opt}$  à chacun des  $M$  utilisateurs.

La figure 2.05 ci-dessous permet d'illustrer la partie théorique précédente, en représentant les débits alloués sur les utilisateurs VIP et commerciaux par l'eNodeB. Comme constater sur cette figure, on voit que l'eNodeB considère les utilisateurs de classe sécurité publique ou VIP en priorités par rapport à l'autre classe. Et au sein d'un même groupe, c'est-à-dire le groupe VIP, les UEs exécutants des applications en temps réelles, avec les paramètres  $a=3$ ,  $b=20$  (par exemple pour les services streaming vidéo) et  $a=1$ ,  $b=30$  (pour les services de streaming vidéo haute définition), sont assignés en premier lieu avant les autres types d'applications en retard tolérés dont les paramètres sont  $k = \{1, 3\}$  et  $r\_max=100$  (pour les services FTP). Pour le cas des utilisateurs commerciaux, l'algorithme ne considère pas ce type d'utilisateur de même pour ceux utilisant des applications en temps réelles comme dans l'autre classe d'utilisateurs.



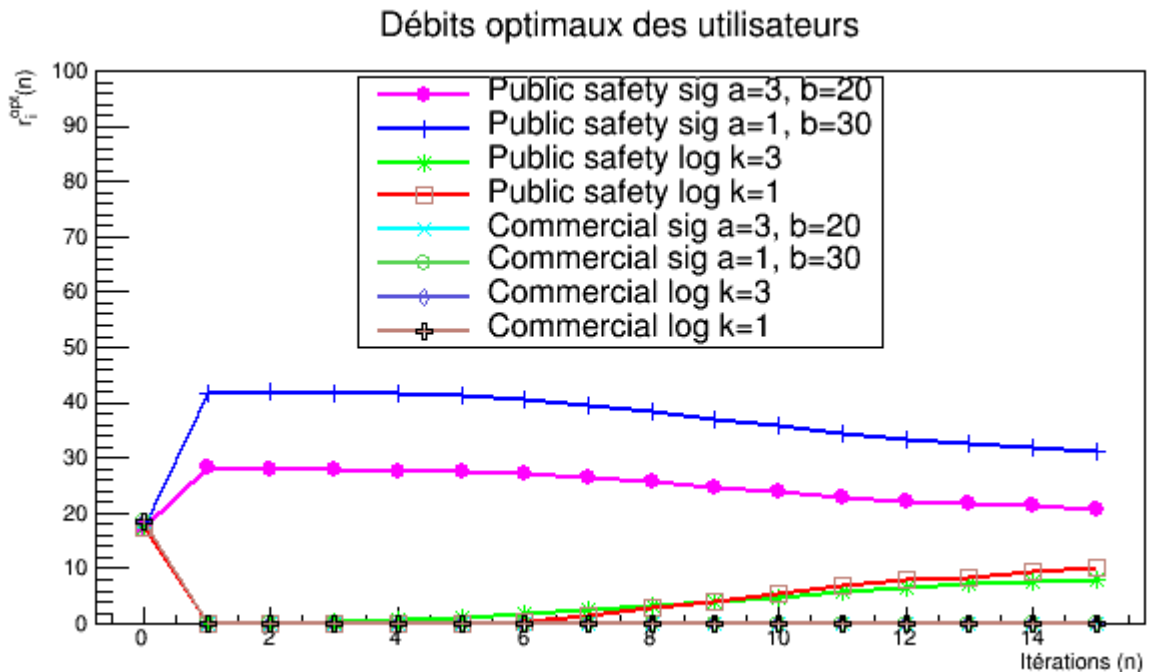
**Figure 2.05 :** Débits  $r_i(n)$  en fonction de  $n$  itérations pour les utilisateurs avec  $R=70$

Voici représenté sur la Figure 2.06 ci-dessous la convergence des bids ou poids d'applications des quatre utilisateurs, appartenant à la classe sécurité publique, en fonction des  $n$  itérations. Et les débits  $r_i(n)$  de ses utilisateurs sont proportionnels à leurs bids respectifs. L'algorithme procure un bid élevé pour les utilisateurs exécutants des applications en temps réels jusqu'à ce qu'ils atteignent leurs points d'inflexions, équivalents à leurs débits d'application requis. Pour les utilisateurs appartenant à la classe commerciale, leurs bids convergent directement à 0 quelques soit l'itération effectués, justifiant ainsi les résultats de débits d'allocations précédentes.



**Figure 2.06 :** Convergence des bids  $w_i(n)$  des utilisateurs en fonction des  $n$  itérations et  $R=70$

La Figure 2.07 ci-après nous montre les débits optimaux alloués à chaque utilisateur pour ce premier cas avec  $R=70$ . On en déduit dans cette figure que le résultat satisfait les besoins des utilisateurs VIP et la courbe se converge à partir du 10<sup>ème</sup> itération.



**Figure 2.07 :** Débits optimaux des utilisateurs  $r_i^{opt}$  en fonction des  $n$  itérations et  $R=70$

### 2.4.2.2 Deuxième cas

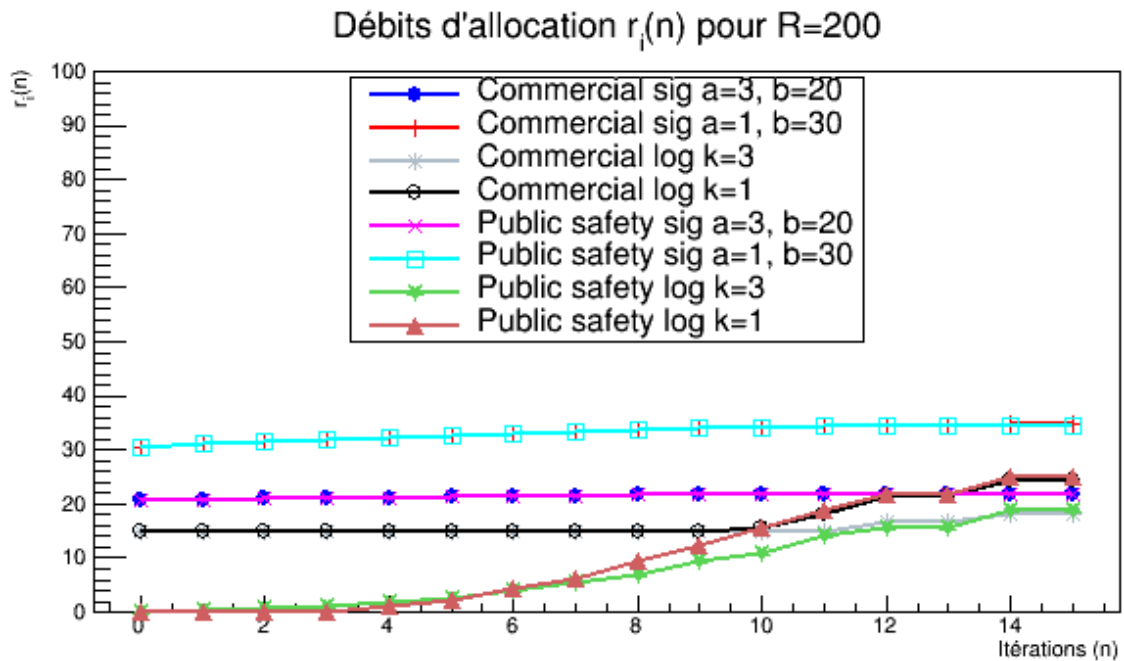
Le deuxième cas du problème d'optimisation est appliquée dans le cas où:  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t < R$ . L'eNodeB collabore avec les utilisateurs afin de résoudre ce problème d'optimisation. L'eNodeB attribue les ressources à la fois à la classe sécurité publique et commerciaux basés sur la fonction d'équité proportionnelle utilitaire car ses ressources disponibles dépassent le minimum requis pour l'utilisateur de la sécurité publique, décrit par le débit d'application requis. Comme mentionné précédemment, l'eNodeB donne la priorité aux utilisateurs de sécurité publique, et au sein de ce groupe la priorité est donnée aux utilisateurs exécutant du trafic inélastique. C'est la solution optimale qui confère à un débit optimal  $r_{i,s}^{opt}$  pour chaque utilisateur en sécurité publique et aussi à un débit optimal  $r_{i,c}^{opt}$  pour chaque utilisateur commercial. Ce problème d'optimisation peut être exprimé comme suit [12] [13]:

$$\max_r \prod_{i=1}^M U_i(r_{i,s}) \prod_{j=1}^N U_j(r_{j,c}) \quad (2.09)$$

Avec :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^M r_{i,s} + \sum_{j=1}^N r_{j,c} &\leq R, \\ r_{i,s} &\geq r_{i,s}^t, i = 1, 2, \dots, M, \\ r_{j,c} &\geq 0, j = 1, 2, \dots, N. \end{aligned}$$

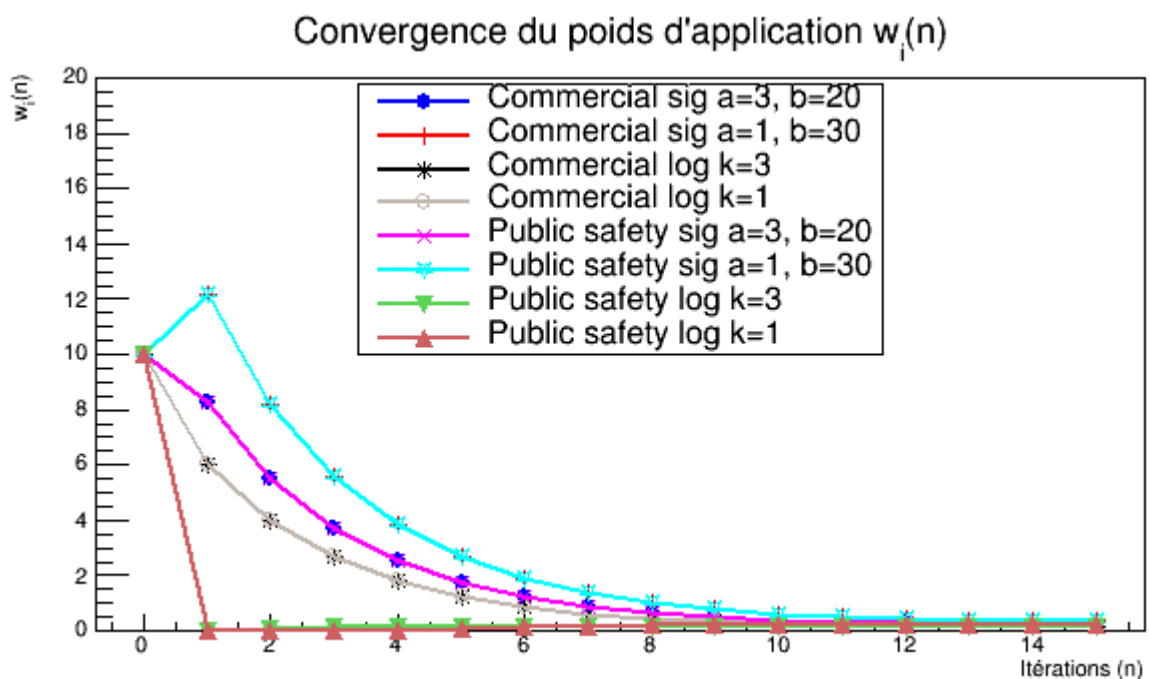
Voici le résultat de simulation d'allocation de débits pour les utilisateurs VIP et commerciaux.



**Figure 2.08 :** Débits  $r_i(n)$  en fonction des  $n$  itérations pour les utilisateurs avec  $R=200$

Comme dans le premier cas, la Figure 2.08 précédent nous montre les différents débits d'allocations des utilisateurs VIP et commerciaux par rapport aux  $n$  itérations. Dans ce cas, les utilisateurs VIP sont priorités par rapport aux utilisateurs commerciaux. Les paramètres de simulations sont :  $R=200$ , et  $\delta = 10^{-2}$ . Premièrement, l'algorithme alloue aux utilisateurs VIP des ressources équivalentes à leurs débits d'applications requis. Et continue ensuite à allouer les ressources aux UEs commerciaux avec des trafics inélastiques, dont les paramètres sont :  $a=3, b=20$  et  $a=1, b=30$ , avec des fonctions d'utilités sigmoïde, jusqu'à ce qu'ils atteignent leurs points d'inflexion. Et commence ensuite à partager les restes des ressources pour tous les utilisateurs en se basant sur leurs paramètres.

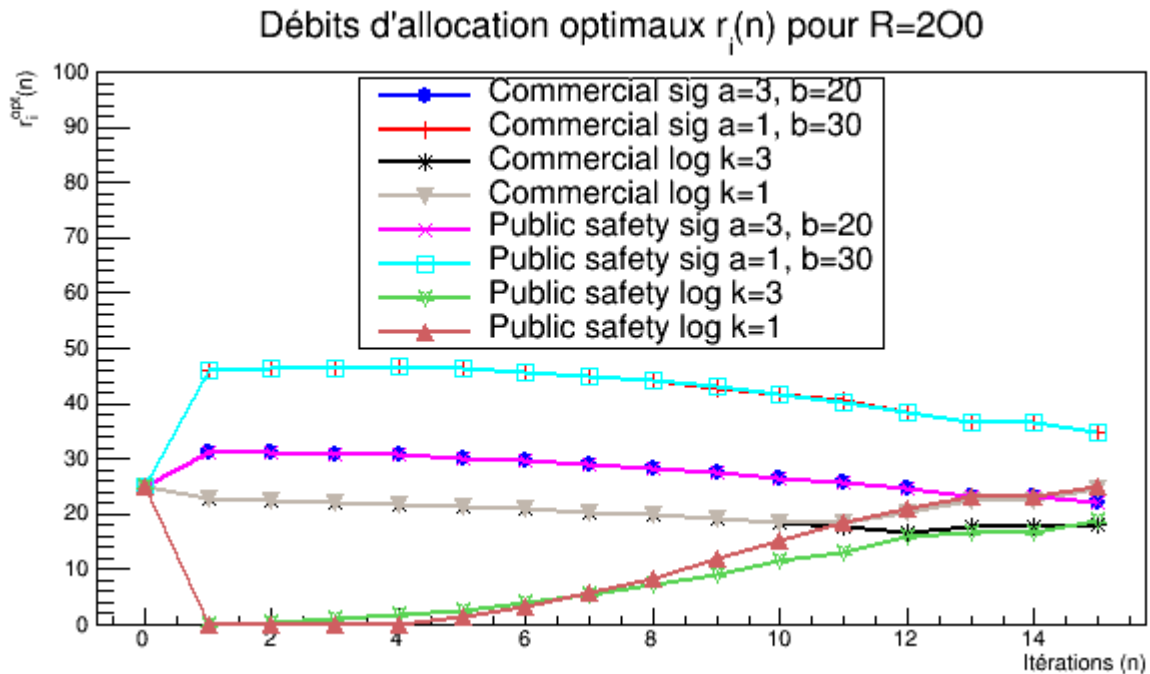
La Figure 2.09 suivante montre aussi la convergence des bids des huit utilisateurs classés dans les deux groupes précédents. L'algorithme procure aussi un bid élevé pour les utilisateurs de la sécurité publique (c'est-à-dire public safety dont les paramètres sigmoïdes sont  $a=3, b=20$  ;  $a=1, b=30$  et les paramètres logarithmiques sont  $k = \{1, 3\}$  et  $r\_max=100$ ) par rapport aux autres utilisateurs jusqu'à ce qu'ils atteignent leurs points d'inflexions, équivalents à leurs débits d'application requis. Et chaque utilisateur commercial, avec des trafics inélastiques commence ensuite à envoyer leurs bids jusqu'à ce que les fonctions d'utilité représentant ses applications atteignent leurs points d'inflexions.



**Figure 2.09 :** Convergence des bids  $w_i(n)$  des utilisateurs en fonction des  $n$  itérations et  $R=200$



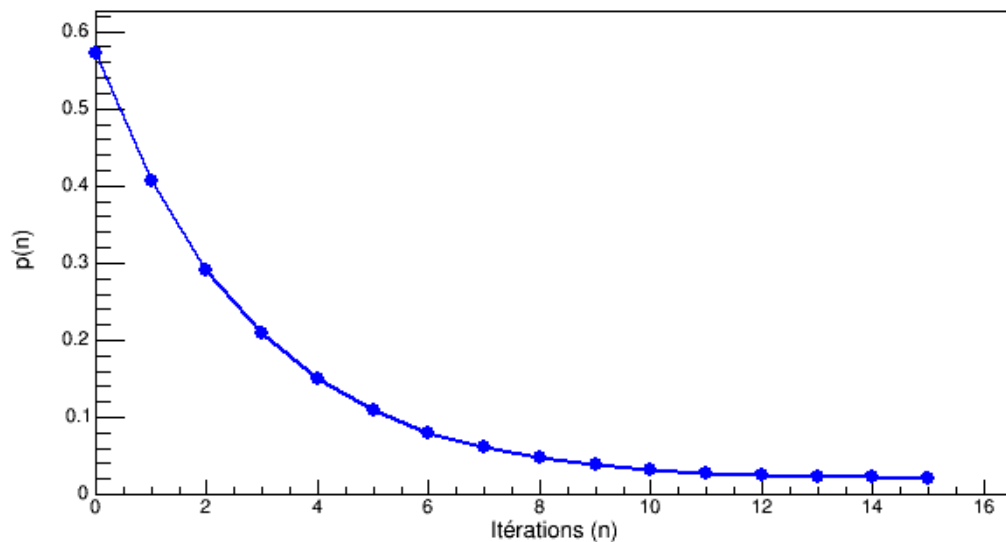
La Figure 2.10 suivante nous montre les débits optimaux pour chaque utilisateur VIP et commerciaux avec  $R=200$ . Les paramètres des utilisateurs sont identiques aux précédents dont quatre utilisateurs commerciaux, suivants deux configurations de fonctions sigmoïde et deux logarithmique et quatre utilisateurs VIP avec les mêmes subdivisions que l'autre classe.



**Figure 2.10 :** Débits optimaux des utilisateurs  $r_i^{opt}$  en fonction des  $n$  itérations et  $R=200$

Voici les résultats des shadow price pour les deux cas expérimentés précédemment.

**Convergence du Shadow Price avec  $R=70$**



**Figure 2.11 :** Shadow price pour le cas où  $R=70$

Convergence du Shadow Price avec R=200

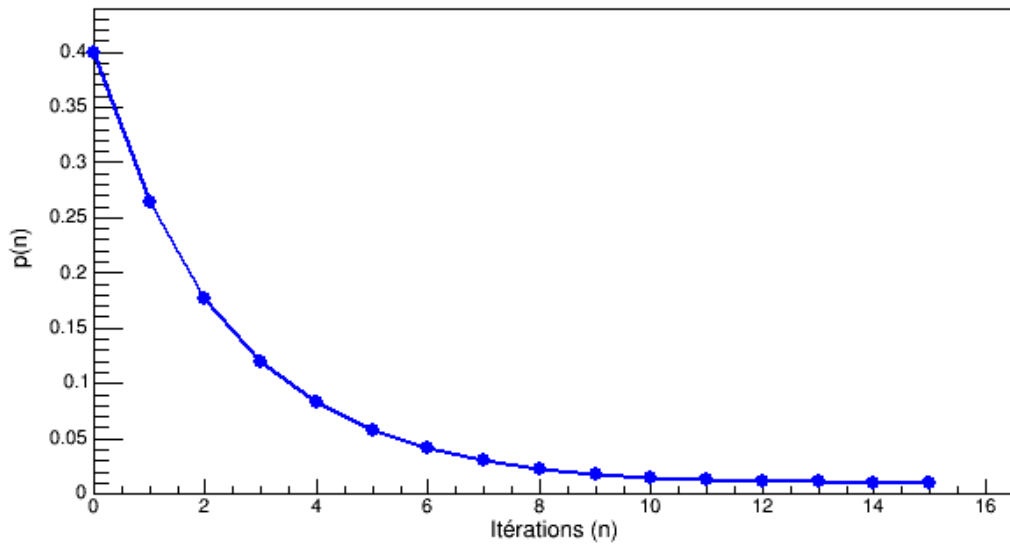


Figure 2.12 : Shadow price pour le cas où R=70

Les Figures 2.11 et 2.12 nous montrent les convergences des Shadow price pour les deux cas énoncés et simulés précédemment, avec huit utilisateurs pouvant être regroupés sous deux classes, c'est-à-dire la classe des utilisateurs commerciaux et la classe des utilisateurs VIP. Le premier résultat concerne le shadow price pour le cas où la somme des débits requis est inférieure à la ressource disponible R, et le deuxième résultat pour le cas où cette somme est par contre supérieure à la ressource disponible R.

### 2.4.3 Proposition d'une solution globale optimale pour le deuxième cas

Il existe une solution optimale globale unique tractable. Introduisons un nouveau paramètre  $c_i$ , où  $c_i$  est équivalente au débit d'application cible ou requis pour les utilisateurs en sécurité publique alors que c'est équivalent à 0 pour celle des utilisateurs commerciale, alors le problème d'optimisation précédemment peut être réécrite comme [13] [14]:

$$\max_r \prod_{i=1}^{M+N} U_i(r_i + c_i) \quad (2.10)$$

Avec :

$$\sum_{i=1}^M (r_i + c_i) \leq R,$$

$$r_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, M + N,$$

$$c_i = \begin{cases} r_{i,s}^t, & \text{si utilisateur sécurité publique} \\ 0, & \text{si utilisateur commerciale} \end{cases}$$

Ce problème d'optimisation garantit un débit optimal qui est au moins égale au débit d'application requis pour l'utilisateur de sécurité publique. Et la fonction d'utilité pour les utilisateurs est strictement concave ou sigmoïde.

## **2.5 Conclusion**

On conclut donc dans ce chapitre que la technique d'agrégation de porteuses dans les systèmes d'allocation de ressources des réseaux mobiles permet de bénéficier un débit élevé du côté des utilisateurs. Et on a pu citer cinq scénarios dans celle-ci, et aborder sur les trois types de techniques tels que les systèmes d'agrégation Intra-bande contiguë, Intra-bande non contiguë, et Inter-bande non contiguë. Et enfin, on a pu généraliser une solution de partage de spectre en fréquence avec l'utilisation des fonctions d'utilités d'applications utilisateurs et de l'équité proportionnelle utilitaire.

## CHAPITRE 3

### MODELISATION D'UN SYSTEME D'ALLOCATION DE RESSOURCES RADIO D'UN RESEAU UNICELLULAIRE VIA LA DISCRIMINATION D'UTILISATEURS

#### 3.1 Introduction

Dans cette section, nous nous focalisons sur la recherche d'une solution optimale pour le problème d'allocation de ressources pour différents types d'utilisateurs exécutant divers types d'applications simultanément sur leurs terminales UEs. Nous avons considéré ainsi la différenciation des abonnés, la différenciation des statuts pour les applications, et le débit d'application requis. En outre, certains types d'utilisateurs avec une priorité plus élevée sont assignés à des débits d'applications requis par le réseau et sont assignés en premier à des ressources. Un minimum de QoS a été garanti pour chaque utilisateur en se basant sur une approche d'équité proportionnelle et l'application en temps réel est en priorité par rapport à l'application en retard tolérée. Notre objectif est alors de pouvoir allouer des ressources en fréquence, de façon optimale parmi les UEs. Nous proposons donc un algorithme à deux étages d'allocation de débits. Dans le premier étage, l'eNodeB collabore avec les UEs pour assigner des débits d'utilisateurs. Dans le deuxième étage, les débits sont assignés aux applications utilisateurs. Ce chapitre se dresse donc comme suit : Nous présentons un problème d'allocation de ressources pour allouer les ressources de l'eNodeB de façon optimale parmi différents types d'utilisateurs exécutant des applications multiples. Nous proposons une méthode à deux étages d'allocation de débits afin d'assigner ses débits de façon optimaux parmi les utilisateurs.

##### 3.1.1 Formulation du problème

Nous considérons un système unicellulaire mobile qui se compose d'un seul eNodeB,  $M$  UEs ou terminales courants, et d'autres  $N$  utilisateurs VIP (VIP UEs) comme montré dans la Figure 3.01. Le débit assigné par l'eNodeB aux  $i^{\text{ème}}$  UEs est donné par  $r_i$ . Chaque UE a sa propre fonction d'utilité  $X_i(r_i)$  qui correspond à la satisfaction d'utilisateur avec leur débit d'allocation  $r_i$ . Notre premier objectif est de déterminer les débits optimaux que l'eNodeB assignera aux UEs. Nous supposons que la fonction d'utilité  $X_i(r_i)$ , qui est assigné aux  $i^{\text{ème}}$  utilisateurs est donné par: [16]

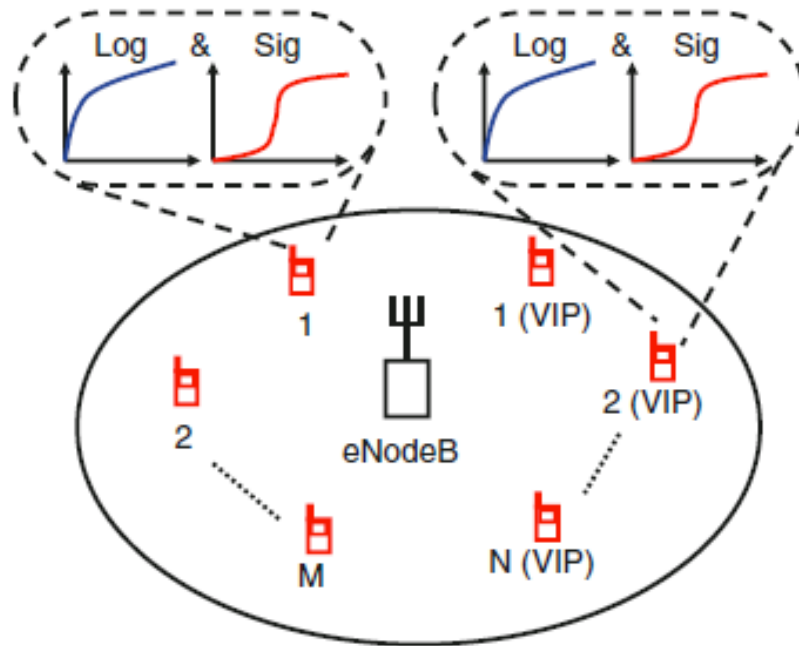
$$X_i(r_i) = \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}} (r_{ij} + c_{ij}) \quad (3.01)$$

Avec :

$$c_{ij} = \begin{cases} r_{ij}^t, & \text{si la } j^{\text{ème}} \text{ application est assignée à un débit d'application requis,} \\ 0, & \text{si la } j^{\text{ème}} \text{ application n'est pas assignée à un débit d'application requis.} \end{cases}$$

Où :

- $U_{ij}(r_j)$ : la fonction d'utilité des  $j^{\text{ème}}$  applications pour l'utilisateur  $i$ ,
- $r_{ij}$ : les débits alloués aux  $j^{\text{ème}}$  applications exécutés aux  $i^{\text{ème}}$  UEs,
- $L_i$ : les nombres d'applications fonctionnant dans les  $i^{\text{ème}}$  UEs,
- $c_{ij}$ : les débits d'applications requis pour les utilisateurs  $i$ ,
- $\alpha_{ij}$ : les pourcentages d'utilisation de l'application (application weight),
- $r_{ij}^t$ : les débits d'applications requis assignés aux  $j^{\text{ème}}$  applications des  $i^{\text{ème}}$  utilisateurs.



**Figure 3.01 :** *Modèle du système, un eNodeB avec N UEs VIP et d'autre M UEs courant souscrivant à un service mobile dans la zone de couverture de l'eNodeB*

### 3.1.2 Problème d'optimisation d'allocation de ressources

Le problème d'optimisation d'allocation de ressources pour les utilisateurs multi-applications est divisé en deux cas. Le premier cas est quand les ressources disponibles maximum  $R$  de l'eNodeB est inférieur ou égal à la totalité des débits d'applications requis pour les UEs VIP. Le deuxième cas

est quand  $R$  est plus grand que la totalité des débits requis de ses applications UEs ou utilisateurs. Les problèmes d'optimisation d'allocation de ressources pour ces deux cas seront résolus par l'utilisation des algorithmes proposés dans cette partie, dans le but d'obtenir un débit optimal sur chaque UE aussi bien que pour ses applications. [14]

### 3.1.3 Problèmes d'optimisation d'allocation de ressources pour les utilisateurs multi-applications

#### 3.1.3.1 Premier cas : quand le débit d'application requis est supérieur ou égale à $R$

Dans le cas où le débit d'application requis est supérieur ou égale à  $R$ , c'est-à-dire  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t \geq R$ , l'eNodeB alloue seulement des ressources aux  $M$  UEs VIP tels qu'ils sont considérés comme des utilisateurs très importants et les utilisateurs réguliers ou courants ne seront assignés à aucune des ressources de l'eNodeB puisque ses ressources disponibles sont limitées. Dans ce cas-ci, le problème d'optimisation est divisé en deux étapes. Dans la première étape, l'eNodeB alloue des débits  $r_i$  aux  $M$  groupes d'utilisateurs. L'eNodeB et les  $M$  groupes UEs collaborent tous les deux pour la réalisation de l'allocation de ressources UEs. Dans la deuxième étape, chacun de ces  $M$  UEs utilisateurs utilise les débits d'allocation de l'eNodeB afin d'allouer un débit optimal  $r_{ij}$  sur chacun de ses  $L_i$  applications. La deuxième étape est exécutée intérieurement au sein de l'UE. [12]

- Première étape dans ce premier cas

Le problème d'optimisation pour cette première étape s'écrit donc comme suit :

$$\max_r \prod_{i=1}^M X_i^{\beta_i}(r_i) \quad (3.02)$$

Avec :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^M r_i &\leq R \\ 0 &\leq r_i \leq \sum_{j=1}^{L_i} r_{i,j}^t \\ i &= 1, 2, \dots, M \end{aligned}$$

Où :

- $X_i = \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}}(r_{ij})$ ,
- $r_i = \{r_1, r_2, \dots, r_M\}$  : Débit assigné par l'eNodeB pour les  $i^{\text{ème}}$  UEs,
- $M$  : Nombre des utilisateurs VIP sous la zone de couverture de l'eNodeB,
- $R$  : Le débit maximale que pouvant offrir l'eNodeB,
- $\beta_i$  : Poids de souscription de l'  $i^{\text{ème}}$  utilisateur assigné par le réseau.

La fonction objective dans le problème d'optimisation 3.02 est équivalente à  $\sum_{i=1}^M \beta_i \log(X_i(r_i))$  . Par conséquent, le problème d'optimisation 3.02 est un problème d'optimisation convexe et il existe une solution unique globale optimale. Cette solution optimale donne à chacun *des*  $M$  utilisateurs un débit optimal  $r_i^{\text{opt}}$  qui est inférieur ou égal aux débits d'applications requis. [13]

- Deuxième étape parmi le premier cas

Chacun *du*  $M$  UEs VIP alloue un débit optimal  $r_i^{\text{opt}}$  à leurs  $L_i$  applications. Les débits optimaux assignés à chaque application dépendent du poids de différenciation des applications et du type d'application. Ce problème d'optimisation est résolu intérieurement dans l'UE et peut être écrit comme suit. [13]

$$\max_r \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}}(r_{ij}) \quad (3.03)$$

C'est-à-dire :

$$\sum_{j=1}^{L_i} r_{ij} \leq r_i^{\text{opt}}$$

$$0 \leq r_{ij} \leq r_{ij}^t, j = 1, 2, \dots, L_i$$

Où :

- $r_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{iL_i}\}$ ,
- $L_i$  : Le nombre d'application dans l'UE.

Cette solution optimale représente les débits optimaux  $r_{ij}^{\text{opt}}$  alloués pour chaque  $L_i$  application.

### 3.1.3.2 Deuxième cas : quand le débit d'application requis est inférieur à R

Dans le cas où le débit d'application requis est inférieur à R, c'est-à-dire  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t < R$ , l'eNodeB alloue en premier des ressources aux  $M$  UEs VIP. Il alloue alors les ressources restantes aux UEs courants, basées sur le principe d'équité proportionnelle. Ce cas de problème d'optimisation est aussi divisé en deux étapes. Dans la première étape, l'eNodeB collabore avec l'UEs afin d'allouer des débits  $r_{ij}$  aux UEs. Dans la seconde étape, chacun de ces  $M+N$  UEs assigne des débits optimaux  $r_{ij}$  à ses applications. La deuxième étape est par conséquent exécutée intérieurement à l'UE. Le trafic inélastique sera alors en priorité quand il s'agit d'une allocation de ressources au sein de l'UEs.

- Première étape dans le second cas du problème d'optimisation

Dans ce cas, on pourrait le décrire comme suit : [12]

$$\max_r \prod_{i=1}^{M+N} X_i^{\beta_i}(r_i) \quad (3.04)$$

C'est-à-dire :

$$\sum_{i=1}^{M+N} r_i \leq R$$

$$r_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, M + N$$

Où :

- $X_i = \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}}(r_{ij} + c_{ij})$ ,
- $r_i = \{r_1, r_2, \dots, r_{M+N}\}$ ,
- $M+N$ : Nombre des utilisateurs VIP et simples utilisateurs souscrits pour des services dans la zone de couverture de l'eNodeB,
- $\beta_i$  : Poids de souscription de l' $i^{\text{ème}}$  utilisateur assigné par le réseau.

Chaque UE est au moins allouée à la quantité totale de ses débits d'applications s'il y en a.

- Deuxième étape pour le second cas

Chacun des  $M+N$  UEs alloue des débits optimaux à ses applications. Premièrement, chaque UE alloue un débit d'application requis à chacune de ses applications s'il en est assigné. Puis, il continue



en allouant les ressources restantes parmi toutes les applications en se basant sur le poids de différenciation d'application et le type d'application. [12] [16]

Ce problème d'optimisation est résolu intérieurement au sein de l'UE et peut être écrit comme suit :

$$\max_{r_i} \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}}(r_{ij} + c_{ij}) \quad (3.05)$$

C'est-à-dire :

$$\sum_{j=1}^{L_i} (r_{ij} + c_{ij}) \leq r_i^{opt}$$

$$r_{ij} \geq 0, j = 1, 2, \dots, L_i$$

Où :

- $r_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{iL_i}\}$ ,
- $r_i^{opt}$  : Débit alloué par l'eNodeB, au  $i^{ème}$  UE dans la première étape.

Chaque UE alloue un débit optimal  $r_{ij}^{opt} = r_{ij} + c_{ij}$  à chacun de ses applications.

### ***3.1.4 Algorithmes d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateur et résultats de simulations***

#### ***3.1.4.1 Algorithmes d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateur***

Comme mentionné précédemment, l'algorithme d'allocation de ressources, pour les utilisateurs multi-application avec différentes priorités, est réalisé en deux étapes. Dans la première étape, l'eNodeB et les UEs collaborent pour assigner des débits optimaux  $r_i$  pour les utilisateurs comme montré dans l'algorithme 2.1 d'UE considéré comme VIP, l'algorithme 2.2 pour l'UE régulier et l'algorithme 2.3 de l'eNodeB, consultable dans la partie annexe 1. Dans la seconde étape, l'algorithme de l'UE interne alloue des débits d'applications  $r_{ij}$  aux applications utilisateur (UE) comme montré dans l'algorithme de l'UE interne. [17]

- Algorithme d'allocation de ressources : première étape

La première étape de l'algorithme d'allocation de ressources est présentée dans cette section. L'algorithme commence quand chaque UE transmet un initial bid  $w_i(n)$  à l'eNodeB. En plus, chaque UE VIP transmet leurs débits d'applications requis à l'eNodeB. L'eNodeB vérifie si

$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t$  est supérieure ou inférieure à  $R$  et envoie un flag ou fanion pour l'information précédent à chaque UE. Dans le cas  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t \geq R$ , l'UE régulier ne sera assignée à aucune de ses ressources et n'enverra pas de bids à l'eNodeB.

Chaque UE VIP vérifie si la différence entre le bid reçue et celle du précédent est inférieur au seuil  $\delta$ , et s'il existe ainsi. Autrement, l'eNodeB calcule le shadow price  $p(n) = \frac{\sum_{i=1}^M w_i(n)}{R}$  et l'envoie aux UEs VIP où il est utilisé pour calculer les  $i^{\text{ème}}$  débits des utilisateurs VIP  $r_i(n)$  qui est la solution du problème d'optimisation : [18]

$$r_i(n) = \arg \max_r (\beta_i \log X_i(r_i) - p(n)r_i) \quad (3.06)$$

Où :

$$X_i(r_i) = \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}}(r_{ij})$$

Un nouveau bid  $w_i(n) = p(n)r_i(n)$  est calculé et l'UE VIP vérifie la condition de fluctuation et envoie leurs nouveaux bids à l'eNodeB. L'algorithme est finalisé par l'eNodeB. Chaque UE VIP calcule alors leur débit assigné  $r_i^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$ .

Dans le cas où  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t < R$ , un fanion (flag) contenant cette information sera transmis sur chaque UE par l'eNodeB. Chaque UE vérifie si la différence entre le bid reçue et celle du précédent est inférieure au seuil  $\delta$ , et s'il existe ainsi. [14]

Autrement, l'eNodeB calcule le shadow price  $p(n) = \frac{\sum_{i=1}^{M+N} w_i(n)}{R}$  et l'envoi sur chacun des UE où il est utilisé par l'UE VIP pour le calcul de débit  $r_i = r_i(n) + \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t$ ,  $r_i(n)$  qui est une solution pour le problème d'optimisation :

$$r_i(n) = \arg \max_{r_i} (\beta_i \log X_i(r_i) - p(n)(r_i + \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t)) \quad (3.07)$$

Où :

$$X_i(r_i) = \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}}(r_{ij} + c_{ij})$$

Un nouveau bid  $w_i(n) = p(n) \cdot (r_i(n) + \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t)$  est calculé par l'UE VIP. Tous les UEs VIP vérifient la condition de fluctuation et envoient leurs nouveaux bids à l'eNodeB. D'une autre manière, l'UE reçoit le Shadow price  $p(n)$  et calcule le débit  $r_i(n)$  qui est la solution du problème d'optimisation : [13]

$$r_i(n) = \arg \max_{r_i} (\beta_i \log X_i(r_i) - p(n) \cdot r_i) \quad (3.08)$$

Où :

$$X_i(r_i) = \prod_{j=1}^{L_i} U_{ij}^{\alpha_{ij}}(r_{ij} + c_{ij})$$

Un nouveau bid  $w_i(n) = p(n)r_i(n)$  est calculé par l'UE. Tous les UEs vérifient la condition de fluctuation et envoient leurs nouveaux bids aux eNodeB. L'algorithme est finalisé par l'eNodeB.

Chaque UE et UE VIP calcule alors leurs débits alloués  $r_i^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$ .

- Algorithme d'allocation de ressources : deuxième étape

La seconde étape du système d'allocation de ressources sera présentée dans cette section où les débits  $r_{ij}$  sont alloués intérieurement dans l'UE à ses applications. Chaque UE utilise ses débits  $r_i^{opt}$  alloués dans la première étape pour résoudre le problème d'optimisation : [18]

$$r_i = \arg \max_{r_i} \sum_{j=1}^{L_i} \alpha_{ij} \log U_{ij}(r_{ij} + c_{ij}) - p(r_{ij} + c_{ij}) + p r_i^{opt} \quad (3.09)$$

Le débit  $r_{ij}^{opt} = r_{ij} + c_{ij}$  est alors alloué aux  $j^{ème}$  applications de l'utilisateur UE.

#### 3.1.4.2 Résultats de simulations

Nous considérons un eNodeB avec quatre UEs dans sa zone de couverture souscrivant pour un service mobile. Les premier et deuxième utilisateurs UEs sont des utilisateurs UEs VIP et les troisième et quatrième utilisateurs UEs sont des utilisateurs UEs réguliers. Chacun des quatre utilisateurs UEs exécutent deux applications simultanément. La première application est une application en temps réel tandis que la deuxième est une application tolérante en retard.

Nous avons appliqué les algorithmes 2.1, 2.2 et 2.3 dans C++ aux fonctions d'utilité des utilisateurs UEs. Les résultats de simulations ont montré une convergence au point optimal global dans les deux étapes de l'algorithme. Nous présentons les résultats de simulation pour les quatre utilisateurs.

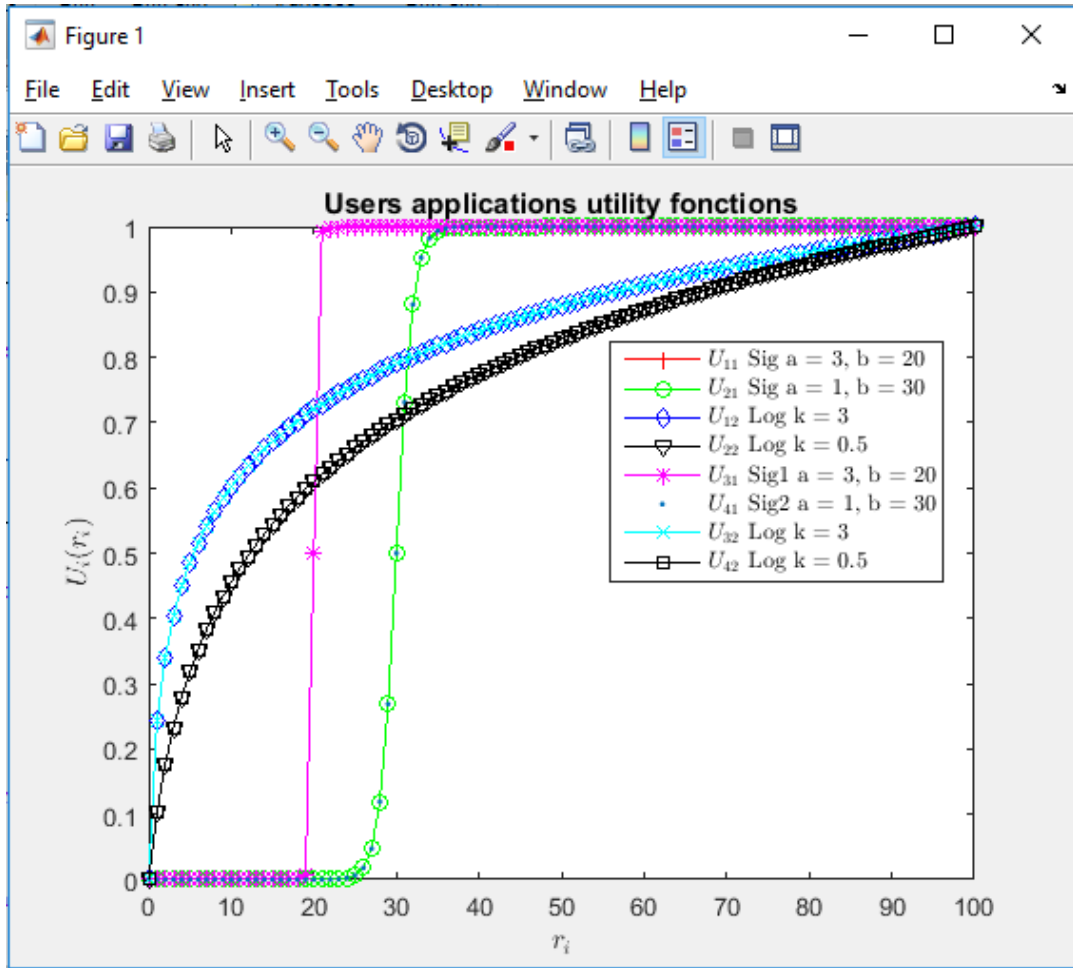
Le premier utilisateur UE est un utilisateur VIP, nous employons un sigmoïde normalisé comme fonction d'utilité pour représenter sa première application avec  $a = 3$ ,  $b = 20$  qui est une approximation à une fonction d'étape à un débit  $r = 20$  et nous mettons  $r_{21}^t = 20$ . En plus, pour la deuxième application de cette même classe d'utilisateur (utilisateur VIP) nous utilisons une fonction logarithmique avec  $k = 3$ , qui est une approximation d'une application en retard-tolérée.

Le deuxième utilisateur est un utilisateur VIP, nous employons une fonction sigmoïde normalisée comme fonction d'utilité pour représenter sa première application avec  $a = 1$ ,  $b = 30$  et nous mettons  $r_{21}^t = 30$ . En plus, pour la deuxième application de la deuxième classe d'utilisateur (utilisateur REGULIER) nous utilisons une fonction logarithmique avec  $k = 0.5$  pour représenter son application en retard toléré.

Les mêmes paramètres du premier groupe d'utilisateur sont utilisés pour les fonctions d'utilités du troisième utilisateur à moins que ses applications ne soient pas assignées à des débits d'applications requis. En outre, les mêmes paramètres du deuxième utilisateur sont employés comme fonction d'utilité pour le quatrième utilisateur à moins aussi que ses applications ne sont pas assignées à des débits d'applications requis.

Et aussi, nous avons choisi  $\beta_i = 1$  et  $r_{max} = 100$  pour tous les fonctions logarithmique,  $l_1 = 5$  et  $l_2 = 10$  pour la fonction d'affaiblissement de fluctuation de l'algorithme et  $\delta = 10^{-3}$ . Le poids d'application (weight)  $\alpha_{ij}$  sur l'ensemble  $\alpha$  correspond aux  $j^{ème}$  applications des utilisateurs  $i$ , où  $\alpha = \{\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{31}, \alpha_{32}, \alpha_{41}, \alpha_{42}\}$ .

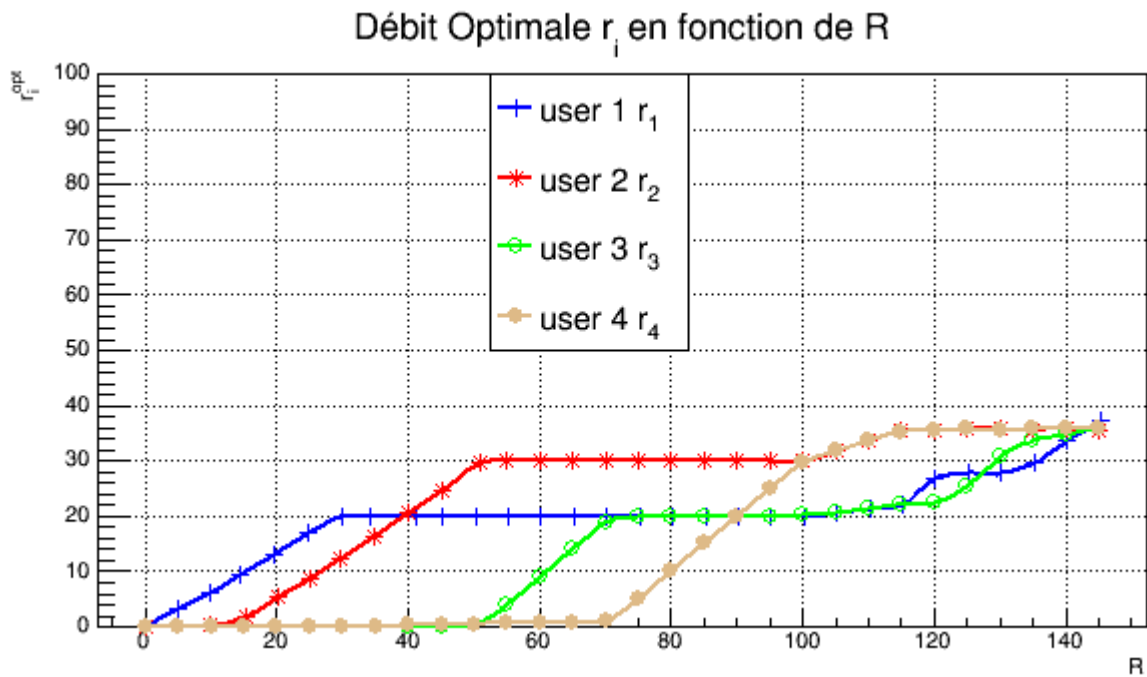
La Figure 3.02 nous montre huit fonctions d'utilité d'applications correspondant à quatre UEs. Les applications en temps réels des UEs VIP ou utilisateurs VIP sont assignés à des débits d'applications requis, ceci explique les décalages sur leurs fonctions d'utilité dans la Figure 3.02, à travers  $r_{ij}^t$ . Les autres applications ne bénéficieront pas de débits d'applications ( $c_{ij} = 0$ ).



**Figure 3.02 :** Fonctions d'utilités des applications  $U_{ij}(r_{ij})$

### 3.1.4.3 Convergence dynamiques pour différentes valeurs de R

Dans notre simulation, nous optons  $\alpha = \{0.5, 0.5, 0.9, 0.1, 0.5, 0.5, 0.9, 0.1\}$  et les ressources disponibles de l'eNodeB prennent des valeurs entre 5 et 150 avec un pas de 5. Dans la Figure 3.03 suivante, nous voyons quatre débits optimaux  $r_i^{opt}$  d'utilisateurs confrontés avec les ressources R de l'eNodeB. Ceci représente la solution du problème d'optimisation 3.02 où  $R \leq 50$  et celle du problème d'optimisation 3.04 où  $R > 50$ , utilisant la première étape de l'algorithme, et avec laquelle 50 est le débit d'application requis pour les deux utilisateurs VIP. Cette figure nous montre aussi que lorsque  $R \leq 50$  les UEs réguliers ne sont pas assignés à des ressources de l'eNodeB. Néanmoins, lorsque  $R > 50$  chaque utilisateur VIP est alloué en premier à des débits d'application requis et les restes des ressources sont alloués à tous les utilisateurs en se basant sur l'approche de l'équité proportionnelle ou proportional fairness approach.

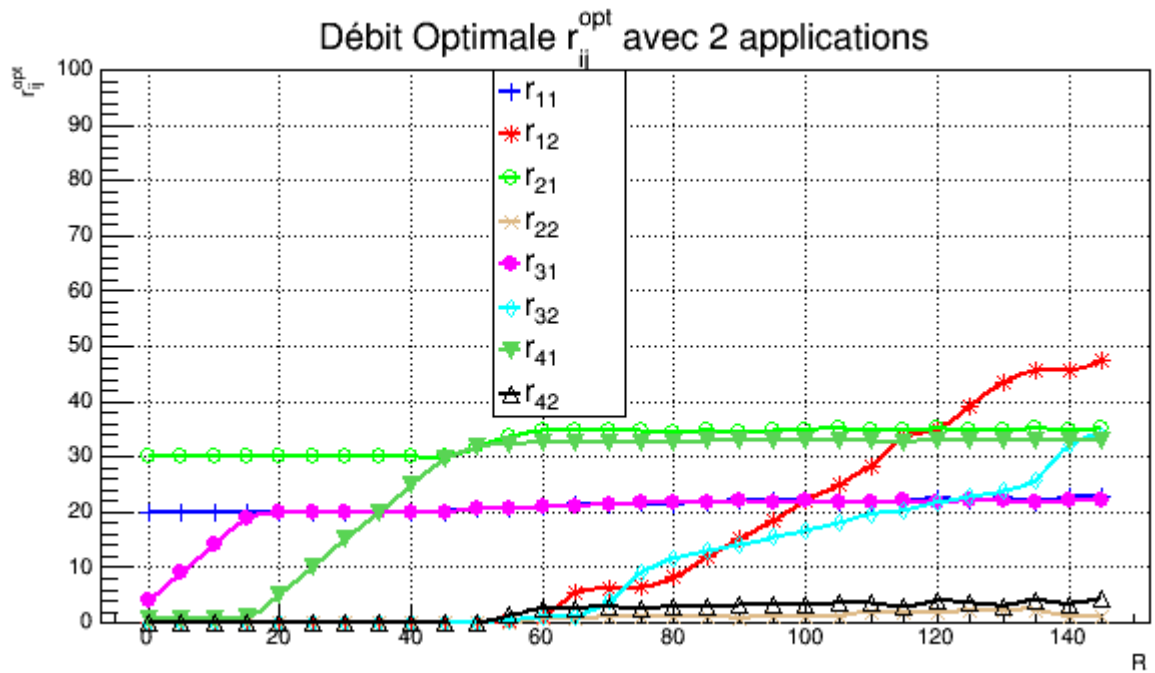


**Figure 3.03 :** Les débits optimaux  $r_i^{opt}$  des utilisateurs

La Figure 3.04 suivante nous montrons les débits d'applications optimaux finaux  $r_{ij}^{opt}$  pour quatre utilisateurs avec les différentes ressources R de l'eNodeB. Ceci est aussi une solution pour le problème d'optimisation 3.03 pour  $R \leq 50$  et solution de 3.05 pour  $R > 50$  utilisant l'algorithme interne des UEs utilisateurs. Cette figure nous montre que lorsque  $R \leq 50$ , les applications en temps réel sont en priorité face aux autres types d'applications, lors de l'allocation de débits des UE VIP à leurs applications respectives, tandis que lorsque  $R > 50$ , les UEs VIP allouent en premier des débits d'applications requis aux applications et ensuite ils allouent les restes des ressources à travers tous les autres applications en utilisant toujours l'approche d'équité proportionnelle tout en donnant la priorité aux applications en temps réelles. Et les UEs réguliers privilégient aussi leurs applications en temps réelles lors de l'allocation de ressources comme on voit sur cette même figure.

Dont les significations des notations utilisées dans la figure sont les suivantes :

- $r_{11}$  : débit d'application de l'utilisateur 1, avec une application en temps réelle ou une trafic inélastique,
- $r_{12}$  : débit d'application de l'utilisateur 1, avec une application en temps réelle ou une trafic élastique,
- Et pour les restes,  $r_{21}, r_{22}, r_{31}, r_{32}, r_{41}, r_{42}$ , leurs paramètres sont analogues à celle de l'utilisateur 1 précédent.



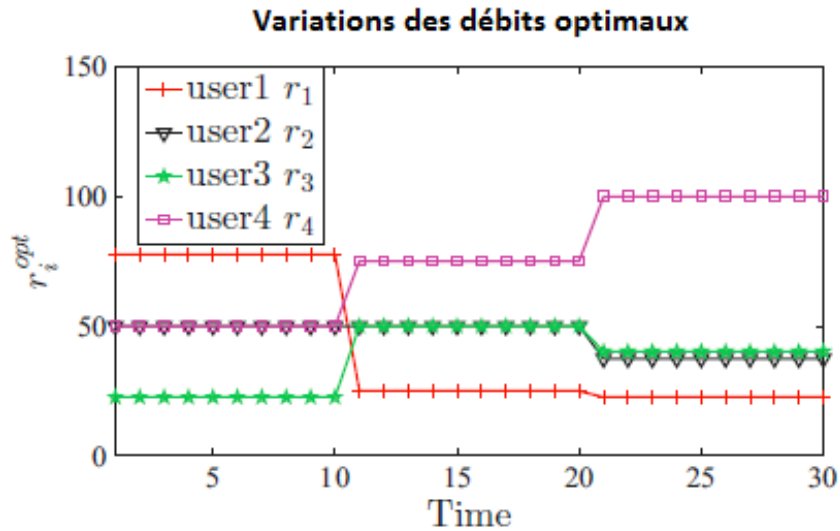
**Figure 3.04 :** Les débits optimaux d'applications  $r_{ij}^{opt}$  pour différentes valeurs de  $R$

#### 3.1.4.4 Sensibilité d'allocation de débits aux changements de $\alpha$

Dans la simulation qui suit, nous mesurons la sensibilité du changement de poids d'application correspondant au pourcentage d'utilisation d'applications dans l'UE. Nous utilisons  $R = 200$  ainsi que les mêmes paramètres précédemment utilisés pour les quatre utilisateurs. Les utilisateurs changent donc leurs pourcentages d'utilisation d'applications comme suit :

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha = \{0.1, 0.9, 0.5, 0.5, 0.9, 0.1, 0.5, 0.5\}; \\ \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 10 \\ \alpha = \{0.5, 0.5, 0.3, 0.7, 0.2, 0.8, 0.1, 0.9\}; \\ \quad \text{pour } 10 \leq t \leq 20 \\ \alpha = \{1.0, 0.0, 0.9, 0.1, 0.8, 0.2, 0.1, 0.9\}; \\ \quad \text{pour } 20 \leq t \leq 30 \end{cases} \quad (3.10)$$

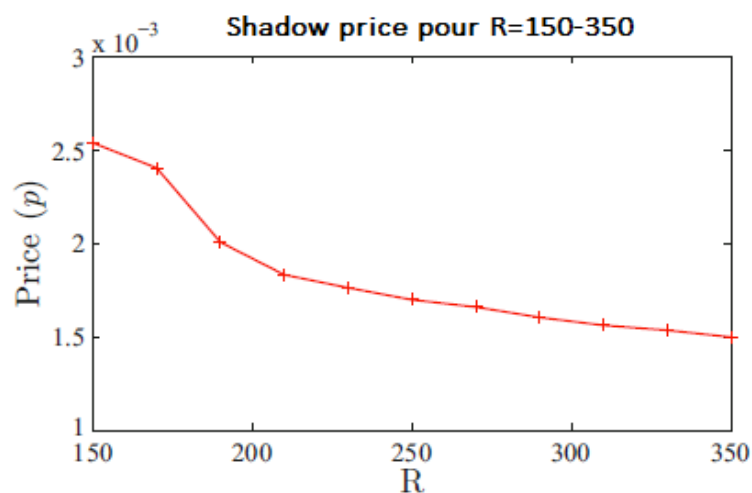
La Figure 3.05 nous montre les débits optimaux  $r_i^{opt}$  des utilisateurs avec les temps pour lesquelles varient les taux d'utilisation d'applications donné par  $\alpha(t)$ .



**Figure 3.05 :** Les débits optimaux  $r_i^{opt}$  des utilisateurs variant avec le temps

### 3.1.4.5 Sensibilité du Shadow price aux changements liés aux nombres d'UEs

Nous supposons dans cette simulation  $\alpha = \{0.5, 0.5, 0.9, 0.1, 0.5, 0.5, 0.9, 0.1\}$  et les ressources disponibles de l'eNodeB prend différentes valeurs entrent 150 et 350 avec un pas de 20. Dans la Figure 3.06, nous retrouvons le shadow price  $p$  représentant les prix par unité de largeur bande pour tous les utilisateurs, avec les ressources disponibles  $R$  de l'eNodeB quand le nombre d'utilisateurs est fixé. Comme prévu le prix est plus élevé pour un plus petit  $R$  quand le nombre d'utilisateurs est fixé. C'est équivalent à une élévation de prix pour un trafic élevé et à une diminution du prix pour un faible trafic.



**Figure 3.06 :** Shadow price  $p$  pour les différentes valeurs de  $R$ , avec un nombre fixé d'utilisateurs



## 3.2 Conclusion

Dans cette partie, concernant le système d'allocation de ressources d'un réseau mobile de nouvelle génération unicellulaire avec discrimination d'utilisateur, on a pu conclure qu'afin d'allouer les ressources de l'eNodeB de façon optimale, utilisant le principe d'équité proportionnelle utilitaire, parmi différents types ou classes d'utilisateurs que ce soit un utilisateur VIP ou REGULIER et exécutant des applications qui pourront être aussi entre des applications classés en temps réelles et en retard tolérés; des solutions d'optimisation sont proposées, parmi lesquelles les méthodes d'allocation de débits à deux étages, une collaboration entre eNodeB et UEs et ensuite entre UEs et applications par une synchronisation aux shadow prices calculés et présentés dans notre proposition d'algorithme. En outre, nous présentons également quelques résultats de simulations, développé sous C++ et Matlab, illustrant la validation de nos méthodes, ainsi qu'une visualisation des fonctions d'utilités des applications considérés dans la simulation, et la performance du système suivant le shadow price y intervenant.

## CHAPITRE 4

### MODELISATION ET SIMULATION D'UN SYSTEME D'ALLOCATION DE RESSOURCES RADIO COMBINANT L'AGREGATION DE PORTEUSES ET LA DISCRIMINATION DES UTILISATEURS

#### 4.1 Introduction

Dans cette section, nous fournissons un Framework afin d'allouer de façon optimale les ressources multi-porteuses parmi les utilisateurs appartenant à différentes classe d'utilisateurs. Dans notre modèle, nous utilisons des fonctions d'utilités pour représenter les applications utilisateurs. Les systèmes d'allocation de ressources étudiés auparavant avec discrimination d'utilisateur ne considèrent pas le cas des ressources multi-porteuses disponibles à l'eNodeB. Elle résout seulement le problème d'attribution de ressources avec discrimination des utilisateurs pour le cas d'un simple porteur. Dans cette section, nous considérons le cas des ressources multi-porteuses disponibles à l'eNodeB et des multiples classes d'utilisateurs situés sous la zone de couverture de ses porteurs. Nous formulons un problème d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateurs dans un système d'allocation de ressources à plusieurs étages avec un problème d'optimisation d'agrégation de porteuses afin d'allouer des ressources à chaque utilisateur dans toutes les gammes de porteuses basés sur le principe de l'équité proportionnelle utilitaire. Chaque application fonctionnant dans les UEs est assignée à un débit minimum d'application requis par le réseau, basée sur le type d'application ainsi que la classe auquel il appartient. En outre, si les gammes de porteuses de l'utilisateur ont suffisamment de ressources disponibles, l'utilisateur est assigné au minimum à ses débits d'applications requis. La contribution effectuée dans cette section se résume comme suit :

- Nous présentons un problème d'optimisation d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateurs afin d'allouer des ressources multi-porteuses de façon optimale parmi les différentes classes d'utilisateurs.
- Nous présentons un algorithme d'allocation de ressources pour résoudre le problème d'optimisation et assigne à chaque utilisateur un débit final agrégé dans leur gamme de porteuses. L'algorithme proposé surpasse celles des précédents comme il considère assigner chaque utilisateur à des ressources multi-porteuses utilisant une approche d'allocation de ressources avec agrégation de porteuses ou carrier aggregation.
- Nous présentons des résultats de simulation pour montrer la performance de l'algorithme d'allocation de ressources ainsi proposé.

## 4.2 Problème d'un système multi-porteur

Nous considérons un système mobile unicellulaire avec un eNodeB,  $\mathbf{K}$  porteurs (bandes de fréquence) qui ont des ressources disponibles à l'eNodeB,  $M$  utilisateurs UEs régulier et VIP. Et que  $M$  soient l'ensemble de tous les UEs régulier et VIP où  $M = |M|$ . L'ensemble de porteurs est indiqué par  $K = \{1, 2, 3, \dots, \mathbf{K}\}$ , avec des porteurs dans l'ordre de haute fréquence à la basse fréquence. Les porteurs en hautes fréquences ont une faible zone de couverture que les porteurs en basses fréquences. L'eNodeB alloue des ressources à partir de multiples porteurs pour chaque utilisateur UE. Les utilisateurs situés sous la zone de couverture des multi-porteurs sont assignés à des ressources dans tous les gammes de porteuses. Le débit assigné par l'eNodeB à l'utilisateur ou UE  $i$  dans tous les gammes de porteurs est donné par  $r_i$ . Chaque application tournant sur l'UE est mathématiquement représentée par une fonction d'utilité  $U_i(r_i)$  qui correspond au type d'application et représente la satisfaction des utilisateurs sur leurs débits d'allocations  $r_i$ . Notre but est alors de déterminer les débits optimaux que l'eNodeB assignera de chaque porteur à chaque UE afin de maximiser la totalité du système utilitaire tout en assurant une équité proportionnelle entre les utilités ou services. Les débits assignés aux  $i^{\text{ème}}$  utilisateurs dans  $M$  par les  $j^{\text{ème}}$  porteurs dans  $K$  est donné par  $r_i^{j,all}$ . [19] Les débits alloués finales par l'eNodeB aux  $i^{\text{ème}}$  utilisateurs est donné par :

$$r_i = \sum_{j \in K} r_i^{j,all} \quad (4.01)$$

Où ;  $r_i$  est équivalent à la somme des débits assignés à l' $i^{\text{ème}}$  utilisateur dans toutes les gammes de porteuses. Basé sur les classes des utilisateurs, une méthode groupant d'utilisateur est introduite pour la partition des utilisateurs en groupes.

L'eNodeB effectue le processus allocation de ressources avec discrimination d'utilisateurs basée sur l'agrégation de porteuses afin d'allouer les ressources de chaque porteur aux utilisateurs situés sous la zone de couverture de ce porteur. [20]

Nous exprimons la satisfaction des utilisateurs avec leurs débits en utilisant les fonctions d'utilités, qui représentent le degré de satisfaction des fonctions utilisateurs avec les débits assignés par le réseau cellulaire. Nous représentons la fonction d'utilité de l' $i^{\text{ème}}$  utilisateur  $U_i(r_i)$  par une fonction d'utilité sigmoïde ou logarithmique, où  $r_i$  est le débit de l' $i^{\text{ème}}$  utilisateur. [19]

### 4.3 Méthode de groupement des utilisateurs

Nous présentons dans cette partie une méthode utilisée pour grouper les utilisateurs pour chaque  $j \in K$  porteur. L'eNodeB crée  $M_j$  groupes d'utilisateurs pour chaque porteur où  $M_j$  est l'ensemble des utilisateurs se trouvant sous la zone de couverture des  $j^{\text{ème}}$  porteurs. Le nombre d'utilisateur dans  $M_j$  est donné par  $M_j = |M_j|$ .

De plus, les utilisateurs dans  $M_j$  sont partitionnés en deux groupes. Le groupe des utilisateurs VIP  $M_j^{\text{VIP}}$ , et le groupe des utilisateurs réguliers  $M_j^{\text{REG}}$ , où  $M_j^{\text{VIP}}$  et  $M_j^{\text{REG}}$  sont respectivement l'ensemble des utilisateurs VIP et réguliers sous la zone de couverture des  $j^{\text{ème}}$  porteurs avec  $M_j = M_j^{\text{VIP}} \cup M_j^{\text{REG}}$ . Les nombres des utilisateurs dans  $M_j^{\text{VIP}}$  et  $M_j^{\text{REG}}$  sont donnés respectivement par  $M_j^{\text{VIP}} = |M_j^{\text{VIP}}|$ , et  $M_j^{\text{REG}} = |M_j^{\text{REG}}|$ .

L'eNodeB alloue les ressources en porteurs aux utilisateurs dans  $M_j$  dont la priorité est donnée aux utilisateurs VIP (utilisateurs dans  $M_j^{\text{VIP}}$ ). Les utilisateurs se trouvant dans la zone de couverture des multi-porteurs sont assignés à des ressources de ses porteurs. [12] [19]

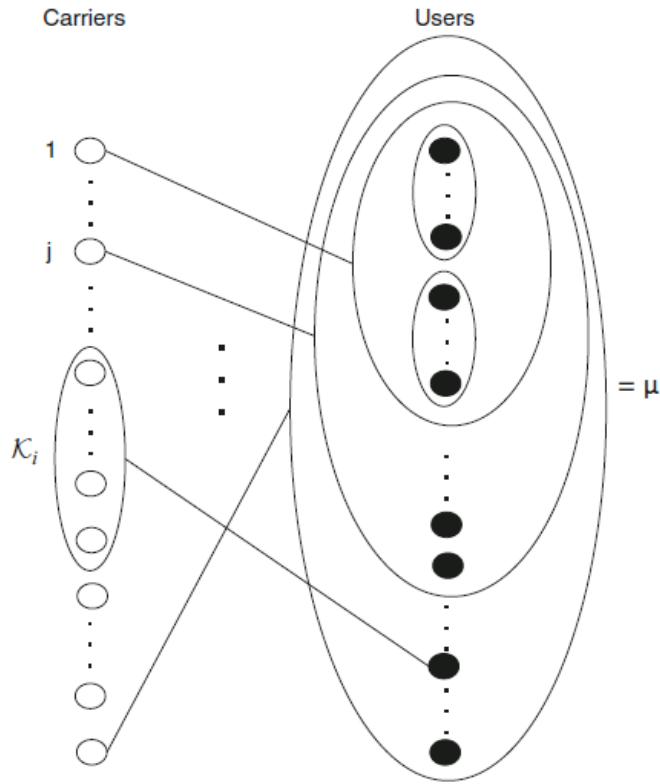
L' $i^{\text{ème}}$  utilisateur est considéré une partie du  $M_j$  groupe d'utilisateur, où  $D_j$  représente le rayon de couverture des  $j^{\text{ème}}$  porteurs. Et  $d_i$  indique la distance entre l'eNodeB et l'utilisateur  $i$ . Le groupe d'utilisateur  $M_j$  du  $j^{\text{ème}}$  porteur est défini par:

$$M_j = \{i: d_i < D_j, 1 \leq i \leq M\}, 1 \leq j \leq K \quad (4.02)$$

D'un autre côté, l'eNodeB crée un ensemble de  $K_i$  porteurs, pour chaque utilisateur, et qui est défini par :

$$K_i = \{j: d_i < D_j, 1 \leq j \leq K\}, 1 \leq i \leq M \quad (4.03)$$

La figure suivante montre comment les utilisateurs sont partitionnés en groupes d'utilisateurs basés sur leurs localisations et leurs classes. Nous avons ici un système cellulaire avec un eNodeB,  $K$  porteurs et  $M$  utilisateurs. [16]



**Figure 4.01 :** *Partitionnement des utilisateurs en groupe d'utilisateurs*

#### **4.4 Problème d'optimisation d'allocation de ressources multi-porteuses avec discrimination d'utilisateur et d'agrégation de porteuses**

Nous allons présenter ici, un problème d'optimisation d'allocation de ressources multi-étage avec discrimination d'utilisateur afin d'allouer des ressources multi-porteuses de façon optimale parmi les utilisateurs se trouvant dans la zone de couverture. Notre objectif est de trouver un débit final assigné à chacun des utilisateurs dans toutes les gammes de porteuses basé sur la fonction d'équité proportionnelle. Nous utilisons une fonction d'utilité pour représenter le type d'application exécuté dans l'UE. Chaque utilisateur souscrit pour un service mobile est assuré par un minimum de QOS doté d'un critère de priorisation. Les utilisateurs VIP sont considérés priorité quand ils allouent des ressources en porteuses, et dans un même classe d'utilisateur, que ce soit VIP ou utilisateur régulier, les applications en temps réel sera toujours en priorité. Cela est dû à la nature de la fonction sigmoïde qui est utilisée pour représenter les applications en temps réel.

L'eNodeB exécute les processus d'allocation de ressources pour tous les porteurs un après un et une après l'autre dans un ordre croissante de leurs zones de couverture  $D_j$ . Chaque porteur  $j \in K$  dispose d'une quantité limité de ressources disponibles donné par  $R_j$  et chaque application

utilisateur a un minimum de débit d'application utilisateur requis  $r_i^{req}$ , qui est équivalent à 0 dans le cas d'un utilisateur régulier et est équivalent à une certaine valeur (débit) pour les utilisateurs VIP. L'eNodeB commence le processus d'allocation de ressources en exécutant celle du porteur 1 ayant un plus petit rayon de couverture  $D_1$ . Après avoir assigné ses ressources aux utilisateurs appartenant à  $M_1$ , l'eNodeB continue en assignant les ressources du porteur 2 aux utilisateurs dans  $M_2$ . De plus, tant que  $M_1 \subseteq M_2$ , l'eNodeB alloue aux utilisateurs dans  $M_1$  les ressources du porteur 2 et les débits sont agrégés et basés sur le scénario d'agrégation inter-bande non-adjacent. Et ainsi de suite jusqu'à la  $j^{ème}$  porteur dans  $M_j$ . Avec  $r_i^{j,all}$  les débits alloués par les  $j^{ème}$  porteurs aux utilisateurs  $i$  et  $C_i$  les débits totaux agrégés alloués aux utilisateurs  $i$  via les porteurs  $\{1, 2, 3, \dots, j-1\}$ . Le processus d'allocation de ressources s'achève en allouant les ressources des  $K^{ème}$  porteurs aux utilisateurs dans  $M_K$ . Nous considérons une fonction objective d'équité proportionnelle utilitaire, basée sur l'agrégation de porteurs, que l'eNodeB cherche à maximiser à chaque fois qu'elle alloue les ressources des porteurs.

Le problème d'allocation de ressources pour les systèmes cellulaires multi-porteur proposés se divise donc en trois cas. Afin que l'eNodeB puisse garantir la priorité des UEs VIP lorsqu'il alloue les ressources en porteurs, il exécute toujours un processus d'allocation de ressources pour un porteur, il vérifie les valeurs de (1) les ressources  $R_j$  disponible en porteur, (2) tous les débits courants alloués aux utilisateurs VIP (UE VIP)  $i \in M_j^{VIP}$  des autres porteurs ( $C_i = \sum_{l=1}^{j-1} r_i^{l,all}$ ), et (3) la valeur de  $r_i^{req} - C_i$  pour chaque utilisateur VIP (UE VIP)  $i \in M_j^{VIP}$  si  $C_i < r_i^{req}$ . Basés sur ses valeurs, l'eNodeB exécute le processus d'allocation de ressources correspondant aux cas les plus appropriés parmi les trois cas suivants. [18]

- *Premier cas* :  $C_i \geq r_i^{req} \forall i \in M_j$

L'eNodeB choisi cette problème d'optimisation d'allocation de ressources dans le but d'assigné des ressources en  $j$  porteurs si le débit agrégé  $C_i$  alloué aux  $i \in M_j$  UEs ou utilisateurs via les porteurs  $\{1, 2, \dots, j-1\}$  est supérieur ou égale au débit minimum d'application requis  $r_i^{req}$ . Ici, lorsque chaque UE est déjà allouée par des débits minimum d'application requis, l'eNodeB exécute les processus d'allocation de ressources parmi les utilisateurs sous la zone de couverture du porteur  $j$ . Ceci peut être exprimé alors comme suit : [16]

$$\max_{r_j} \prod_{i=1}^{M_j} U_i(C_i + C_i^j + r_i^j) \quad (4.04)$$

C'est-à-dire :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{M_j} r_i^{j,all} &\leq R_j, \quad r_i^{j,all} \geq 0 \\ r_i^{j,all} &= r_i^j + C_i^j, \quad C_i^j = 0 \\ C_i &= \sum_{l=1}^{j-1} r_i^{l,all}, \quad C_i \geq r_i^{req}, \quad i = 1, 2, \dots, M_j \end{aligned}$$

Où :

- $U_i(C_i + C_i^j + r_i^j)$  : La fonction d'utilité représentant la totalité des débits d'allocation des applications exécutées aux  $i^{ème}$  utilisateurs,
- $M_j$ : le nombre d'utilisateur dans  $M_j$  se trouvant dans la zone de couverture des  $j$  porteurs,

Dans ce problème d'optimisation, nous avons considéré une fonction objective d'équité proportionnelle utilitaire basée sur l'agrégation de porteuses que l'eNodeB vise à maximiser lorsqu'il exécute un processus d'allocation de ressources des  $j$  porteurs.

- *Deuxième cas* :  $C_i < r_i^{req} \forall i \in M_j$  et  $\sum_{i=1}^{M_j^{VIP}} q_i^j \geq R_j$

L'eNodeB choisi le problème d'optimisation d'allocation de ressources pour ce cas-ci dans le but d'assigné  $j$  ressources en porteuses, si le débit agrégé  $C_i$  pour les utilisateurs  $i$  est inférieur au débit minimum d'applications requis  $r_i^{req}$  et  $\sum_{i=1}^{M_j^{VIP}} q_i^j$  pour les utilisateurs dans  $M_j^{VIP}$  est supérieur ou égale aux ressources disponibles  $R_j$ . [14]

Dans ce cas, l'eNodeB alloue  $j^{ème}$  ressources en porteuses pour l'UE VIP car ils sont considérés priorité et les utilisateurs réguliers  $M_j^{REG}$  ne seront assignés à aucun des ressources lorsque ses ressources en porteurs sont limitées. Cette problème d'optimisation peut être s'exprimée comme suit : [16]

$$\max_{r^j} \prod_{i=1}^{M_j^{VIP}} U_i(C_i + C_i^j + r_i^j) \quad (4.05)$$

C'est-à-dire :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{M_j^{VIP}} r_i^{j,all} &\leq R_j, \quad r_i^{j,all} \geq 0 \\ r_i^{j,all} &= r_i^j + C_i^j, \quad C_i^j = 0 \\ C_i &= \sum_{l=1}^{j-1} r_i^{l,all}, \quad C_i \geq r_i^{req} \end{aligned}$$

$$q_i^j = \begin{cases} 0, & C_i \geq r_i^{req} \\ r_i^{req} - C_i, & C_i < r_i^{req} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^{M_j^{VIP}} q_i^j \geq R_j, \quad i = 1, 2, \dots, M_j^{VIP}$$

Où :

- $r^j = \{r_1^j, r_2^j, \dots, r_{M_j^{VIP}}^j\}$ ,
- $M_j^{VIP}$  : Le nombre d'utilisateurs dans  $M_j^{VIP}$ .

Après que l'eNodeB exécute le processus d'allocation de ressources pour j porteur en résolvant le problème d'optimisation 4.05, chaque utilisateur VIP dans  $M_j^{VIP}$  est assigné à un débit équivalent à  $r_i^{j,all}$  par le porteur j tandis que des utilisateurs dans  $M_j^{REG}$  n'y sont pas assignés. Les débits totaux alloués aux utilisateurs sont équivalents à  $C_i + r_i^{j,all}$ . Dans ce problème d'optimisation, nous considérons aussi une fonction objective d'équité proportionnelle utilitaire, basée sur l'agrégation de porteurs, où l'eNodeB vise à maximiser lorsqu'il exécute un processus d'allocation de ressources pour des j porteurs. [13]

- *Troisième cas* :  $C_i < r_i^{req} \forall i \in M_j$  et  $\sum_{i=1}^{M_j^{VIP}} q_i^j < R_j$

L'eNodeB choisit ce cas de problème d'optimisation d'allocation de ressources afin d'attribuer des ressources en j porteur si le débit agrégé  $C_i$  pour des utilisateurs i est inférieur au débit minimum d'application requis  $r_i^{req}$  et la somme  $\sum_{i=1}^{M_j^{VIP}} q_i^j$  pour les utilisateurs VIP dans  $M_j^{VIP}$  est inférieur aux ressources disponibles  $R_j$  des porteurs. Dans ce cas, l'eNodeB alloue les ressources des  $j^{ème}$  porteurs à tous les utilisateurs dans  $M_j$ . Alors, le problème d'optimisation des  $j^{ème}$  porteurs est donné par : [16]

$$\max_{r^j} \prod_{i=1}^{M_j} U_i(C_i + C_i^j + r_i^j) \quad (4.06)$$

C'est-à-dire :

$$\sum_{i=1}^{M_j} r_i^{j,all} \leq R_j, \quad r_i^{j,all} \geq 0$$

$$r_i^{j,all} = r_i^j + C_i^j$$



$$C_i^j = \begin{cases} 0, & \text{si } C_i \geq r_i^{req} \\ r_i^{req} - C_i, & \text{si } C_i < r_i^{req} \end{cases}$$

$$C_i = \sum_{l=1}^{j-1} r_i^{l,all}, C_i \geq r_i^{req}, i = 1, 2, \dots, M_j$$

$$q_i^j = \begin{cases} 0, & C_i \geq r_i^{req} \\ r_i^{req} - C_i, & C_i < r_i^{req} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^{M_j^{VIP}} q_i^j < R_j, \quad i = 1, 2, \dots, M_j$$

Où :  $M_j$  est le nombre d'utilisateur dans  $M_j$ .

Après que l'eNodeB exécute le processus d'allocation de ressources pour  $j$  porteur en résolvant le problème d'optimisation 4.06, chaque utilisateur VIP dans  $M_j^{VIP}$  est assigné à un débit équivalent à  $r_i^{j,all}$  par le porteur  $j$  tandis que des utilisateurs dans  $M_j^{REG}$  ne sont assignés à aucune ressource. Les débits totaux alloués aux utilisateurs sont équivalents à  $C_i + r_i^{j,all}$ .

Dans ce problème d'optimisation, nous considérons une fonction objective d'équité proportionnelle utilitaire, basée sur l'agrégation de porteuses, où l'eNodeB vise à maximiser lorsqu'il exécute un processus d'allocation de ressources pour les  $j$  porteurs. Chacun des trois problèmes d'allocation de ressources peuvent être généralisés alors par l'expression suivante : [12] [16]

$$\max_{r_j^j} \prod_{i=1}^{|\alpha_j|} U_i(C_i + C_i^j + r_i^j) \quad (4.07)$$

C'est-à-dire :

$$\sum_{i=1}^{|\alpha_j|} r_i^{j,all} \leq R_j, \quad r_i^{j,all} \geq 0$$

$$r_i^{j,all} = r_i^j + C_i^j$$

$$C_i = \sum_{l=1}^{j-1} r_i^{l,all}, \quad i = 1, 2, \dots, |\alpha_j|$$

$$q_i^j = \begin{cases} 0, & \text{si } C_i \geq r_i^{req} \\ r_i^{req} - C_i, & \text{si } C_i < r_i^{req} \end{cases}$$

Avec  $C_i^j$  et  $\alpha_j$  sont donnés par,

$$C_i^j = \begin{cases} 0, & \text{si } C_i \geq r_i^{req} \\ r_i^{req} - C_i, & \text{si } C_i < r_i^{req} \text{ et } \sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} q_i^j < R_j \\ 0, & \text{si } C_i < r_i^{req} \text{ et } \sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} q_i^j < R_j \end{cases}$$

$$\alpha_j = \begin{cases} M_j, & \text{si } C_i \geq r_i^{req} \\ M_j^{VIP}, & \text{si } C_i < r_i^{req} \text{ et } \sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} q_i^j \geq R_j \\ M_j, & \text{si } C_i < r_i^{req} \text{ et } \sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} q_i^j \geq R_j \end{cases}$$

Où :

- $r_i^j = \{r_1^j, r_2^j, \dots, r_{|\alpha_j|}^j\}$ ,
- $\alpha_j$  : L'ensemble des utilisateurs équivalent à  $M_j$  ou  $M_j^{VIP}$ , basés sur les conditions de l'équation précédente, et  $|\alpha_j|$  est alors l'ensemble des utilisateurs dans  $\alpha_j$ .

#### 4.5 Proposition d'algorithme d'optimisation d'allocation de ressources multi-porteuses

L'algorithme se partage en deux parties ; le premier du côté de l'utilisateur et l'autre celle de eNodeB. L'exécution de l'algorithme commence de ce fait du côté des utilisateurs, en souscrivant aux services mobiles, transmettant ensuite les paramètres d'utilité de leurs applications vers l'eNodeB, qui alloue en retour aux utilisateurs les ressources disponibles basés sur une fonction d'équité proportionnelle. L'eNodeB exécute la méthode de groupement d'utilisateur, en créant trois groupes,  $M_j^{VIP}$ ,  $M_j^{REG}$  et  $M_j$  pour les utilisateurs se trouvant dans la zone de couvertures des  $j^{\text{ème}}$  porteuses. Il continue ensuite à exécuter le processus d'allocation de ressources en porteuses en commençant par le porteur 1 dans  $K$  dans l'ordre croissant (1, ..., K). Afin d'allouer efficacement les ressources, l'eNodeB lance le processus d'allocation correspondant au cas le plus approprié parmi les trois énoncé précédemment et nous auront : [13] [19]

$$L(r^j, r^j) = \sum_{i=1}^{|\alpha_j|} \log U_i(c_i + c_i^j + r_i^j) - p^j \left( \sum_{i=1}^{|\alpha_j|} (c_i^j + r_i^j) + \sum_{i=1}^{|\alpha_j|} z_i - R_j \right) \quad (4.08)$$

Où :

- $z_i \geq 0$  : est une variable négligeable,
- $p^j$  : est un multiplicateur de Lagrange, représentant le shadow price (prix par unité de largeur de bande pour tous les  $|\alpha_i|$  canaux).

**Algorithme de l'eNodeB****loop**Initialiser  $C_i = 0$ ;  $C_i^j = 0$ ;  $r_i^{j,all} = 0$ .Reception des paramètres d'utilité d'application  $k_i$ ,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $r_i^{max}$ , et  $r_i^{req}$  de tous les UE dans  $M$ .**for**  $j \leftarrow 1$  à  $k$  **do**Créer groupes d'utilisateurs  $M_j^{VIP}$ ,  $M_j^{REG}$  et  $M_j$  pour les utilisateurs se trouvant sous la zone de couverture des  $j^{ème}$  porteurs.**end for****for**  $i \leftarrow 1$  à  $|M_j|$  **do**Créer groupes de porteurs  $K_i$  pour les  $i^{ème}$  UE dans tous les gammes de porteurs.**end for****for**  $j \leftarrow 1$  à  $k$  **do****if**  $C_i < r_i^{req}$  **then**

$$q_i^j = r_i^{req} - C_i$$

**else**

$$q_i^j = 0$$

**end if****if**  $C_i \geq r_i^{req} \forall i \in M_j$  **then**

$$C_i^j = 0$$

$$\text{Résoudre } r^j = \arg \max_{r^j} \sum_{i=1}^{|M_j|} \log U_i(C_i + C_i^j + r_i^j) - p^j \left( \sum_{i=1}^{|M_j|} (C_i^j + r_i^j) \right) - R_j.$$

Assigner les débits  $r_i^{j,all} = r_i^j + C_i^j$  des  $j^{ème}$  porteurs vers chaque utilisateur dans  $M_j$ .Calculer à nouveau  $C_i = C_i + r_i^{j,all} \forall i \in M_j$ .**else if**  $C_i < r_i^{req}$  pour les utilisateurs  $i \in M_j$  &&  $\sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} q_i^j \geq R_j$  **then**

$$C_i^j = 0$$

$$\text{Résoudre } r^j = \arg \max_{r^j} \sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} \log U_i(C_i + C_i^j + r_i^j) - p^j \left( \sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} (C_i^j + r_i^j) \right) - R_j.$$

Assigner les débits  $r_i^{j,all} = r_i^j + C_i^j$  des  $j^{ème}$  porteurs vers chaque utilisateur dans  $M_j^{VIP}$ .Calculer à nouveau  $C_i = C_i + r_i^{j,all} \forall i \in M_j^{VIP}$ .**else if**  $C_i < r_i^{req}$  pour des utilisateurs  $i \in M_j^{VIP}$  et  $\sum_{i=1}^{|M_j^{VIP}|} q_i^j < R_j$  **then****if**  $C_i < r_i^{req}$  **then**

$$C_i^j = r_i^{req} - C_i$$

**else**

$$C_i^j = 0$$

**end if**

$$\text{Résoudre } r^j = \arg \max_{r^j} \sum_{i=1}^{|M_j|} \log U_i(C_i + C_i^j + r_i^j) - p^j \left( \sum_{i=1}^{|M_j|} (C_i^j + r_i^j) \right) - R_j.$$

Assigner les débits  $r_i^{j,all} = r_i^j + C_i^j$  des  $j^{ème}$  porteurs vers chaque utilisateur dans  $M_j$ .Calculer à nouveau  $C_i = C_i + r_i^{j,all} \forall i \in M_j$ .**end if****end for**Alloue tous les débits total agrégé  $r_i = \sum_{j=1}^K r_i^{j,all}$  par l'eNodeB à chaque UE dans  $M$ .**end loop****Figure 4.02 : Algorithme de l'eNodeB**

### Algorithme de l' $i^{\text{ème}}$ UE

#### loop

Envoi des paramètres d'utilité des applications  $k_i$ ,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $r_i^{\text{max}}$ , et  $r_i^{\text{req}}$  vers l'eNodeB.

Reception du debit finale  $r_i$  alloué de l'eNodeB.

#### end loop

Figure 4.03 : Algorithme de l'UE

## 4.6 Résultats de simulations

Dans notre simulation, on a considéré un système cellulaire mobile avec un eNodeB, deux porteuses avec ses ressources disponibles, et huit utilisateurs (UEs) actives se trouvant sous la zone de couverture de l'eNodeB comme illustrés dans la figure suivante.

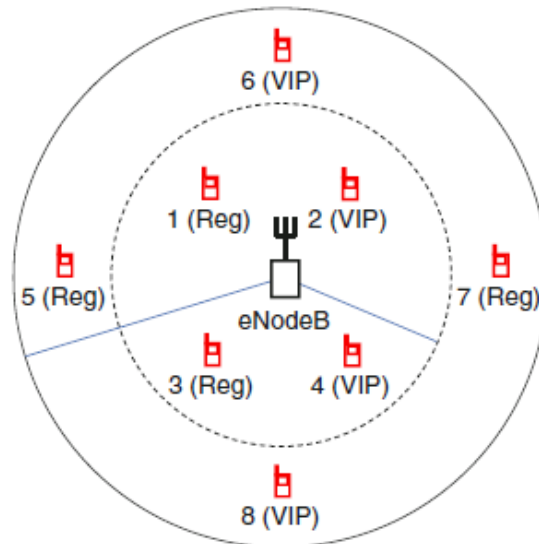
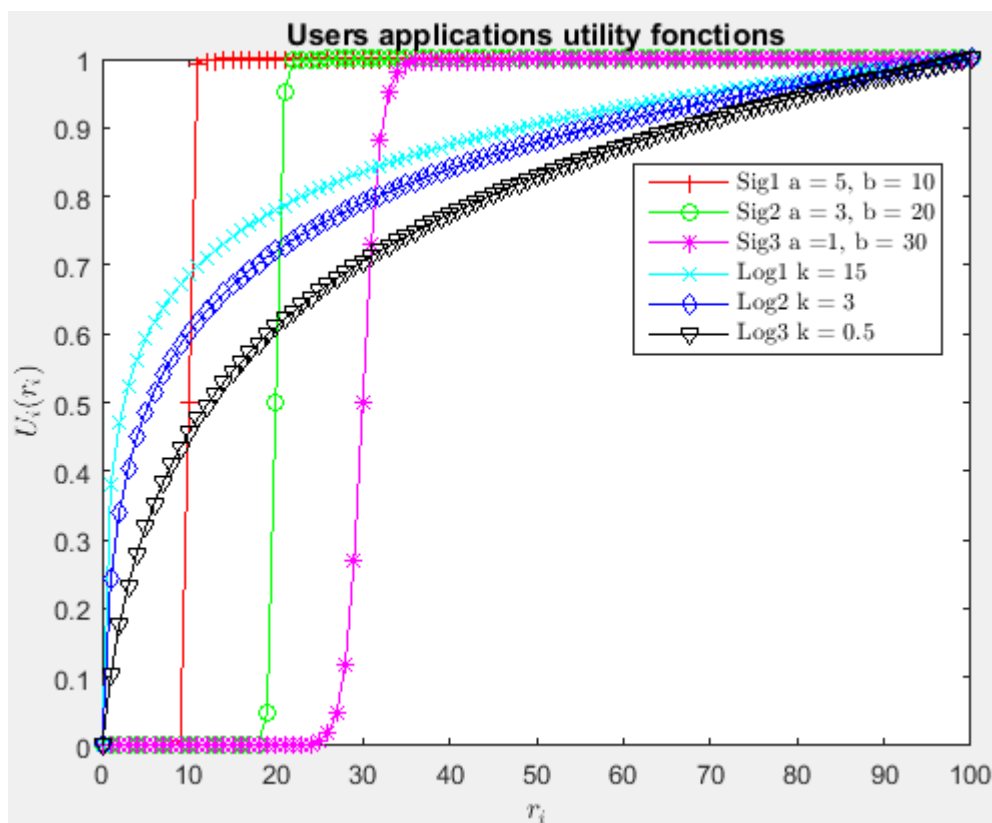


Figure 4.04 : Modèle d'un système mobile avec  $M=8$  utilisateurs,  $K=2$  porteurs disponibles dans l'eNodeB

Les UEs sont divisés en deux groupes. Le premier groupe d'utilisateurs  $M_1$  (indices  $i = \{1, 2, 3, 4\}$ ) représente les groupes d'utilisateurs se trouvant dans le rayon de couverture  $D_1$  du porteur 1. Chaque utilisateur dans  $M_1$  appartient dans l'un des deux classes ou groupes d'utilisateurs, c'est-à-dire le groupe d'utilisateur VIP et le groupe d'utilisateur régulier, avec  $M_1^{\text{VIP}} = \{2, 4\}$ ,  $M_1^{\text{REG}} = \{1, 3\}$ , et  $M_1 = M_1^{\text{VIP}} \cup M_1^{\text{REG}}$ . En outre, le deuxième groupe d'utilisateurs (indices  $i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ ) représente les groupes d'utilisateur se trouvant dans le rayon de couverture  $D_2$  du porteur 2. Et

chaque utilisateur dans  $M_2$  appartient à la groupe d'utilisateur VIP ou à la groupe d'utilisateur régulier, avec  $M_2^{VIP} = \{2, 4, 6, 8\}$ ,  $M_2^{REG} = \{1, 3, 5, 7\}$ , et  $M_2 = M_2^{VIP} \cup M_2^{REG}$ .

Nous utilisons les fonctions d'utilités sigmoïde et logarithmique avec des différents paramètres pour représenter les applications de chaque utilisateur. Nous avons utilisé trois fonctions sigmoïdes normalisées avec différentes configurations. Les paramètres utilisés sont  $a_i = 5$ ,  $b_i = 10$  correspondant à une fonction sigmoïde avec un point d'inflexion  $r_i = 10$ , représentant le type de services des utilisateurs pour l'indice  $i = \{5\}$ ;  $a_i = 3$ ,  $b_i = 20$  correspondant aussi à une fonction sigmoïde avec un point d'inflexion  $r_i = 20$ , représentant le type de services des utilisateurs pour l'indice  $i = \{1\}$ ; et  $a_i = 1$ ,  $b_i = 30$  correspondant aussi à une fonction sigmoïde avec un point d'inflexion  $r_i = 30$ , représentant les aussi le type de services des utilisateurs pour l'indice  $i = \{2, 6\}$ . Nous utilisons aussi trois fonctions logarithmiques avec  $r_i^{max} = 100$  et des différentes paramètres  $k_i$  pour représenter les applications en retard tolérés. Nous utilisons  $k_i = 15$  pour l'UE dont l'indice  $i = \{7\}$ ,  $k_i = 3$  pour l'utilisateur défini par l'indice  $i = \{3\}$ , et  $k_i = 0.5$  pour les utilisateurs avec lesquelles  $i = \{4, 8\}$  comme montré dans la **Figure 4.05**.



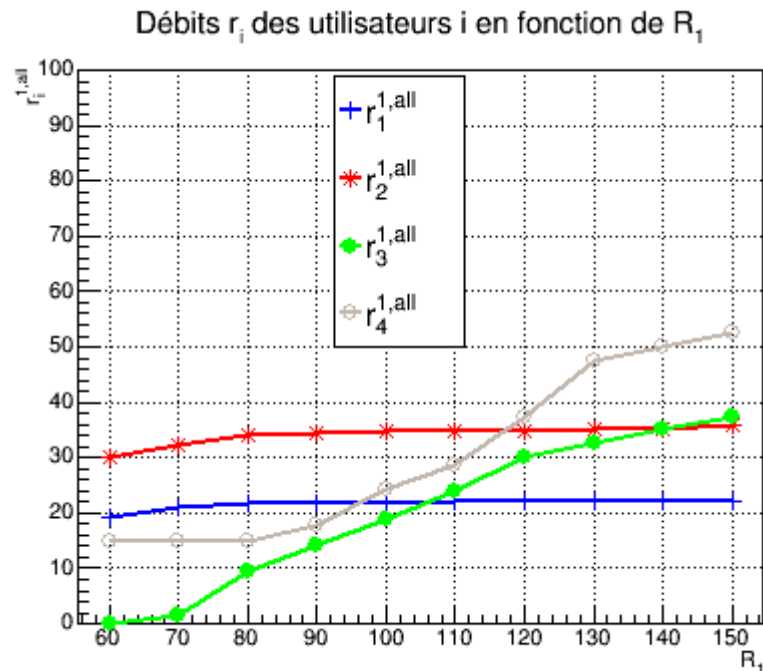
**Figure 4.05 :** Fonctions d'utilités utilisés dans la simulation : trois fonctions sigmoïde et trois fonctions logarithmique

Le Tableau 4.01 nous montre un résumé de tous ses paramètres. Nous utilisons un débit minimum d'applications requis, équivalent au point d'inflexion de la fonction sigmoïde, c'est-à-dire  $r_i^{req} = b_i$ , pour chaque utilisateur exécutant des applications en temps réel, nous utilisons alors  $r_i^{req} = 15$  pour les utilisateurs exécutants des applications en retard tolérés et  $r_i^{req} = 0$  pour les utilisateurs exécutant, que ce soient des applications en temps réel ou bien des applications en retard tolérés.

Paramètres d'utilités des applications		Indices des utilisateurs
Sig1	Sig $a_i = 5, b_i = 10$	$i = \{5\}$
Sig2	Sig $a_i = 3, b_i = 20$	$i = \{1\}$
Sig3	Sig $a_i = 1, b_i = 30$	$i = \{2, 6\}$
Log1	Log $k_i = 15, r_i^{max} = 100$	$i = \{7\}$
Log2	Log $k_i = 3, r_i^{max} = 100$	$i = \{3\}$
Log3	Log $k_i = 0.5, r_i^{max} = 100$	$i = \{4, 8\}$

**Tableau 4.01:** Paramètres utilitaires des applications utilisateurs

#### 4.6.1 Débits alloués par le porteur 1



**Figure 4.06 :** Les débits  $r_i^{1,all}$  alloués au groupe d'utilisateur  $M_1$  avec  $60 < R_1 < 150$

Dans notre simulation, on a choisi  $\delta = 10^{-3}$ , le débit  $R_1$  prend des valeurs entre 60 et 150 avec un pas de 10. Dans la Figure 4.06, nous constatons les débits alloués  $r_i^{1,all}$  des différents utilisateurs avec des différentes valeurs du débit total  $R_1$  du porteur 1 et nous observons aussi comment l'algorithme d'allocation de ressources proposé converge-t-elle pour différentes valeurs de  $R_1$ . Nous voyons aussi que les deux utilisateurs VIP et régulier dans le groupe d'utilisateur  $M_1$  sont alloués à des ressources par le porteur 1 quand  $60 \leq R_1 \leq 150$  tant que les ressources disponibles  $R_1$  du porteur 1 est supérieur à la totalité des débits minimum d'applications requis pour les utilisateurs dans  $M_1$ . Ceci montre aussi que par l'utilisation de l'algorithme d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateur, aucun utilisateur n'est servi d'un débit nul ou rejeté. Néanmoins, les ressources du porteur 1 sont tout d'abord assigné à l'utilisateur VIP jusqu'à ce que toute son application atteigne le débit minimum d'applications requis  $r_i^{req}$ . La majorité des ressources du porteur 1 sont alors attribuées aux utilisateurs exécutant des applications en temps réel adaptatives jusqu'à ce qu'ils atteignent chacun leurs points d'inflexions, l'eNodeB alloue par conséquent suffisamment de ressources du porteur 1 aux utilisateurs avec des applications en retard tolérés.

#### 4.6.2 Débits alloués par le porteur 2 et les débits totaux agrégés

Dans la suite de la simulation, on a choisi  $\delta = 10^{-3}$ , le débit  $R_2$  prend des valeurs entre 10 et 150 avec un pas de 10 et le débit du porteur 1 est fixé à  $R_1 = 60$ . La Figure 4.07 et 4.08 nous montre les débits alloués  $r_i^{2,all}$  et les débits finaux  $r_i$  des différents utilisateurs avec les différentes valeurs du débit total  $R_2$  du porteur 1 et nous observons aussi comment l'algorithme d'allocation de ressources proposé converge-t-elle pour les différentes valeurs de  $R_2$ .

Observé dans cette figure, quand  $10 \leq R_2 \leq 45$ , seule les utilisateurs VIP dans  $M_2$ , c'est-à-dire ceux qui ne sont pas assignés à des ressources par le porteur 1 ou ceux qui n'ont pas pu atteindre leurs débits minimum d'applications requis sont assignés à des ressources du porteur 2. Tandis que si  $45 \leq R_2 \leq 150$ , alors les deux classes d'utilisateurs VIP et régulier dans  $M_2$  sont alloués par les ressources du porteur 2, puisque le débit total  $R_2$  du porteur 2 est supérieure à  $\sum_{i=1}^{M_2^{VIP}} q_i^2$  (c'est-à-dire, le débit total requis pour les utilisateurs pour atteindre leur débit minimum d'application requis  $r_i^{req}$ ).

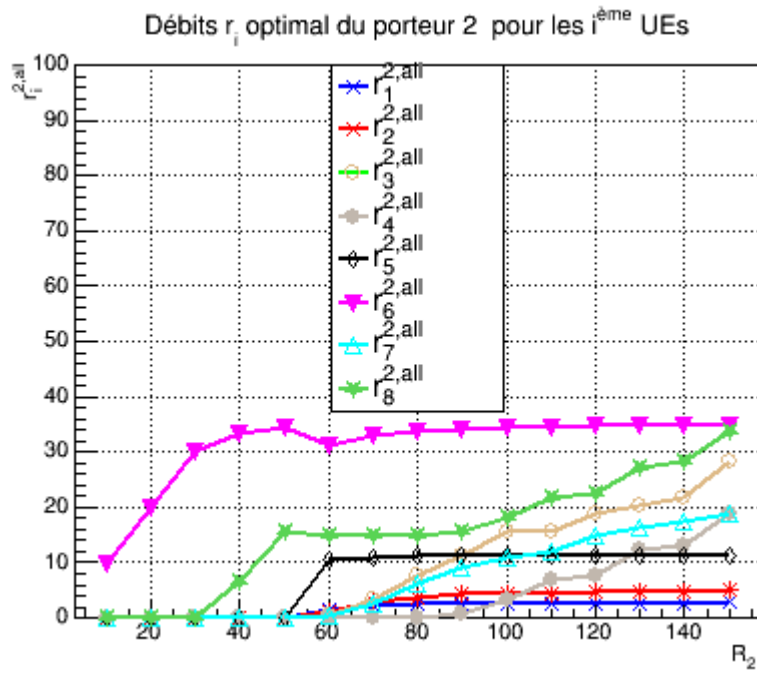


Figure 4.07 : Les débits assignés par le porteur 2 au  $M_2$  groupe d'utilisateur

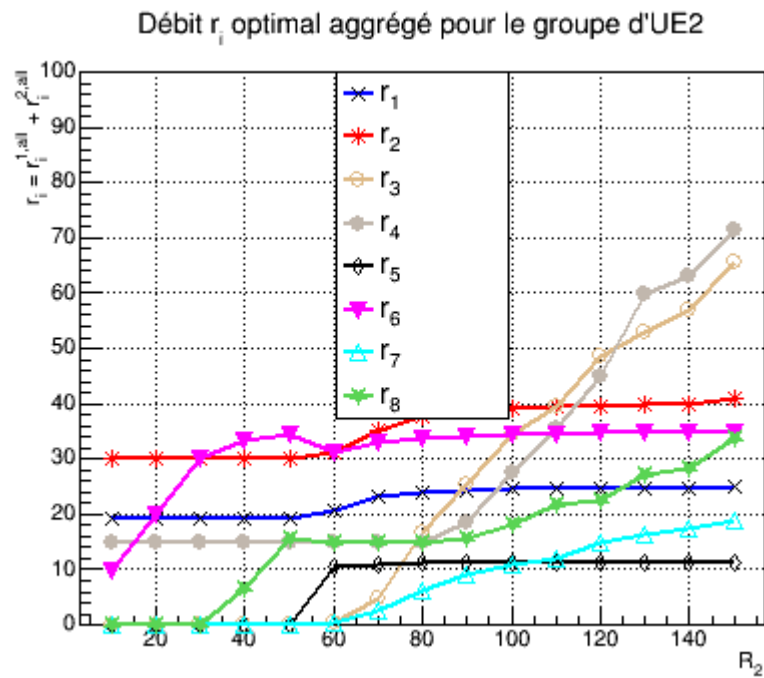


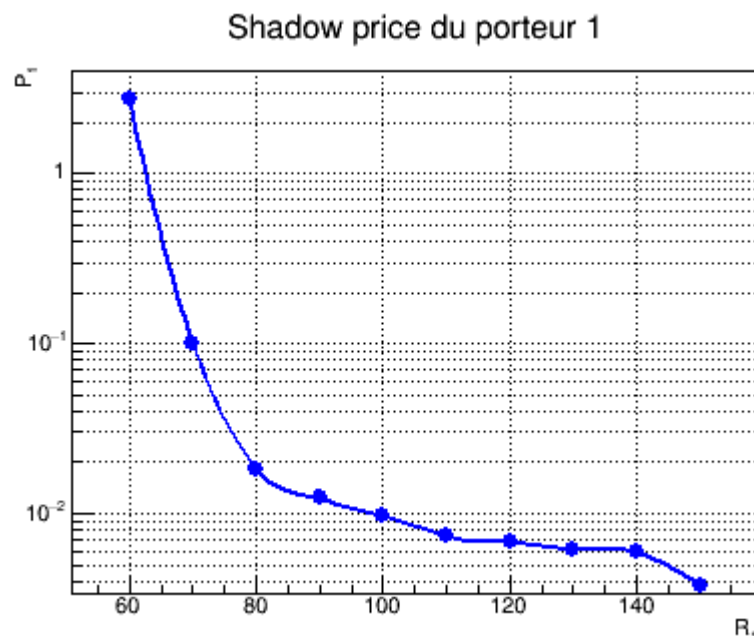
Figure 4.08 : Les débits totaux agrégés  $r_i = \sum_{j=1}^2 r_i^{j,all}$  alloués par l'eNodeB aux huit utilisateurs



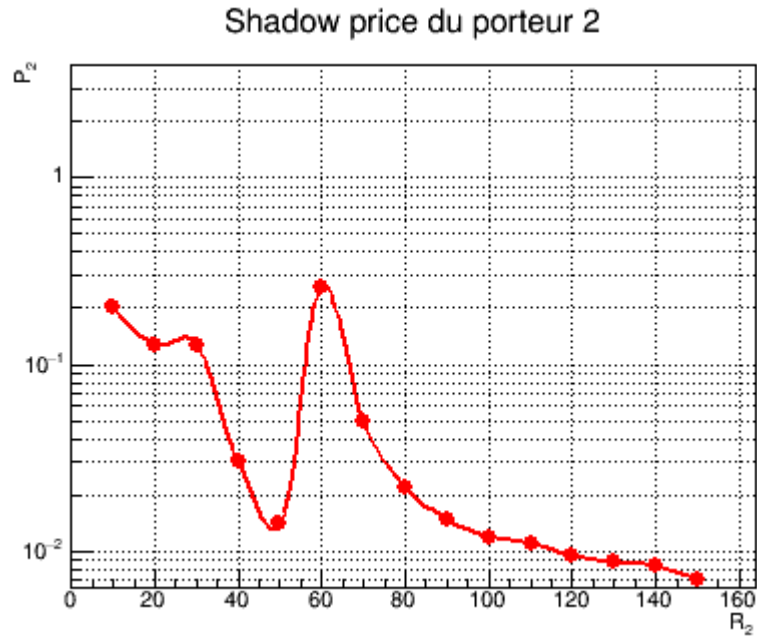
La Figure 4.07 nous montre aussi qu'en utilisant notre système d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateur qui est basé sur l'agrégation de porteuses, l'eNodeB prend en considération les débits alloués aux utilisateurs dans  $M_2$  par le porteur 1 lors de l'allocation de ressources du porteur 2. Les ressources du porteur 2 sont premièrement assignées aux utilisateurs VIP jusqu'à ce que leurs applications atteignent les débits minimum d'applications requis  $r_i^{req}$ . La majorité des ressources du porteur 2 sont alors alloués aux utilisateurs exécutant des applications en temps réel adaptative jusqu'à ce qu'ils atteignent leurs débits d'inflexions, et l'eNodeB assigne ensuite plus de ressources du porteur 2 aux UEs avec des applications en retard tolérés.

#### 4.6.3 Analyse des Shadow price pour le porteur 1 et porteur 2

Le paramètre choisi dans cette partie de simulation est toujours  $\delta = 10^{-3}$ . Nous pouvons visualiser dans la Figure 4.09 le shadow price du porteur 1 ( $p^1$ ) avec  $60 \leq R_1 \leq 150$ . Nous observons que le prix est dépendant du trafic comme il se dégrade pour de grande valeurs de  $R_1$ . Nous observons aussi dans la Figure 4.10 que le shadow price du porteur 2 ( $p^2$ ) décroît quand  $10 \leq R_2 \leq 45$ , c'est-à-dire, seuls les utilisateurs VIP sont assignés par le porteur 2. En outre, nous constatons un saut de prix pour  $R_2 = 50$  puisque plusieurs utilisateurs sont considérés dans le processus d'allocation de ressources en débit. Nous observons aussi que le prix du porteur  $p^2$  décroît quand  $R_2$  augmente entre  $50 \leq R_2 \leq 150$ .



**Figure 4.09 :** Shadow price  $p^1$  avec  $60 \leq R_1 \leq 150$



**Figure 4.10 :** *Shadow price  $p^2$  avec  $10 \leq R_2 \leq 150$*

#### 4.7 Conclusion

On conclut donc dans cette partie que la meilleure solution pour la résolution du problème d'allocation de ressources consiste à introduire la technique d'agrégation de porteuses pour l'allocation de ressources d'un réseau cellulaire multi-porteur et aussi d'utiliser une technique de discrimination d'utilisateurs. La première partie de ce chapitre s'occupe de la partie théorique pour l'optimisation du problème d'allocation de ressources et la deuxième partie permette d'illustrer la performance de notre proposition d'algorithme pour l'optimisation du système en tenant compte du technique d'agrégation de porteuses ainsi que la discrimination des utilisateurs.

## CONCLUSION GENERALE

Récemment, il y a eu une augmentation massive des nombres d'utilisateurs, ainsi que leurs trafics. Le volume des trafics de données sont toujours doublés chaque année. Les ressources disponibles actuelles ne satisfont plus les besoins des utilisateurs à cause de la coexistence de plusieurs types d'applications pouvant être exécutés sur leurs mobiles. A cause de l'augmentation des trafics de données, on a besoin de plus de spectre et d'un outil permettant une meilleure gestion de celle-ci devient une nécessité pour les fournisseurs de services mobiles. Néanmoins, il s'avère être difficile de parvenir à satisfaire les besoins de ses utilisateurs vue la rareté de ses ressources en fréquence, surtout dans le cas du partage d'une seule bande de fréquences parmi les utilisateurs. Une solution fiable pour y parvenir et pour garantir un minimum de QoS aux utilisateurs est le recourt à une technique de discrimination des utilisateurs. Et avec l'implémentation de l'agrégation de porteuses, une très grande largeur de bandes de transmission entre l'eNodeB et les utilisateurs UEs s'achève en agrégeant plusieurs composantes porteuses pour la même ou différente bande passante.

Cet ouvrage présente donc un système d'allocation de ressources multi-étage avec discrimination des utilisateurs et agrégation de porteuses. Et la décision sur la sélection des porteuses se base sur le prix par unité de largeur de bande de la porteuse ou shadow price en anglais.

Dans le premier chapitre, on a parlé de l'évolution du réseau 4G vers 5G, tout en explicitant les caractéristiques des différentes générations des systèmes cellulaires en termes de débits et de services fournis à savoir : un service de voix pour 1G et 2G, une voix haute capacité avec un service de donnée limité pour 2,5G, une capacité vocale et de donnée pour 3G, un très haut débit de données plus un système de voix pour 4G, et un système ultra-haute capacité et ultra-haute vitesse pour 5G. Et concernant 5G, on peut s'attendre qu'avec l'impact des besoins des capacités de cellule supérieures, des besoins de débit de données de l'utilisateur final dues au flux multimédia UHD, aux exigences de latence extrêmement faible pour le cloud computing, 5G supporte des applications immersives qui requièrent des connexions sans fil à haute vitesse, un IoT pleinement réalisé, et l'expérience en latence plus faible.

Dans le second chapitre, on a pu s'initier sur la méthode d'agrégation de porteuses regroupant plusieurs bandes de fréquences et les attribués à un utilisateur, permettant ainsi une augmentation de la vitesse de données proportionnellement au nombre de porteuses. Trois techniques d'agrégation se coexistent à savoir : intra-bande contiguë, intra-bande non contiguë et inter-bandes non contiguë. On s'est familiarisé aussi sur les fonctions d'utilités, constitués d'une fonction d'utilité Sigmoidale,

et Logarithmique. Et aussi, on a cité quelques modèles d'allocations de ressources tels que l'équité Max-Min et l'équité proportionnel. Et cette partie se termine par un système du partage de spectre basé sur la classe d'utilisateur.

Dans le troisième chapitre, un système d'allocation de ressources uni-porteur avec discrimination d'utilisateur s'est introduite, en proposant dans cette partie une solution pour le cas d'un système d'allocation de ressources multi-étage avec des utilisateurs exécutant de multiples applications, et aussi un algorithme d'optimisation du système avec des simulations faites en Matlab et C++. Le système d'allocation de ressources présenté dans ce chapitre ne considère pas les ressources multi-porteuses disponibles dans l'eNodeB. Ceci résout seulement le cas du problème d'allocation de ressources uni-porteuse.

Dans le dernier chapitre, on s'est fixé sur la proposition d'un algorithme ou Framework, une meilleure solution pour le problème d'optimisation d'allocation de ressources multi-porteuses avec agrégation de porteuses, y compris les résultats de simulations justifiant la performance du système. Nous formulons donc un système d'allocation de ressources multi-étage combinant les techniques de discrimination d'utilisateur et d'agrégation de porteuses, une méthode allouant des ressources sur chacun des utilisateurs dans toutes les gammes de porteuses, en se basant sur une approche d'équité proportionnelle.

#### ***Applications :***

Cette optimisation d'allocation de ressources radio, doté d'un Framework ou algorithme, nous permet des applications dans les communications sans fil 5G, en vue d'un partage de ressources optimaux pour garantir aux utilisateurs un niveau de QoS satisfaisant et un débit optimal. Il est de plus grande intérêt d'utiliser plusieurs ressources porteuses en fonction des ressources disponibles et des débits d'applications requis.

#### ***Perspectives :***

Les différentes recherches faites précédemment nous amènent vers les perspectives suivantes :

- Une technique d'agrégation de blocs de ressources constitués de plusieurs composantes en porteuses est aussi très intéressante, ceci se fait en créant une planification des blocs de ressources et les alloués directement aux utilisateurs.
- Actuellement, l'utilisation de Machine Learning prend de grandes ampleurs, et l'implémentation de cette nouvelle technique dans la gestion des ressources devrait aussi satisfaire les besoins tant au niveau des fournisseurs qu'au niveau des utilisateurs.

## ANNEXE 1 LES ALGORITHMES UTILISES DANS LES SIMULATIONS

### A1.1 Les algorithmes de partage de spectre

- **Algorithme 1.1** : pour les utilisateurs en sécurité publique ou safety UEs

Envoi du bid initiale  $w_i(1)$  à l'eNodeB

Envoi du debit applications requis  $r_{i,s}^t$  à l'eNodeB

**loop**

**while**  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t \geq R$  un fanion reçu de l'eNodeB **do**

Reception shadow price  $p(n)$  de l'eNodeB

**if STOP then**

Calculer debit d'allocation  $r_{i,s}^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$

**else**

Résoudre  $r_{i,s}(n) = \arg \max_{r_{i,s}} (\log U_i(r_{i,s}) - p(n) \cdot r_{i,s})$

Envoi nouveau bid  $w_i(n) = p(n) \cdot r_{i,s}(n)$  à l'eNodeB

**end if**

**end while**

**while**  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t < R$  un fanion reçu de l'eNodeB **do**

Reception shadow price  $p(n)$  de l'eNodeB

**if STOP then**

Calculer debit d'allocation  $r_{i,s}^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$

**else**

Résoudre  $r_{i,s}(n) = r_i + r_{i,s}^t = \arg \max_{r_i} (\log U_i(r_i + c_i) - p(n)(r_i + c_i))$

Envoi nouveau bid  $w_i(n) = p(n)(r_i(n) + c_i(n))$  à l'eNodeB

**end if**

**end while**

**end loop**

**Figure A1.01** : *Algorithme de partage de spectre pour les utilisateurs en sécurité publique*

- **Algorithme 1.2** : pour les utilisateurs commerciaux ou commerciales UEs

```

Envoi du bid initiale  $w_i(1)$  à l'eNodeB
loop
  while  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t \geq R$  un fanion reçu de l'eNodeB do
    Debit d'allocation  $r_{i,c}^{opt} = 0$ 
  end while
  while  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t < R$  un fanion reçu de l'eNodeB do
    Reception shadow price  $p(n)$  de l'eNodeB
    if STOP then
      Calculer debit d'allocation  $r_{i,s}^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$ 
    else
      Résoudre  $r_{i,c}(n) = \underset{r_{i,c}}{arg \max}(\log U_i(r_{i,c}) - p(n) \cdot r_{i,c})$ 
      Envoi nouveau bid  $w_i(n) = p(n) \cdot r_{i,c}(n)$  à l'eNodeB
    end if end while end loop

```

**Figure A1.02** : Algorithme de partage de spectre pour les utilisateurs commerciaux

- **Algorithme 1.3** : pour l'eNodeB

```

Reception du bid initiale  $w_i(n)$  des UEs  $\{w_i(0) = 0 \forall i\}$ 
Reception du debit d'application requis de ceux des UEs en sécurité publique (VIP)
loop
  while  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t \geq R$  do
    Envoi du fanion  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t \geq R$  vers tous les UEs
    if  $|w_i(n) - w_i(n-1)| < \delta, i = \{1, \dots, M\}$  then
      STOP et alloue les debits  $r_{i,s}^{opt}$  aux UEs VIP
    else
      Calculer  $p(n) = \frac{\sum_{i=1}^M w_i(n)}{R}, i = \{1, \dots, M\}$ 
      Envoi nouveau shadow price  $p(n)$  aux UES VIP
    end if
  end while
  while  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t < R$  do
    Envoi du fanion  $\sum_{i=1}^M r_{i,s}^t \geq R$  vers tous les UEs
    if  $|w_i(n) - w_i(n-1)| < \delta, \forall i$  then
      STOP et alloue les debits  $r_{i,s}^{opt}$  ou  $r_{i,c}^{opt}$  aux  $i$  UEs
    else
      Calculer  $p(n) = \frac{\sum_{i=1}^{M+N} w_i(n)}{R}$ 
      Envoi nouveau bid  $w_i(n) = p(n) \cdot r_{i,c}(n)$  à l'eNodeB
    end if end while end loop

```

**Figure A1.03** : Algorithme de partage de spectre pour les utilisateurs commerciaux

### A.1.2 Les algorithmes d'allocation de ressources avec discrimination d'utilisateur

- **Algorithme 2.1** : pour les utilisateurs VIP

Envoi du bid initiale  $w_i(1)$  à l'eNodeB

Envoi du debit applications requis  $r_{ij}^t$  à l'eNodeB

**loop**

**while**  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t \geq R$  un fanion reçu de l'eNodeB **do**

Reception shadow price  $p(n)$  de l'eNodeB

**if STOP then**

Calculer debit d'allocation  $r_i^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$

**else**

Résoudre  $r_i(n) = \arg \max_{r_i} (\beta_i \log X_i(r_i) - p(n) \cdot r_i)$

Envoi nouveau bid  $w_i(n) = p(n) \cdot r_i(n)$  à l'eNodeB

**end if**

**end while**

**while**  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t < R$  un fanion reçu de l'eNodeB **do**

Reception shadow price  $p(n)$  de l'eNodeB

**if STOP then**

Calculer debit d'allocation  $r_i^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$

**else**

Résoudre  $r_i(n) = \arg \max_{r_i} (\beta_i \log X_i(r_i) - p(n)(r_i + \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t))$

Calculer nouveau bid  $w_i(n) = p(n)(r_i(n) + \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t)$

**if**  $|w_i(n) - w_i(n-1)| > \Delta w$  **then**

$w_i(n) = w_i(n-1) + \text{sign}(w_i(n) - w_i(n-1))\Delta w(n), \Delta w(n) = l_1 e^{\frac{n}{l_2}}$

**end if**

Envoi nouveau bid  $w_i(n)$  à l'eNodeB

**end if**

**end while**

**end loop**

**Figure A1.04** : Algorithme d'AR avec discrimination d'utilisateur, pour les UEs VIP

- **Algorithme 2.2** : pour les utilisateurs REGULIER

Envoi du bid initiale  $w_i(1)$  à l'eNodeB

**loop**

**while**  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t \geq R$  un fanion reçu de l'eNodeB **do**

    Debit d'allocation  $r_i^{opt} = 0$

**end while**

**while**  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t < R$  un fanion reçu de l'eNodeB **do**

    Reception shadow price  $p(n)$  de l'eNodeB

**if STOP then**

        Calculer debit d'allocation  $r_i^{opt} = \frac{w_i(n)}{p(n)}$

**else**

        Résoudre  $r_i(n) = \arg \max_{r_i} (\beta_I \log X_i(r_i) - p(n) \cdot r_i)$

        Calculer nouveau bid  $w_i(n) = p(n)r_i(n)$

**if**  $|w_i(n) - w_i(n-1)| > \Delta w$  **then**

$w_i(n) = w_i(n-1) + \text{sign}(w_i(n) - w_i(n-1))\Delta w(n), \quad \Delta w(n) = l_1 e^{\frac{n}{T_2}}$

**end if**

        Envoi nouveau bid  $w_i(n)$  à l'eNodeB

**end if**

**end while**

**end loop**

**Figure A1.05** : Algorithme d'AR avec discrimination d'utilisateur, pour les UEs REGULIER

- **Algorithme 2.3** : pour l'eNodeB



**loop**

Reception du bid  $w_i(n)$  des UEs  $\{w_i(0) = 0 \forall i\}$

Reception du debit d'application requis des UEs VIP

**while**  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t \geq R$  **do**

Envoi du fanion  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t \geq R$  vers tous les UEs

**if**  $|w_i(n) - w_i(n-1)| < \delta, i = \{1, \dots, M\}$  **then**

STOP et alloue les debits  $r_i^{opt}$  aux UEs VIP

**else**

Calculer  $p(n) = \frac{\sum_{i=1}^M w_i(n)}{R}, i = \{1, \dots, M\}$

Envoi nouveau shadow price  $p(n)$  aux UES VIP

**end if end while**

**while**  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t < R$  **do**

Envoi du fanion  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}^t < R$  vers tous les UEs

**if**  $|w_i(n) - w_i(n-1)| < \delta, \forall i$  **then**

STOP et alloue les debits  $r_i^{opt}$  aux  $i$  UEs

**else**

Calculer  $p(n) = \frac{\sum_{i=1}^{M+N} w_i(n)}{R}$

Envoi nouveau shadow price  $p(n)$  à tous les UEs

**end if**

**end while**

**end loop**

**Figure A1.06 :** *Algorithme d'AR avec discrimination d'utilisateur, pour l'eNodeB*

## ANNEXE 2 EXTRAITS DE CODES SOURCES

### A2.1 Les fonctions d'utilités représentant les applications utilisateurs : sigmoïde et logarithmique

```
n = 0:100;
L=length(n);
%%Sigmoidal Utility Function with a=5 and b=10, r_i=10%%
U1 = zeros(L,1);
for r = 1:L
U1(r) = ((1+exp(5*10))/exp(5*10))*((1/(1+exp(-5*(n(r)-10)))-
(1/(1+exp(5*10)))));
end
plot(n,U1, '-r+');
hold on
%%Sigmoidal Utility Function with a=3 and b=20, r_i=20%%
U2 = zeros(L,1);
for r = 1:L
U2(r) = ((1+exp(3*20))/exp(3*20))*((1/(1+exp(-3*(n(r)-20)))-
(1/(1+exp(3*20)))));
end
plot(n,U2, '-go');
hold on
%%Sigmoidal Utility Function with a=1 and b=30, r_i=30%%
U3 = zeros(L,1);
for r = 1:L
U3(r) = ((1+exp(1*30))/exp(1*30))*((1/(1+exp(-1*(n(r)-30)))-
(1/(1+exp(1*30)))));
end
plot(n,U3, '-m*');
hold on
%%Logarithmic Utility Function with k=15, r_i_max=100%%
U4 = zeros(L,1);
for r = 1:L
U4(r) = log(1+(15*n(r)))/log(1+(15*100));
end
plot(n,U4, '-cx');
hold on
%%Logarithmic Utility Function with k=3, r_i_max=100%%
U5 = zeros(L,1);
for r = 1:L
```

```

U5(r) = log(1+(3*n(r)))/log(1+(3*100));
end
plot(n,U5, '-bd');
hold on
%%Logarithmic Utility Function with k=0.5, r_i_max=100%%
U6 = zeros(L,1);
for r = 1:L
U6(r) = log(1+(0.5*n(r)))/log(1+(0.5*100));
end
plot(n,U6, '-kv');
ylim([0 1]);
I=legend('Sig1 a = 5, b = 10', 'Sig2 a = 3, b = 20', 'Sig3 a =1, b = 30', 'Log1
k = 15', 'Log2 k = 3', 'Log3 k = 0.5', 'Interpreter', 'latex');
set(I, 'interpreter', 'latex');
xlabel('$r_{i}$', 'Interpreter', 'latex');
ylabel('$U_{i}(r_{i})$', 'Interpreter', 'latex');
title('Users applications utility fonctions');

```

## A2.2 Calculs du débit d'allocation et du shadow price

```

#include <TCanvas.h>
#include <TGraph.h>
#include <TApplication.h>
#include <TMultiGraph.h>
#include<iostream>
#include <math.h>
#include <cmath>
#include <string>
#include <TLegend.h>
using namespace std;
const float lamda = (float) 0.001;
float low = (float) 0.01;
float rate_all1[4][60];
float rate_all2[4][40];
float rate_optimal_all2[2][40];
float rate_optimal_all[4][60];
float rate_optimal_all_R[4][15];
float rate_optimal_all2_R[2][30];
int counter = 0;
float rate_optimal_all_R_C1[4][15];
float rate_optimal_all_R_C2[8][15];
float carrier1_rates[8];

```

```

float price1[15];
float price1C1[15];
float price2[15];
//-----//
float shadowPrice(float arr1[],float Rate,int N_users)
{
    float sum = 0.0,price;
    for(int i = 0; i<N_users; i++)
    {
        sum += arr1[i];
    }
    price = sum/Rate;
    return price;
}
void rateCalc1(int time, float rate1)
{
    float weight[4] = {10,10,10,10};
    float prev_Weight[4] = {0,0,0,0};
    float p_n;
    float p_prev = 0;
    float k_i[4] = {3,.5,15,.5};
    float a_i[4] = {3,1,5,1};
    float b_i[4] = {20,30,10,30};
    float opt1[4] = {0,30,0,15};
    float opt2[4] = {0,0,0,0};
    float rateArray[4] = {0,0,0,0};
    float R=rate1;
    float weight2[4] = {0,0,0,0};
    float r_i_optimal[4];
    int N_users = 4;
    int counter= 0;
    p_n = shadowPrice(weight,R,N_users);
    while (((abs(weight[0] - prev_Weight[0]) >= lamda) || (abs(weight[1] - prev_Weight[1]) >=
    lamda) || (abs(weight[2] - prev_Weight[2]) >= lamda) || (abs(weight[3] - prev_Weight[3])
    >= lamda)))
    {
        for(int i = 0; i <4; i++)
        {
            r_i_optimal[i] = weight[i]/p_n;
        }
    }
}

```

```

for(int j = 0; j<2; j++)
{
    rateArray[j] = get_roots1(a_i[j],b_i[j],p_n,opt1[j],opt2[j],R)+opt1[j];
}
for(int j = 2; j<4; j++)
{
    rateArray[j] = get_roots2(k_i[j-2],p_n,opt1[j],opt2[j],R)+opt1[j];
}
for(int k = 0; k<4; k++)
{
    prev_weight[k] = weight[k];
}
for(int k = 0; k<4; k++)
{
    weight2[k] = p_n * rateArray[k];
}
for(int k = 0; k<4; k++)
{
    float exp = (float) 2.718281828459;
    float Del_W = 5*pow(exp, (-counter/10));
    if (abs(weight2[k]-prev_weight[k])>Del_W){weight[k] = prev_weight[k]+(((weight2[k] -
prev_weight[k])/abs(weight2[k]-prev_weight[k]))*Del_W);
}
else
    weight[k] = weight2[k];
}
p_prev = p_n;
p_n = shadowPrice(weight,R,N_users);
counter++;
}
for(int i=0;i<4;i++)
{
    rate_optimal_all_R[i][time]=rateArray[i];
    rate_optimal_all_R_C1[i][time]=rateArray[i];
}
price1[time]=p_n;
price1C1[time]=p_n;
}

```

## BIBLIOGRAPHIES

- [1] S. Hussain, « *An innovative RAN architecture for emerging heterogeneous networks: The road to the 5G area* », 2014.
- [2] H. Benn, « *Vision and key features for 5th generation (5G) cellular: Samsung* », 2014.
- [3] A. Ghosh, R. Ratasuk, B. Mondal et Al, « *LTE-Advanced : Next-Generation Wireless Broadband Technology* », IEEE Wireless Communications, 2010, p. 10–22.
- [4] Cisco, « *Cisco Networking index: Global mobile data traffic forecast update* », Cisco, 2014.
- [5] L. Liu, R. Chen et S. Geirhofer, « *Downlink MIMO in LTE-Advanced : SU-MIMO vs MU-MIMO* », IEEE Communications Magazine, 2012, p. 140–147.
- [6] DMC R&D Center, « *Samsung electronics 5G Vision* », White Paper, 2015.
- [7] F. Hu, « *Opportunities in 5G Networks* », CRC Press, 2016.
- [8] Arcep, « *Les enjeux de la 5G* », 2017.
- [9] N. Panwar, S. Sharma et K. Singh, « *A Survey on 5G: The Next Generation of Mobile Communication* », vol. I, arXiv, 2015.
- [10] X. Constandinos, G. Mastorakis et C. Dobre, « *Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era* », Springer, 2017.
- [11] S. Qaiyum, « *Analysis of big data and quality-of-experience in high density wireless network* », 2016.
- [12] F. L. Luo et C. Zhang, « *Signal processing for 5G algorithms and implementations* », WILEY, IEEE PRESS, 2016, p. 509-534.
- [13] M. Ghorbanzadeh et Al, « *Cellular Communications Systems in Congested Environments* », Springer, 2017.
- [14] W. Utschick, H. Boche et R. Mathar, « *Fundamentals of resource allocation in wireless Networks* », 3e éd., Springer, 2015.
- [15] R. Kurrle, « *Resource allocation for smart phones in 4G LTE advanced carrier aggregation* », 2012.
- [16] H. Shajaiah, A. Abdelhadi et C. Clancy, « *Resource Allocation with Carrier Aggregation in Cellular Networks* », Springer, 2017.

- [17] A. Abdelhadi et C. Clancy, « *A utility proportional fairness approach for resource allocation* », IEEE International Conference on Computing, Networking, and Communications, 2014.
- [18] Nokia, « *Enhance mobile networks to deliver 1000 times more capacity by 2020* », 2013.
- [19] M. Lahsen et C. Iyad, « *Spectral and Energy Efficiency in 5G Wireless Networks* », HAL, 2017.
- [20] A. Kumar, A. Abdelhadi et T. Clancy, « *Delay efficient multiclass packet scheduler for heterogeneous M2M uplink* », IEEE MILCOM, 2016.
- [21] Y. Wang et A. Abdelhadi, « *Optimal power allocation for LTE users with different modulations* », IEEE, 2016.

## FICHE DE RENSEIGNEMENTS

**Nom** : RASOANAIVO

**Prénom** : Andrianirina

**Tel** : +261 34 46 298 00

**E-mail** : rasoanaivoandrianirina@gmail.com

**Adresse de l'auteur** : Lot O2-F-78 Tomboarivo Mahafaly  
Antsirabe 110 – Madagascar



**Titre du mémoire** :

**« OPTIMISATION DU SYSTEME D'ALLOCATION DE  
RESSOURCES POUR LE RESEAU 5G »**

**Nombre de pages** : 80

**Nombre de tableaux** : 6

**Nombre de figures** : 42

**Directeur de mémoire** :

**Nom** : RAJAONARISON

**Prénoms** : Roméo

**Grade** : Maître de conférences, Enseignant-chercheur

**Tel** : +261 34 64 761 10

**E-mail** : rajaonarisonromeo11@gmail.com



## **RESUME**

L'objectif de ce mémoire est la mise en œuvre d'un système d'allocation de ressources qui permettrait d'optimiser la capacité, le débit de donnée, et l'expérience des utilisateurs du futur réseau de communication sans fils 5G, en terme d'allocation de ressources radio et améliorant ainsi l'utilisation et le partage de spectre. Cet ouvrage se centralise sur le développement d'un framework ou algorithme d'allocation de ressources, basé sur la méthode d'agrégation de porteuses afin d'allouer, de façon optimale, un ou plusieurs porteurs parmi les utilisateurs mobiles avec des trafics élastique ou inélastique dans un réseau cellulaire mobile. Et chaque utilisateur est assuré par un minimum de qualité de service, se basant sur les types d'application exécuté dans les UEs.

### **Mots clés :**

Allocation de ressources, partage de spectres, agrégation de porteuses, discrimination des utilisateurs, équité proportionnelle utilitaire.

## **ABSTRACT**

The goal of this book is the implementation of an efficient resources allocation system that would significantly improve capacity, data rates, and users experience of the future wireless communication network 5G, in terms of resources allocation radio and then improving spectrum's use and sharing. This book focusses on providing optimal resources allocation framework based on carrier aggregation to allocate single or multiple carriers' resources efficiently among mobile users with elastic and inelastic traffic in mobile cellular networks. Each user is guaranteed a minimum quality of service that varies based on the UEs' application types.

### **Keywords:**

Resources allocation, spectrum sharing, carriers aggregation, users discrimination, utility proportional fairness.