

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI

TIZI-OUZOU

FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE



Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du

*Diplôme de Master Académique*

Option : Télécommunications et réseaux

*Thème :*

*Performance de l'interface Radio des réseaux*

*LTE*

Présenté par :

Mr. ATTALAH Mohamed  
Amine

Encadré par :

Mr. AITBACHIR Youcef

Promotion

2013

# Remerciements

*Je remercie tout d'abord, Allah qui m'a donné la force et le courage de parvenir à élaborer ce modeste travail.*

*J'adresse mes remerciements à mon Directeur: **Mr. Cherif Djedjai**, Directeur général de l'Agence Nationale des Fréquences; pour avoir accepté ma demande de permission d'étudier, ce qui pour moi est un grand honneur.*

*Je tiens aussi à remercier mon encadreur : Mr. Aitbachir Youcef Maître assistant à l'UMMTO et témoigner de toute mes reconnaissance pour son aide consistante, ses conseils judicieux, et pour ses remarques objectives et surtout pour sa gentillesse permanente.*

*Je profite de cette opportunité pour exprimer mon gratitude à tous mes enseignants qui ont contribué par leurs collaborations, disponibilité et sympathie durant toute ma formation.*

*ATTALAH Mohamed Amine*

# Sommaire

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I: Aperçu de la technologie LTE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Processus de normalisation du LTE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Présentation du 3GPP (3rd Generation Partnership Project).....</b>	<b>3</b>
<b>4. Les motivations pour l'introduction du LTE .....</b>	<b>5</b>
<b>5. Pourquoi le LTE?.....</b>	<b>6</b>
<b>6. Les différentes normes téléphoniques .....</b>	<b>7</b>
<b>7. Evolution des réseaux des opérateurs.....</b>	<b>8</b>
<b>8. Présentation de l'architecture du système.....</b>	<b>12</b>
<b>9. Caractéristiques du réseau cœur SAE.....</b>	<b>12</b>
<b>10. Caractéristiques et entités du réseau EPS .....</b>	<b>13</b>
<b>11. Les grandes fonctions assurées par l'EPS .....</b>	<b>14</b>
a) UE .....	15
b) Entité eNodeB : .....	15
c) Entité MME (Mobility Management Entity) .....	16
d) Entité Serving GW (Serving Gateway) .....	17
e) Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway).....	17
f) Entité HSS (Home Subscriber Server) .....	17
g) Entité PCRF (Policy & Charging Rules Function) .....	18
<b>Chapitre II: Interface Radio du LTE .....</b>	<b>19</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Rappels sur le canal radio.....</b>	<b>20</b>
a) Les modes de duplexage:.....	20
<b>3. L'architecture de l'interface radio .....</b>	<b>22</b>
a) Les protocoles des plans usager et de contrôle .....	22
b) Etudes des couches :.....	23
c) Etudes des interfaces .....	25
<b>4. Les canaux logiques, de transport et physiques .....</b>	<b>30</b>
a) Les canaux logiques.....	31
b) Les canaux de transport.....	32

c) Les canaux physiques.....	33
d) Association des différents canaux.....	35
5. Structure de trame et dimension fréquentielle.....	35
6. La dimension fréquentielle en LTE.....	37
7. Principe de l'OFDM.....	39
Les avantages de l'OFDM.....	40
<b>Chapitre III : La Qualité de Service (QoS) et la Gestion des Ressources Radio .....</b>	<b>42</b>
1. Gestion de la qualité de service dans les réseaux LTE (Qos).....	42
a) Bearer par défaut et bearer dédié .....	44
2. Gestion des ressources radio RRM (Radio Resource Management).....	46
a) Les contraintes d'allocation des ressources.....	46
b) Technique d'allocation des ressources radios .....	46
c) Paramètres de la gestion des ressources radio .....	47
d) Model simplifié de l'ordonnanceur des paquets.....	48
e) Algorithmes d'allocation des ressources radio .....	49
<b>I. CHAPITRE IV : Simulation et Résultats expérimentaux .....</b>	<b>52</b>
1. Introduction :.....	52
2. Le simulateur LTE-SIM .....	52
3. Fonctionnalités .....	53
4. Structure du logiciel.....	53
5. Présentation des différentes étapes de création des scenarios .....	54
6. Gestion de la mobilité des utilisateurs dans LTE-Sim .....	54
a) Le modèle Randon Walk.....	54
b) Le modèle aléatoire de direction (Randon Direction) .....	55
c) Le modèle Randam Way Point .....	55
d) Le modèle Constant Position .....	55
e) Le modèle de Manhattan .....	55
7. Présentation de l'ensemble des scenarios prédéfinis sur le logiciel .....	55
Description des Paramètres pertinents des scenarios.....	56
8. Exemple de simulation de scenario.....	56
9. Interprétation et exploitation des résultats de simulation .....	57
• Interprétation des résultats de la simulation.....	57

•	<b>Exploitation des résultats</b> .....	58
<b>10.</b>	<b>Scénario de la simulation</b> .....	58
	Paramètres de la simulation .....	58
	Définition .....	59
<b>11.</b>	<b>Résultats obtenus et interprétation</b> .....	59
	<b>A. Courbe 1</b> .....	59
	Interprétation .....	60
	<b>B. Courbe 2</b> .....	60
	Interprétation: .....	60
	<b>C. Courbe 3</b> .....	61
	Interprétation .....	61
	<b>D. Courbe 4</b> .....	62
	Interprétation .....	62
	<b>E. Courbe 5</b> .....	63
	Interprétation .....	63
	<b>F. Courbe 6</b> .....	64
	Interprétation .....	64
<b>12.</b>	<b>Conclusion :</b> .....	65
	<b>Conclusion Générale</b> .....	66
	<b>Références</b> .....	67

# Liste des figures

Figure I-2 : Evolution du 3G vers LTE .....	8
Figure I-3 : Architecture du réseau GSM .....	9
Figure I-4 : Le réseau GSM et GPRS.....	10
Figure I-5 : Architecture du réseau 3G.....	11
Figure I-6 : Architecture du réseau LTE.....	12
Figure I-7 : Architecture de l'EPS.....	13
Figure I-8: User Equipment .....	15
Figure I-9 : les interfaces de E-UTRAN.....	16
Figure II-1 : Plan usager et plan de contrôle.....	23
Figure II-2 : La modélisation en couches protocolaires de l'interface radio .....	23
Figure II-3 : les interfaces du LTE .....	25
Figure II-4 : l'importance de l'interface S1.....	27
Figure II-5: La connectivité Access-Core traditionnelle et le S1-flex.....	29
Figure II-6 : les canaux de l'interface radio LTE et leurs imbrication .....	31
Figure II-7 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montante .....	35
Figure II-8 Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descendante.....	35
Figure II-9 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex.....	36
Figure II-10 : Structure de trame en TDD .....	36
Figure II-11 : Grille de ressources temps-fréquences en voies montante et descendante.....	38
Figure II-12 : Bande du canal et bande du system .....	39
Figure II-13 : Caractéristiques essentielles d'un signal OFDM en fonction de la fréquence et du temps..	41
Figure III-1 : Gestion de la QoS dans les réseaux radio mobiles. ....	42
Figure III-2 : les différents types de bearers.....	44
Figure III-3 : Utilisation des TFT dans le sens UL et DL pour le multiplexage des données sur le plan usager.....	45
Figure III-4 : Interaction des principales caractéristiques de la gestion des ressources radios. ....	48
Figure III-5 : Model simplifié de l'ordonnanceur des paquets.....	49
Figure IV-1 : Exemple des résultats de simulations.....	57

# Liste des Tableaux

Tableau I-1: Caractéristiques du LTE .....	6
Tableau I-2 : Catégories de terminaux LTE (3GPP rel.8) .....	15
Tableau II-2 : Canaux logiques fournis par la couche MAC .....	32
Tableau II-3 : Canaux de transport fournis par la couche physique .....	33
Tableau II-4 : Canaux physiques pour la voie montante .....	34
Tableau II-5 : Canaux physiques pour la voie descendante .....	34
Tableau II-6 : Configurations voie montante (U)/voie descendante (D). S note la sous-trame spéciale....	37
Tableau II-7 : Largeur de bande du system en nombre de PRB.....	38
Tableau III-1 : Caractéristique de QCI .....	45
Table III-2.....	51
Table IV-1 : Paramètres de la simulation .....	58

## Introduction Générale

---

Le monde des technologies mobiles offre une innovation permanente. Ainsi, les déploiements de la 3,5G (HSDPA, HSUPA) sont à peine initiés, que les organismes de normalisation planchent déjà sur la génération suivante. Le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) travaille sur le concept du Long Term Evolution (LTE) afin d'offrir un système de communication dont les temps de latences seraient faibles, un débit plus important et une meilleure efficacité spectrale en introduisant de nouveaux schémas de codages radio très sophistiqués.

Ce système devrait inter opérer avec les systèmes existants : ce qui apporte une grande difficulté aux fabricants de portables qui devront développer des modèles multi-modes capables de « s'accrocher » à tout type d'accès radio sans décharger trop rapidement leurs batteries, le tout pour un coût restant accessible pour le grand public.

Le but du système LTE est d'arriver à une technologie radio d'accès évoluée offrant des services de haut débit, tout en satisfaisant les contraintes technologiques présentes. C'est pourquoi, il a été proposé pour diverses raisons que sur la voie descendante, la technique d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) soit utilisée. En revanche sur la voie montante, on utilisera la technique SC-FDMA (Single Carrier FDMA).

Dans le cadre de mon projet de fin d'études je propose d'étudier l'interface air dans LTE et pour cela, j'ai structuré mon travail comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une présentation des avantages et les motivations de la technologie LTE, historique et évolution de GSM pour arriver au LTE, une présentation de l'architecture générale du système tout en définissant les différentes entités le constituant et une brève description de leurs rôles.

Le second chapitre, décrit les aspects radio de l'interface Air. Je présenterais d'abord les modes de duplexages radio, l'architecture de l'interface air, étude des couches et les interfaces radios ainsi que les canaux logiques et physiques utilisés dans LTE, puis on passera à l'étude des dimensionnements fréquentiels et on terminera par la technique modulation OFDM utilisée en Downlink.

Ensuite, dans le troisième chapitre, j'étudierais la gestion de la qualité de service, en présentant la gestion des bearers radio et la gestion d'allocation des ressources radio en décrivant les techniques d'ordonnancement d'allocation des ressources.

Quant au dernier chapitre, je présenterais des études comparatives des algorithmes de la gestion d'allocation des ressources radio, on utilisant le logiciel LTE-SIM qui m'a permis de modéliser une liaison de bout en bout de la couche physique LTE en Downlink. Après la modélisation on change les algorithmes afin de voir la variation des métriques (le retard des

paquets, taux de perte des paquets et le débit) en fonction du nombre des utilisateurs et on terminera par une conclusion pour faire évaluation des résultats obtenus.

# CHAPITRE I

---

## Aperçu de la technologie LTE

---

## Chapitre I: Aperçu de la technologie LTE

### 1. Introduction

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), basée sur le W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) a été déployée à travers le monde entier, ce qui reflète son succès. Pour s'assurer que ce système garde sa compétitivité dans le futur, en novembre 2004 la 3GPP a entamé un projet pour définir et normaliser l'évolution à long terme de la technologie cellulaire UMTS. Les spécifications relatives à cet effort sont formellement connues sous les noms d'E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) et E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) qu'on appelle brièvement LTE (Long Term Evolution). La 1ère version de LTE a été publiée dans la version n° 8 (release 8) des publications de la 3GPP.

Les exigences principales de 3GPP pour LTE sont la réduction du coût par bit, l'augmentation de la prestation de services - plus de services à moindre coût avec une meilleure expérience utilisateur, une utilisation flexible des nouvelles et existantes bandes de fréquences, une architecture réseau plus simplifiée, la réduction de la consommation d'énergie par les terminaux mobiles. Ces exigences seront détaillées ultérieurement.

### 2. Processus de normalisation du LTE

À l'instar de l'UMTS, le LTE a été défini par l'ensemble des entreprises partie prenante dans le marché mondial des télécommunications mobiles, regroupées au sein du 3GPP.

### 3. Présentation du 3GPP (3rd Generation Partnership Project)

Le 3GPP est un consortium créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Le 3GPP a pour objectif de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents. Contrairement à ce que son nom suggère, le champ d'activités du 3GPP ne se limite pas à la normalisation de systèmes 3G. Son rôle consiste à maintenir et développer les spécifications des systèmes :

- GSM/GPRS/EDGE ;
- UMTS (FDD et TDD) ;
- LTE, ainsi que celles du réseau cœur EPC.

Le 3GPP est composé d'un groupe de coordination appelé PCG (Project Coordination Group) et de différents groupes de spécifications techniques appelés TSG (Technical Specification Groups). On retrouve quatre TSG au sein du 3GPP :

- le CT (Core Network and Terminals) qui normalise les interfaces du terminal ainsi que ses capacités et est également en charge de la normalisation des réseaux cœurs des systèmes 3GPP ;

- le GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) qui développe l'accès radio GSM/EDGE et les interfaces associées permettant l'interconnexion avec les réseaux d'accès UMTS et LTE ;
- le RAN (Radio Access Network) qui est en charge des spécifications des réseaux d'accès UMTS et LTE ;
- le SA (Services and System Applications) qui définit les services ainsi que l'architecture globale des systèmes 3GPP.

Le 3GPP définit toutes les couches de chacun de ses systèmes de communication. En outre, le 3GPP normalise les méthodologies de test des équipements mettant en œuvre ses technologies. Les tests sont particulièrement importants afin de vérifier qu'un équipement est conforme aux spécifications avant sa mise sur le marché, et pour vérifier qu'il satisfait des critères de performance minimaux.

Il convient d'indiquer que le 3GPP n'est pas un organisme de normalisation en tant que tel. Il définit des spécifications techniques qui sont par la suite approuvées et publiées par des organismes de normalisation régionaux, propres à un pays ou une région du monde. On peut citer six organismes de normalisation principaux qui travaillent à la publication de ces normes :

- ARIB (Association of Radio Industries and Business) et TTC (Telecommunication Technology Committee) pour le Japon ;
- ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions) pour les États-Unis ;
- CWTS (China Wireless Telecommunication Standard Group) pour la Chine ;
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute) pour l'Europe ;
- TTA (Telecommunication Technology Association) pour la Corée du Sud.



**Figure I-1 : Organisation en charge de la normalisation des spécifications 3GPP**

Les TSG sont eux-mêmes répartis en sous-groupes de travail. Ces groupes et sous-groupes sont formés de représentants des acteurs (principalement industriels) du monde

des réseaux mobiles, qui se réunissent plusieurs fois par an. Ces acteurs doivent impérativement être membres de l'un des organismes de normalisation partenaires du 3GPP. On y retrouve notamment des constructeurs de circuits électroniques, des constructeurs de terminaux mobiles, des constructeurs d'infrastructures de réseau et des opérateurs de réseaux mobiles. Les spécifications sont définies sur la base de contributions proposées et présentées par les membres individuels, discutées et souvent modifiées afin d'aboutir à un consensus.

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées à une Release. Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini douze Releases entre 1998 et 2013 :

- Release 97 : définition du GPRS ;
- Release 99 : introduction de l'UMTS ;
- Release 4 : ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit ;
- Release 5 : introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS ;
- Release 6 : introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS ;
- Release 7 : introduction du HSPA+ MIMO ;
- Release 8 : introduction des évolutions HSPA+ CPC et DC-HSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC ;
- Release 9 : évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, et introduction du DC-HSUPA ; seconde Release du LTE ;
- Release 10 : évolution multiporteuse du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée LTE-Advanced.
- La Release 11 : définit une nouvelle technique de transmission pour combattre l'interférence multi-cellulaire et atteindre de meilleures performances notamment en termes de débit des utilisateurs en bordure de cellule.
- La Release 12 : concerne les récentes extensions (Augmentation de la capacité - économies d'énergie - Rentabilité - Nouvelle applications ...)

Le lecteur pourra se rendre à l'adresse <http://www.3gpp.org/> pour obtenir plus d'informations concernant l'organisation et les objectifs du 3GPP.

#### 4. Les motivations pour l'introduction du LTE

L'émergence du LTE est liée à une conjonction de facteurs techniques et industriels qui sont décrits dans au sein de cette section, LTE vise à atteindre les objectifs suivants :

- ✓ **Débit de données** : Amélioration des débits dans les liaisons montantes et descendantes deux à trois fois plus important que celui de l'UMTS/HSPA comme mentionné dans le tableau (I-1).

- ✓ **Largeur de Bande** : une largeur de Bande extensible de 1.4 à 20 MHz dans la liaison montante et descendante.
- ✓ **Efficacité spectrale** :(nombre de bits transmis par seconde par hertz)une efficacité spectrale meilleure que HSPA avec une amélioration de 3 à 4 fois dans la voie descendante et de 2 à 3 fois dans la voie montante et ceci est rendu possible grâce à l'utilisation de l'OFDMA.
- ✓ **Faible latence** :(Round Trip Time) proche de 10 ms (contre 70 ms à 200 ms en HSPA et UMTS).
- ✓ **Mobilité** : Optimisation des performances pour les mobiles ayant des vitesses entre 0 et 15 Km/h et gère avec de hautes performances les mobiles ayant des vitesses entre 15 et 120Km/h et il est fonctionnel pour les vitesses entre 120 et 350 Km/h, et les vitesses entre 350 et 500 Km/h sont en phase d'étude.
- ✓ **Coexistence** : Coexistence avec les normes antérieures toute en évoluant vers un réseau tout-IP : la coexistence avec les systèmes existants d'UTRAN/GERAN et les systèmes non-3GPP, les terminaux multi-modes doivent supporter les Handover entre UTRAN et GERAN. Le temps d'interruption pour un Handover entre E-UTRAN et UTRAN/GERAN doit être inférieur à 300ms pour les services à temps réels et moins de 500ms pour les autres services.
- ✓ **Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales** : Comme la technologie LTE pourra opérer sur des bandes de fréquences diverses et notamment basses comme celle des 700 MHz, il sera possible de considérer des cellules qui pourront couvrir un large diamètre.
- ✓ Support du multicast notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast.

		LTE	IMT-advanced	LTE-advanced
<b>Débits</b>	DL	100 Mb/s		1 Gb/s
	UL	50 Mb/s		500Mb/s
<b>Largeur de canal</b>		1.4 à 20 MHz	→ 40 MHz	→ 100 MHz
<b>Latence</b>	données	10ms	10ms	10ms (RTT)
	session	100ms	100ms	50ms
<b>Efficacité spectrale</b>	Max	5.0 / 2.5 b/s/Hz	15 / 6.75 b/s/Hz	30 / 15 b/s/Hz
	Moyen	1.8 / 0.8 b/s/Hz	2.2 / 1.4 b/s/Hz	2.6 / 2.0 b/s/Hz
	En limite	0.04 / 0.02 b/s/Hz	0.06 / 0.03 b/s/Hz	0.009 / 0.07 b/s/Hz

Tableau I-1: Caractéristiques du LTE

## 5. Pourquoi le LTE?

Alors que les débits et l'interactivité n'intéressent de prime abord que les utilisateurs (et les commerciaux pour vanter le LTE), nous verrons dans ce projet les avantages du LTE pour l'opérateur, et les raisons qui ont poussé les équipementiers et les opérateurs à la mise en place du LTE.

Dans les faits, la téléphonie mobile a réellement inondé le marché, le LTE est planifiée en 2013/2014 en Algérie, des projets pilotes et des tests en environnement réels ont démarré fin de 2013 au Cyberparc de Sidi Abdellah Alger pour le LTE, mais la couverture nationale (plus de 90% de la population couverte) ne sera pas assurée avant 2015-2016.

La 4G, ou LTE-Advanced s'appuie sur le LTE. Par abus de langage, certains parlent du LTE en considérant que c'est de la 4G. En réalité, le LTE est une norme dite 3.9G car elle ne répond pas aux spécifications imposées par la norme 4G. D'un point de vue technique, il y a peu de différences entre le LTE et le LTE-Advanced.

### 6. Les différentes normes téléphoniques

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il me semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques : cela a pour avantage d'une part de savoir de quoi on est parti pour mieux se positionner à l'heure actuelle et d'autre part de voir l'évolution en matière pratique du réseau structurant de l'opérateur.

#### Les années 80

La 1ère génération des téléphones mobiles a débuté dans le début des années 80 en offrant un service médiocre de communication mobile, médiocre mais très coûteux. La 1G avait beaucoup de défauts : Des normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (on pouvait écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau autre que celui de son opérateur).

#### Les années 90

Dans les années 90, le GSM est apparu. Il s'agit de la norme 2G, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage). La norme est mondiale, elle autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM. Le GSM permettait aussi l'émission de SMS (limités à 80 caractères). Le principe du GSM durant cette période s'appuie sur une connexion dite orientée circuit, déjà utilisée par la téléphonie fixe. L'avantage de cette connexion est d'ouvrir un faisceau entre l'appelant et l'appelé qui ne sera fermé qu'en fin de communication, l'appelle s'établit pendant la tonalité de mise en relation, puis est maintenue pendant toute la communication. L'inconvénient est l'utilisation d'un faisceau même si vous ne parlez pas (et quand bien même vous parlez, lorsqu'on communique, il y a plus de 60% de blancs lors de notre conversation), c'est à dire que le faisceau vous est réservé alors que vous ne transmettez rien. L'avantage et la raison de ce choix est que la conversation arrive dans le bon ordre.

Le GSM a connu un énorme succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des mini-messages.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, de nouvelles techniques de modulations et de codages ont permis d'accroître le débit et les premières connexions IP sont apparues (GPRS, EDGE).

### Les années 2000

La 3G a été impulsée par les exigences de l'IMT-2000 du l'UIT pour permettre des applications vidéos sur le mobile. Une application vidéo nécessite un débit environne 300 kbps. Les applications visées étalaient la possibilité de regarder (youtubes, de la visiophonie, ... etc), l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).

La 3G a commencé à s'introduire sur le marché à partir de la version 3.5, celle-ci, nommée HSDPA (3G+) a permis d'augmenter le débit descendant. Puis est arrivé le HSUPA pour augmenter le débit montant et enfin le HSPA et HSPA+.

L'accès aux services de connexions à internet et surtout de messagerie s'est peu à peu installé dans les habitudes des utilisateurs. Les terminaux se sont améliorés (Smartphone,..) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

Succédant à la 3G et aux évolutions de cette norme (HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+)FigureI-1, le LTE apparait avant tout comme une rupture technique :

- Nouvelle Interface radio basée sur un multiplexage d'accès OFDMA
- Modification de l'Architecture réseau existant afin de fournir une connexion tout IP.

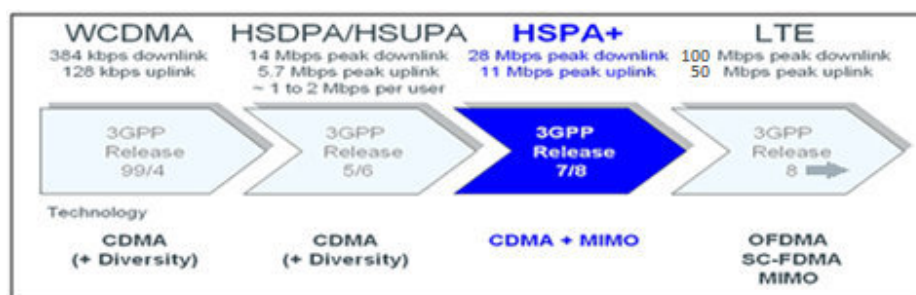


Figure I-2 : Evolution du 3G vers LTE

### 7. Evolution des réseaux des opérateurs

Nous allons nous intéresser maintenant au réseau téléphonique de l'opérateur concernant la 2G. Pourquoi? Pour comprendre encore mieux les éléments qui ont été introduits dans le réseau, et les modifications apportées au fil des années (des normes).

Initialement, pour la 1G le réseau était composé une antenne (appelée station de Base ou BTS en Anglais), d'un centre de commutation nommé MSC et le trafic était envoyé sur le réseau fixe.

Puis, un contrôleur intelligent a été placé entre la BTS et le MSC dont le rôle est de définir les liens (faisceaux radio) pour acheminer les appels (Hopping car le BSC gère plusieurs BTS, gestion des liaisons, ...)

Le mobile, le BTS et le BSC forment la sous partie radio, nommée BSS (Base Station Subsystem) Figure I-3.

### Le sous-système réseau : Le NSS

Le BSC est connecté au commutateur, lequel est relié au système téléphonique fixe de l'opérateur (PSTN). Si on vous appelle d'un poste fixe, l'appel sera acheminé jusqu'au MSC puis transmis à la BSC et enfin à la BTS sur laquelle vous êtes connecté, pour cela il est nécessaire de savoir sur quelle BTS vous êtes "connecté". Afin de transférer l'appel vers le bon commutateur (MSC), une base de données (nommée VLR) est associée à chaque commutateur MSC. Ainsi, si quelqu'un vous appelle, on cherche dans quelle VLR/MSC vous êtes enregistré. Ensuite le MSC soumet l'appel à la BSC et une procédure de recherche (nommé Paging) permet de définir avec exactitude les BTS avec lesquelles vous pouvez communiquer.

En ce qui concerne l'enregistrement au niveau de la VLR, si votre mobile est allumé, il communique périodiquement avec la BTS. Si vous éteignez votre téléphone, le VLR conserve votre position (dans plus de 99% des cas, lorsque l'abonné éteint et rallume son téléphone, celui-ci se trouve toujours connecté à la même MSC).

Une autre base de données existe, elle s'appelle la HLR; c'est un espace protégé, redondé qui contient toutes les informations du mobile et du client (numéro de mobile, le numéro de la carte SIM,...) et qui pointe vers la MSC où vous êtes enregistrés. Ainsi, quand un appel vous êtes destinés, la première étape consiste à lire au niveau du HLR dans quelle VLR vous avez été "vu" la dernière fois.

Le HLR contient donc toutes les informations du client, il existe d'autres bases, comme l'EIR qui contient le numéro d'identification du mobile (IMEI), un centre d'authentification (AuC).

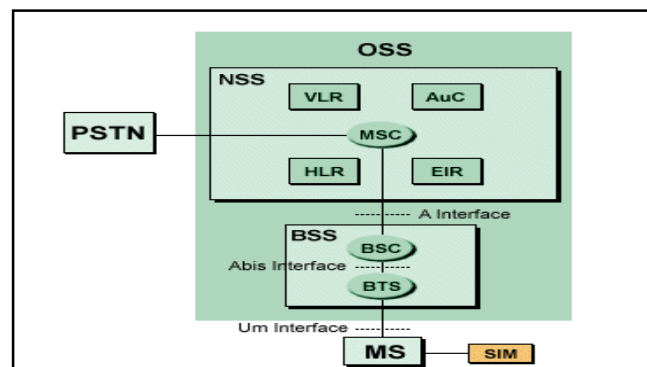


Figure I-3 : Architecture du réseau GSM

L'évolution du GSM est la suivante : GPRS, EDGE. Ces deux technologies ont permis d'améliorer le débit de communication entre le mobile et la station de base, et sont destinées à un lien IP pour la transmission de données.

### Evolution de la 2G

**GPRS ou General Packet Radio System** est un système orienté paquets, autrement dit il envoie les données à la volée sans maintenir un lien de connexion permanent avec l'appelant :

toutes les 20 ms, la BSC alloue des faisceaux pour transmettre des données (un ou plusieurs faisceaux).

Le standard R97 permet d'atteindre un débit descendant de 40 kb/s et 14 kb/s en montant. Les améliorations futures (R98 et R99) proposent un débit pouvant aller jusqu'à 170 kbit/s pour les utilisateurs en faible mobilité, proches de la station de base en concentrant plusieurs faisceaux entre eux et en diminuant l'algorithme de détection/correction d'erreurs : l'abonné étant proche de la station de base, la communication ressent moins l'effet du bruit.

La partie BSS constituée de la BTS; de la BSC et du mobile prend pour nom GERAN (GSM Edge Radio Access Network), la modification porte sur la possibilité de transmettre en mode paquet sur plusieurs faisceaux. Il s'agit donc d'une amélioration logicielle de la gestion des communications. Mais il n'y a aucun nouvel équipement affecté sur le BSS.

La partie réseau NSS est quant à elle modifiée comme le montrent les figures ci-dessous:

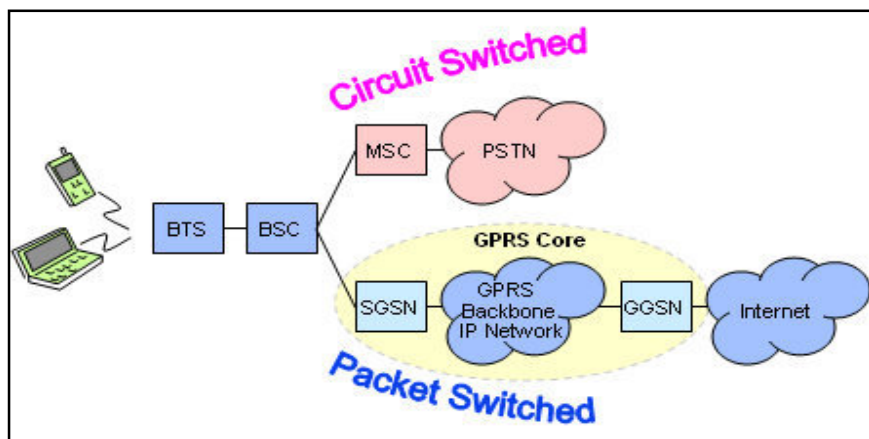


Figure I-4 : Le réseau GSM et GPRS

### Jeu des différences :

Deux équipements supplémentaires équipent la partie NSS de l'opérateur :

- SGSN : noeud de Service GPRS
- GGSN : noeud de Passerelle GPRS

Le rôle du SGSN est similaire au MSC :

- Authentification des stations mobiles pour permettre la transmission de données en mode paquets : le SGSN enregistre donc le mobile GPRS et gère son déplacement (Handover). Le SGSN crée aussi un contexte pour chaque communication GPRS, le contexte définissant les caractéristiques de la communication (qui : Adresse IP, où, quoi, comment, ...)

Le rôle du GGSN est de faire l'interface entre le réseau GPRS et le réseau IP. Il s'agit d'une Passerelle.

**EDGE : Enhanced Data rate for GSM Evolution**

La technologie EDGE s'appuie sur une modification de la communication entre le mobile et la station de base. Il est nécessaire de changer la carte TRX (transmission/réception) de la BTS et de modifier la partie logicielle. L'astuce consiste à modifier la modulation numérique en augmentant la valence (la modulation MSK est remplacée par une modulation 8PSK c'est à dire 3 fois plus rapide). Cela entraîne une réception plus sensible au bruit et par conséquent une couverture plus faible.

**De la 2G à la 3G**

La 3G a été définie dans la release R99 sous le nom UMTS : Universal Mobile Telecommunications System. Certains préfèrent encore l'appeler W-CDMA qui est la technologie d'accès radio permettant à plusieurs utilisateurs de communiquer en même temps.

L'objectif de la 3G était le haut débit, en théorie 2 Mbps avec une mobilité faible et proche de l'antenne, et un débit de 384 kbps en mouvement, ce qui est proche des offres ADSL.

La 3G n'as pas encore arrivé en Algérie, elle est prévue enfin 2013, elle était mise en place en France en 2004, et elle a nécessité la mise en place d'infrastructures radio en parallèle du réseau EDGE et du réseau GPRS dont le coût a été estimé à quelques milliards d'euros. Il s'agit du cout de la mise en place de nouvelles antennes, nommée Node B et d'un contrôleur de node nommé RNC. Le Node B est donc l'équivalent de la BTS utilisée en GSM, mais avec une bande de fréquence différente, et utilisant une technologie de modulation (HPSK) et une technologie d'accès (W-CDMA).

Le Node B et le RNC forment l'accès radio UMTS dénommé UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Acces Network). Ils se rajoutent donc au GERAN (GSM-EDGE RAN). L'UTRAN et le GERAN forment donc maintenant le BSS.

Seule la partie radio a été modifiée, la partie réseau (NSS) reste identique, l'interface UTRAN s'appuie sur les éléments réseaux déjà existant. La cohabitation entre les deux réseaux est ainsi la suivante :

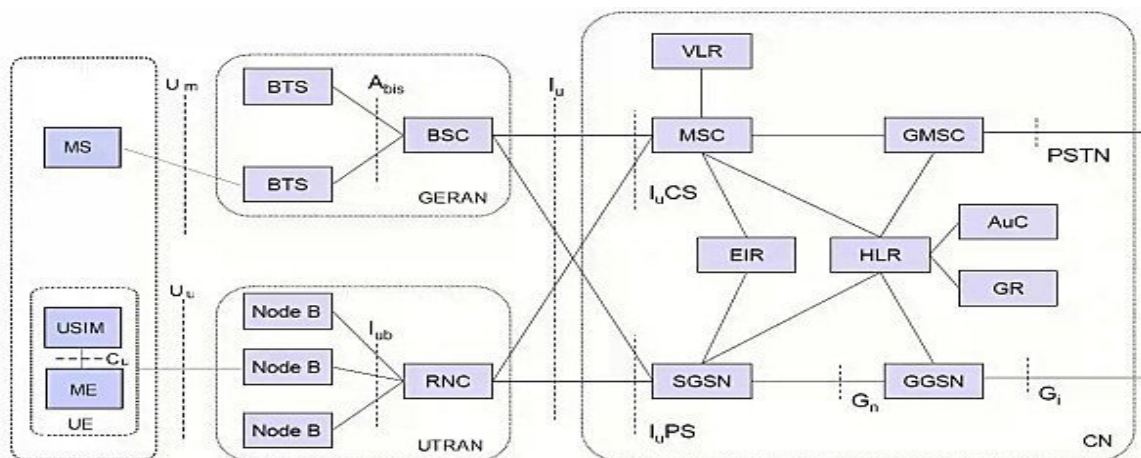


Figure I-5 : Architecture du réseau 3G

### Déploiement de la 4G

Ainsi, l'équipementier télécoms chinois ZTE a présenté (Juin 2010) une étude démontrant les coûts engendrés par l'implantation d'un réseau LTE sur un territoire fictif fortement inspiré d'un pays européen. Basée sur une moyenne de 5 pays européens, cette modélisation a pour but de rendre compte du prix que coûterait le LTE dans un grand pays de l'Europe. Ce pays imaginaire compterait 50 millions d'habitants, aurait une superficie de 400 000 kilomètres carrés. L'objectif de déploiement serait de 75% du territoire avec une réutilisation des sites 3G et GSM 900 avec en ajout la bande des 2.6 Ghz. Le coût d'implantation pour un opérateur est évalué par ZTE à 400 millions d'euros.

Alcatel-Lucent publiait des chiffres similaires, mais, n'oublions pas d'ajouter le coût des licences LTE (2,5 milliards d'euros entre les opérateurs).

Au niveau financier, le coût d'installation des nouveaux équipements ne doit pas constituer en frein au déploiement du LTE.

### 8. Présentation de l'architecture du système

Le réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System). Il est constitué d'un nouveau réseau d'accès et d'un nouveau réseau cœur appelé SAE (System Architecture Evolution).

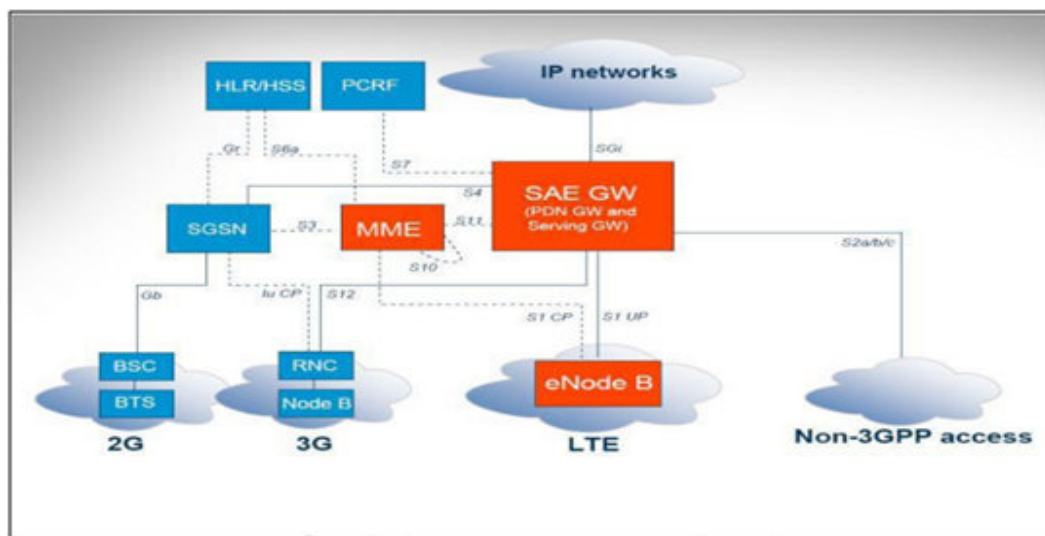


Figure I-6 : Architecture du réseau LTE

### 9. Caractéristiques du réseau cœur SAE

SAE est l'évolution du réseau cœur GPRS avec certaines différences :

- Une architecture simplifiée.
- Un réseau tout-IP.
- Supporte des transmissions à très haut débit et faible latence dans le réseau d'accès radio.
- Coexistence avec les normes antérieures de 3GPP et les normes non-3GPP.

L'élément principal de SAE est l'EPC (Evolved PacketCore) aussi connu sous le nom de SAE-Core. SAE (System Architecture Evolution) est le nom du projet, EPC (Evolved PacketCore) est le nom du réseau cœur évolué.

- **EPC est un réseau cœur paquet tout IP.** A la différence des réseaux 2G et 3G où l'on distinguait les domaines de commutation de circuit (CS, Circuit Switched) et de commutation de paquet (PS, PacketSwitched) dans le réseau cœur, le nouveau réseau ne possède qu'un domaine paquet appelé EPC. Tous les services devront être offerts sur IP y compris ceux qui étaient auparavant offerts par le domaine circuit tels que la voix, la visiophonie, le SMS, tous les services de téléphonie, etc.
- **EPC interagit avec les réseaux paquets 2G/3G et CDMA-2000 en cas de mobilité.** Il est possible de faire acheminer le trafic de l'EPC vers l'accès LTE, CDMA-2000 (paquet), 2G (paquet) et 3G (paquet) et ainsi garantir le handover entre ces technologies d'accès.
- **EPC supporte les Default bearers et Dedicated bearers.** Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau EPC, ce dernier lui crée un default bearer qui représente une connectivité permanente (maintenue tant que l'utilisateur est rattaché au réseau) mais sans débit garanti. Lorsque l'utilisateur souhaitera établir un appel qui requiert une certaine qualité de service telle que l'appel voix ou visiophonie, le réseau pourra établir pour la durée de l'appel un dedicated bearer qui supporte la qualité de service exigée par le flux de service et surtout qui dispose d'un débit garanti afin d'émuler le mode circuit.
- **EPC supporte le filtrage de paquet (DPI deep packet inspection)** par exemple pour la détection de virus) et une taxation évoluée (taxation basée sur les flux de service). En effet le LTE fournit des mécanismes de taxation très sophistiqués permettant de taxer le service demandé par le client sur la base du volume, de la session, de la durée, de l'événement, du contenu, etc.

### 10. Caractéristiques et entités du réseau EPS (Evolved Packet System)

Pour minimiser la complexité du réseau, l'architecture globale convenue pour la 2G-3G-LTE est représentée dans le schéma suivant :

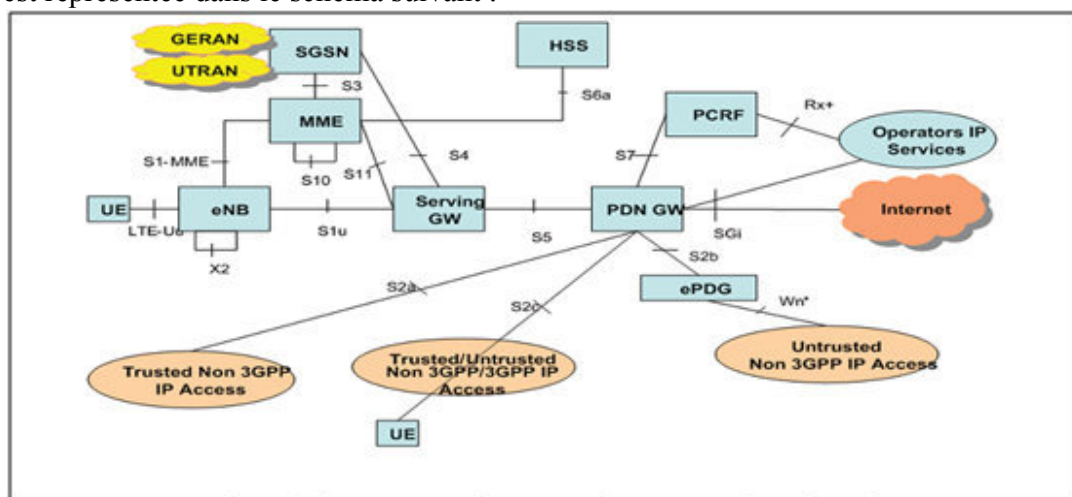


Figure I-7 : Architecture de l'EPS

L'EPS représente l'ensemble du réseau à savoir le réseau d'accès et le réseau cœur. Il a les caractéristiques suivantes :

- Il possède une architecture plate et simplifiée comparée à celle hiérarchique 2G/3G puisque la fonction de contrôleur d'antenne disparaît. La seule entité présente dans l'accès est l'eNodeB qui peut être assimilé à un nodeB+RNC.
- Il s'agit d'une architecture uniquement paquet comparée à l'architecture 2G/3G circuit et paquet.
- Son interface radio est totalement partagée entre tous les usagers en mode ACTIF comparée à des ressources dédiées et partagées dans l'architecture 2G/3G. Les appels voix et visiophonie requièrent des ressources dédiées en 3G.
- Il permet des handover vers les réseaux 2G/3G et CDMA/CDMA2000 afin d'assurer des communications sans coupure en environnement hétérogène.

### 11. Les grandes fonctions assurées par l'EPS sont

- ❖ **Fonctions de contrôle d'accès réseau** : Elles permettent d'authentifier l'utilisateur lorsque ce dernier s'attache au réseau, met à jour sa tracking area, et demande des ressources pour ses communications. Elles permettent aussi de réaliser la taxation de l'utilisateur en fonction de l'usage des ressources et en fonction des flux de service émis et reçus. Elles permettent enfin de sécuriser les flux de signalisation et les flux média des usagers en les encryptant entre l'UE et l'eNodeB.
- ❖ **Fonctions de gestion de la mobilité** : Elles permettent à l'UE de s'attacher, de se détacher et de mettre à jour sa tracking area.
- ❖ **Fonctions de gestion de session** : Elles permettent d'établir des default bearers et des dedicated bearers afin que l'UE dispose de connectivités IP pour ses communications.
- ❖ **Fonctions de routage de paquets et de transfert** : Elles permettent d'acheminer les paquets de l'UE au PDN GW ainsi que du PDN GW à l'UE.
- ❖ **Fonctions de gestion de ressource radio** : Elles permettent l'établissement et la libération de RAB (Radio Access Bearer) entre l'UE et le Serving GW à chaque fois que l'UE souhaite devenir actif pour communiquer.

Le réseau EPS consiste en les entités suivantes :

- ❖ User Equipment UE
- ❖ eNodeB
- ❖ Mobility Management Entity (MME)
- ❖ Serving Gateway (S-GW)
- ❖ Packet Data Network Gateway (P-GW)
- ❖ Home Subscriber Server (HSS)
- ❖ Policy and Charging Rules Function (PCRF)

a) UE



Figure I-8: User Equipment

Les terminaux LTE (appelés User Equipment dans les spécifications 3GPP) peuvent être des téléphones (smartphones), des tablettes, des clés-modems USB ou tout autre type d'équipements fixes ou mobiles (GPS, ordinateur, écran vidéo, ...)

Le 3GPP et l'ETSI dans les normes release 8 (version 8), ont défini 5 classes de terminaux LTE correspondant aux débits maximaux (montant et descendant) que doit supporter l'équipement et au type d'antenne qu'il intègre. Tout terminal, quelle que soit sa catégorie, doit être capable de s'adapter aux 6 largeurs spectrales allant de 1,4 à 20 MHz, définies par le 3GPP. Les débits de données listés dans le tableau supposent une largeur de bande de 20 MHz.

<i>Catégories de terminaux LTE (3GPP rel.8)</i>						
Catégorie		1	2	3	4	5
Débits pics (Mb/s)	Descendant	10	50	100	150	300
	Montant	5	25	50	50	75
Caractéristiques fonctionnelles						
Bande passante radio		1,4 à 20 MHz				
Modulations	Descendante	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Montante	QPSK, 16QAM		QPSK, 16QAM, 64QAM		
Antennes						
MIMO 2x2		Non			Oui	
MIMO 4x4		Non			Oui	

Tableau I-2

b) Entité eNodeB :

L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN 3G où sont présentes les entités NodeB et RNC, l'architecture EUTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/S-GW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur. L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW.

Une nouvelle interface X2 a été définie entre eNodeBs adjacentes. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover).

Lorsque l'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE ; or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé

le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE.

La figure précédente décrit l'architecture E-UTRAN avec ses eNodeB et les interfaces X2 (entre les eNodeB) et S1 (entre eNodeB et entités du réseau cœur MME/Serving GW).

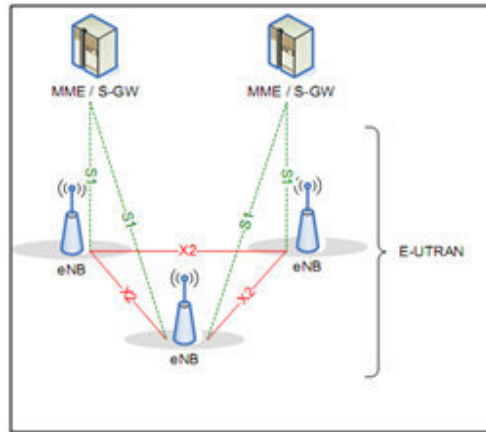


Figure I-9 : les interfaces de E-UTRAN

- c) **Entité MME (Mobility Management Entity) :** Les fonctions de l'entité MME incluent
- Signalisation avec l'UE. Les terminaux LTE disposent des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement. Des messages utilisant ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME.
  - Authentification : Le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS.
  - Joignabilité de l'UE dans l'état IDLE (paging) : C'est l'entité MME qui est responsable du paging lorsque l'UE est dans l'état IDLE.
  - Gestion de la liste de Tracking Area : L'UE est informé des zones de localisation prises en charge par le MME, appelées Tracking Area. L'UE met à jour sa localisation lorsqu'il se retrouve dans une Tracking Area qui n'est pas prise en charge par son MME.
  - Sélection du S-GW et du P-GW : C'est au MME de sélectionner le Serving GW et le P-GW qui serviront à mettre en œuvre le Default Bearer au moment du rattachement de l'UE au réseau.
  - Sélection de MME lors du handover avec changement de MME : Lorsque l'utilisateur est dans l'état ACTIF et qu'il se déplace d'une zone prise en charge par un MME à une autre zone qui est sous le contrôle d'un autre MME, alors il est nécessaire que le handover implique l'ancien et le nouveau MME.
  - Sélection du SGSN lors du handover avec les réseaux d'accès 2G et 3G : Si l'utilisateur se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est le MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bearer.
  - Roaming avec interaction avec le HSS nominal. Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau, le MME s'interface au HSS nominal afin de mettre à jour la localisation du mobile et obtenir le profil de l'utilisateur.

- Fonctions de gestion du bearer incluant l'établissement de dedicatedbearer. C'est au MME d'établir pour le compte de l'utilisateur les defaults bearer et dedicatedbearer nécessaires pour la prise en charge de ses communications.
- Interception légale du trafic de signalisation. L'entité MME reçoit toute la signalisation émise par l'UE et peut l'archiver à des fins de traçabilité.
- Chaque MME peut gérer 50 000 eNB (MME du Marque Huawei).

### **d) Entité Serving GW (Serving Gateway):**

Les fonctions de l'entité Serving GW incluent :

- Point d'ancrage pour le handover inter-eNodeB. Lors d'un handover inter-eNodeB, le trafic de l'utilisateur qui s'échangeait entre l'ancien eNodeB et le Serving GW doit désormais être relayé du nouvel eNodeB au Serving GW.
- Point d'ancrage pour le handover LTE et les réseaux 2G/3G. Il relaie les paquets entre les systèmes 2G/3G et le P-GW. Lors d'une mobilité entre LTE et Les réseaux 2G/3G paquet, le SGSN du réseau 2G/3G s'interface avec leServing GW pour la continuité du service de données.
- Mise en mémoire des paquets entrants lorsque l'UE destinataire est dans l'état ECM-IDLE et initialisation de la procédure de demande de service initiée par le réseau.
- Interception légale; Le Serving GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.
- Routage des paquets et relai des paquets. Le Serving GW route les paquets sortant au P-GW approprié et relaie les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE.
- Comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs. Le Serving GW comptabilise le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs pour les reversements.

### **e) Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway):**

Les fonctions de l'entité P-GW incluent :

- Interface vers les réseaux externes (Internet et intranet). Le P-GW est l'entité qui termine le réseau mobile EPS et assure l'interface aux réseaux externes IPv4 ou IPv6.
- Allocation de l'adresse IP de l'UE. Le PDN GW assigne à l'UE son adresse IP dès l'attachement de l'UE lorsque le réseau établit un default bearer permanent à l'UE. Le PDN GW peut allouer une adresse IPv4 ou IPv6.
- Taxation des flux de service montants et descendants (ex. sur la base des règles de taxation fournies par le PCRF) ou sur la base de l'inspection de paquets définie par des politiques locales).

### **f) Entité HSS (Home Subscriber Server) :**

Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé Home Subscriber Server (HSS). Le HSS est un HLR évolué et contient l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE.

A la différence de la 2G et de la 3G où l'interface vers le HLR est supportée par le protocole MAP (protocole du monde SS7), l'interface S6 s'appuie sur le protocole DIAMETER (protocole du monde IP).

Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE appartenant au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE).

### **g) Entité PCRF (Policy & Charging Rules Function):**

L'entité PCRF réalise deux fonctions :

- Elle fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un default bearer ou un dedicated bearer est activé ou modifié pour l'utilisateur. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Par exemple, si l'utilisateur fait transiter sur son default bearer des flux WAP et des flux de streaming, il sera possible au PDN-GW de distinguer ces deux flux et de taxer le flux WAP sur la base du volume alors que le flux de streaming sera taxé sur la base de la durée.
- Elle permet de demander au PDN-GW d'établir, de modifier et de libérer des dedicated bearers sur la base de QoS souhaitée par l'utilisateur. Par exemple, Si l'utilisateur demande l'établissement d'une session IMS, un message SIP sera envoyé au P-CSCF (Proxy-CSCF -Call Session Control Function) qui dialoguera avec le PCRF pour lui indiquer la QoS requise par l'utilisateur pour cette session. Le PCRF dialogue alors avec le PDN-GW pour créer le dedicated bearer correspondant.

# CHAPITRE II

---

## Interface Radio du LTE

---

**Chapitre II: Interface Radio du LTE****1. Introduction**

Ce chapitre décrit les principes de l'interface radio du système LTE et fournit des connaissances nécessaires à la compréhension de son fonctionnement.

Depuis les années 90, les réseaux cellulaires ont connu un certain nombre d'évolutions (de la seconde génération à la 3G+) offrant des débits toujours plus importants et permettant le développement de nouveaux services en plus de la transmission de la voix. LTE a introduit un certain nombre de nouvelles technologies, permettant l'emploi efficace du spectre et fournissant des débits beaucoup plus élevés. Ainsi, LTE a utilisé la technologie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) en tant que porteur du signal et les régimes d'accès associés, OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), SC-FDMA (Single Frequency Division Multiple Access) et MIMO (Multiple Input Multiple Output).

L'interface radio assure le rôle clé de transférer par la voie des airs les données issues de la couche IP associées au service demandé par l'utilisateur. Ce transfert doit respecter des exigences de qualité de service (latence, débit) malgré un médium extrêmement variable, tout en optimisant l'accès à une ressource spectrale limitée. En outre, la disponibilité du spectre, variable selon les régions du globe, impose de pouvoir s'adapter à différents types de bandes disponibles:

**Tableau II-1 Bandes de fréquences susceptibles d'accueillir un système LTE [08]**

Numéro	Bande pour la voie montante (MHz)	Bande pour la voie descendante (MHz)	Mode	Écart Duplex	Autre système pouvant utiliser la bande
1	1 920-1 980	2 110-2 170	FDD	190	UMTS I
2	1 850-1 910	1 930-1 990	FDD	80	PCS 1900/UMTS II
3	1 710-1 785	1 805-1 880	FDD	95	GSM 1800/UMTS II
4	1 710-1 755	2 110-2 155	FDD	400	UMTS IV
5	824-849	869-894	FDD	45	GSM 850/UMTS V
6	830-840	875-885	FDD	45	GSM 850/UMTS VI
7	2 500-2 570	2 620-2 690	FDD	120	UMTS VII
8	880-915	925-960	FDD	45	GSM 900E/UMTS VIII
9	1 749,9-1 784,9	1 844,9-1 879,9	FDD	95	GSM 1800/UMTS IX
10	1 710-1 770	2 110-2 170	FDD	400	
11	1 427,9-1 447,9	1 475,9-1 495,9	FDD	48	
12	698-716	728-746	FDD	30	
13	777-787	746-756	FDD	- 31	
14	788-798	758-768	FDD	- 30	
17	704-716	734-746	FDD	30	

33	1 900-1 920	TDD	n.a.	UMTS
34	2 010-2 025	TDD	n.a.	UMTS
35	1 850-1 910	TDD	n.a.	UMTS, reg 2
36	1 930-1 990	TDD	n.a.	UMTS
37	1 910-1 930	TDD	n.a.	UMTS, reg 2
38	2 570-2 620	TDD	n.a.	UMTS, reg 1
39	1 880-1 920	TDD	n.a.	
40	2 300-2 400	TDD	n.a.	

### 2. Rappels sur le canal radio

Les spécifications relatives à la transmission et réception radio dans LTE sont détaillées dans les documents TS 36.101 pour l'UE et dans TS 36.104 pour l'eNodeB.

#### a) Les modes de duplexage:

L'interface air dans LTE supporte les deux modes FDD (Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex), chacun avec son propre structure de trame. D'autres modes d'accès pourraient être définis, et FDD half-duplex a été choisi. Le FDD half-duplex permet le partage de ressources matérielles entre le downlink et l'uplink puisque l'uplink et le downlink ne sont jamais utilisés simultanément. Cette technique est utilisée dans certaines bandes de fréquences et permet également de réduire de moitié le coût des débits potentiels.

#### Le mode FDD

En mode FDD, les voies montante et descendante opèrent sur deux fréquences porteuses séparées. Cette séparation confère à ce mode une grande immunité vis-à-vis des interférences et simplifie ainsi le déploiement du réseau. Au contraire, au mode TDD.

En contrepartie, une bande de garde est nécessaire entre les porteuses dédiées aux voies montante et descendante afin d'éviter l'interférence de canal adjacent de la bande d'émission sur la bande de réception, pour laquelle la puissance des signaux reçus est généralement très faible.

De plus, un duplexeur est requis au sein du terminal ainsi qu'à la station de base, afin d'isoler la partie du modem dédiée à l'émission de celle dédiée à la réception, puisque toutes deux partagent les mêmes antennes.

En outre, la séparation des voies montante et descendante en fréquence permet aux UE et stations de base d'émettre et de recevoir simultanément en FDD. Cette caractéristique aide à tirer le meilleur parti des mécanismes qui exploitent un échange rapide d'informations de contrôle entre émetteur et récepteur. Citons par exemple l'allocation de ressources dynamique, qui se base sur la qualité instantanée du canal mesurée par le récepteur (l'UE en voie descendante). En effet, en TDD, l'envoi d'informations dans une direction donnée ne peut s'effectuer que sur certaines sous-trames, ce qui peut augmenter leur délai de mise à disposition.

### Le mode TDD

En mode TDD, les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, le partage entre les deux directions s'effectuant dans le domaine temporel. Le TDD offre plusieurs avantages : tout d'abord, le partitionnement du temps en sous-frames montantes et sous-frames descendantes permet d'optimiser le système pour une éventuelle asymétrie du trafic entre les deux voies. Concrètement, le volume de trafic en voie descendante est généralement plus important qu'en voie montante. L'opérateur peut alors configurer un plus grand nombre de sous-frames descendantes que de sous-frames montantes.

Par ailleurs, l'utilisation de la même bande pour les voies montante et descendante offre l'avantage que le canal de propagation entre la station de base et l'UE est identique sur les deux voies. La station de base peut ainsi acquérir la connaissance du canal vu par l'UE sans que ce dernier ait à lui transmettre cette information. Cette propriété, appelée réciprocité du canal, est particulièrement utile pour mettre en œuvre des traitements de précodage à l'émission en transmission MIMO. Toutefois, cette propriété ne s'applique qu'au canal de propagation. Or, la connaissance du canal nécessaire à l'émetteur doit également prendre en compte l'effet des équipements radiofréquence (filtres, amplificateurs, câbles) et des antennes sur la phase et l'amplitude du signal. Ces équipements sont généralement sensiblement différents sur les chaînes d'émission et de réception d'un équipement donné, ce qui altère la réciprocité du canal de transmission complet. En pratique, une procédure dite de calibration doit donc être mise en œuvre à l'émetteur (et dans certains cas au récepteur également) afin de compenser les différences potentielles entre les chaînes d'émission et de réception.

Enfin, l'utilisation de la même bande de fréquences permet de mutualiser une partie des composants radiofréquence entre la voie montante et la voie descendante ; de plus aucun duplexeur n'est nécessaire, ce qui conduit à des terminaux moins coûteux qu'en FDD.

L'interface air dans LTE supporte aussi le service MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service), une technologie relativement nouvelle pour le contenu de radiodiffusion telle que la TV numérique en utilisant les connections point-to-multi-point. Les spécifications 3GPP pour le MBMS sont apparues la première fois pour l'UMTS dans la release 6. LTE spécifiera un service eMBMS (evolved MBMS) plus avancé qui fonctionnerait en utilisant le MBSFN (Multicast/Broadcast over Single-Frequency Network). Le MBSFN permet à travers l'air de combiner les transmissions de plusieurs cellules au niveau de l'équipement utilisateur, en utilisant le préfixe cyclique (PC) qui élimine la différence entre les retards de propagation. Pour l'UE, les transmissions apparaissent comme s'elles viennent d'une seule grande cellule.

Cette technique rend le LTE très efficace pour la transmission MBMS. Le service eMBMS est défini dans la version 9 (release 9) des spécifications 3GPP.

### 3. L'architecture de l'interface radio

#### a) Les protocoles des plans usager et de contrôle

Cette partie décrira de façon globale la structure des protocoles de bout en bout du LTE pour le plan usager et le plan de contrôle, qui correspondent respectivement à transmission des données utilisateurs et la transmission de signalisation.

De même qu'en 3G/UTRAN, le modèle de l'interface réseau de l'E-UTRAN est composé de deux parties principales : la couche Radio Network – qui englobe les protocoles couches hautes de l'interface – et la couche Transport Network – qui réfère uniquement à la façon dont les données de la couche Radio Network sont transportés. Cette séparation assure une indépendance entre les deux couches

En plus de la séparation selon le modèle OSI, chaque interface est divisée en deux plans, le plan usager (User plane) et le plan de contrôle (Control plane).

Le plan usager transporte toutes les informations considérées comme des données utilisateur, du point de vue de l'interface. Ceci consiste en des données purement usager comme les paquets de voix et vidéos ou la signalisation de niveau application (comme SIP ou RTP). Avant la transmission sur l'interface, les différents paquets sont tous simplement envoyés à la couche Transport. C'est ce qui explique l'absence de tout protocole dans la couche Radio Network qui correspond au plan usager.

Le plan de contrôle s'occupe tous les messages et les procédures strictement liés aux fonctionnalités prises en charge par les interfaces. Ceci inclut par exemple, les messages de contrôle pour la gestion du handover ou la gestion des porteuses (supports).

La couche physique, fait partie de la couche transport. Elle commune aux deux plans. A part cela, les plans usager et contrôle utilise des protocoles spécifique qui définissent ainsi une pile de transport et des porteuses (support de données) différents et indépendant pour chaque couche. L'information dans le plan de contrôle est soumise à des contraintes de sécurité, de fiabilité, et de perte de données alors que dans le plan usager l'information est routée à l'aide de protocoles simples et moins sécurisés.

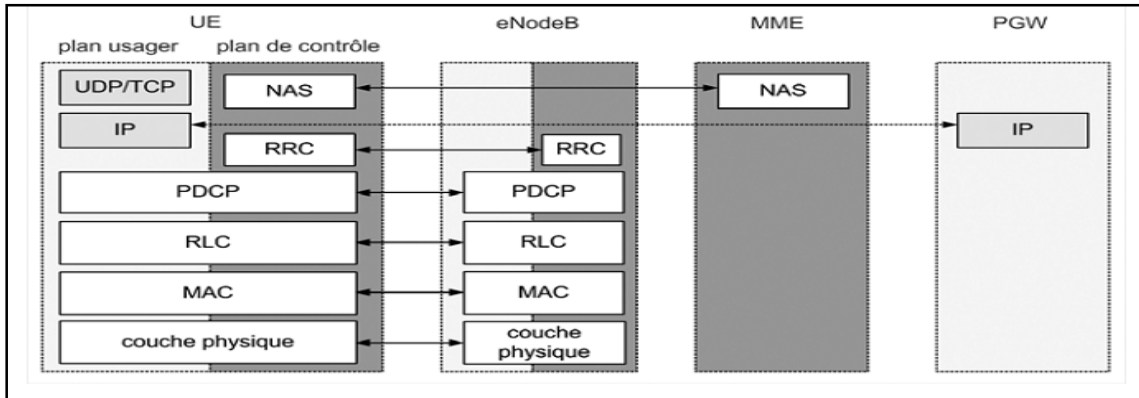


Figure II-1 : Plan usager et plan de contrôle

**b) Etudes des couches :**

L'interface radio est distinguée de la transmission filaire par le coût et la rareté du spectre, ainsi le taux d'erreur très élevé de la transmission. A cause de ces caractéristiques, la pile protocolaire de l'interface radio est très spécifique. Elle est composée des couches suivantes:

- La couche RRC (Radio Ressource Control).
- La couche 2 :est constituée de trois sous-couches :  
PDCP (Packet Data Compression Protocol);  
RLC (Radio Link Control) ;  
MAC (Medium Access Control).
- La couchePHY (Physical Layer).

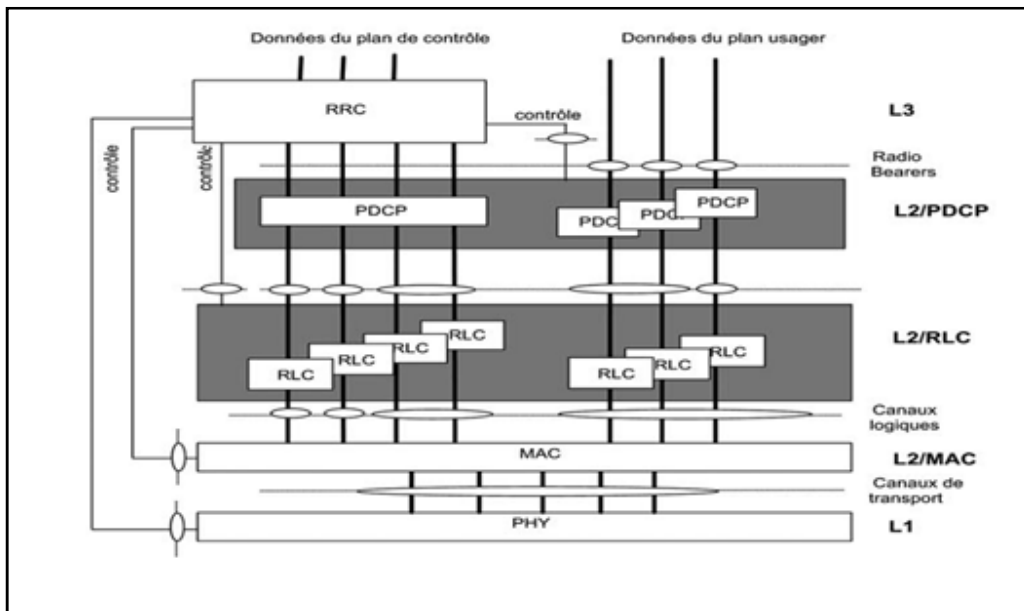


Figure II-2 : La modélisation en couches protocolaires de l'interface radio

### La couche RRC

A partir du haut de la figure, la couche RRC (Radio Resource Control) supports toutes les procédures de signalisation entre le UE et l'eNodeB. Ceci inclut les procédures de mobilités et la gestion de connexion. Les signalisations venant du plan de contrôle de l'EPC sont transférés au terminal à travers le protocole RRC, d'où le lien entre le RRC et les couches supérieures.

RRC est responsable de la configuration et du contrôle des couches de niveau 1 (PHY) et 2 (MAC, RLC et PDCP). C'est la spécificité de cette couche, véritable chef d'orchestre de l'interface radio.

RRC assure ainsi les fonctions suivantes :

- ✓ la diffusion et le décodage d'Informations Système;
- ✓ l'envoi et la réception de paging, pour l'établissement d'appel destiné à un UE en mode veille,
- ✓ la gestion de la connexion RRC (établissement, reconfiguration et relâche) ;
- ✓ le contrôle des radios bearers associés à des services ou à la signalisation ;
- ✓ le contrôle des mesures de l'UE et leur remontée à l'eNodeB en mode connecté ;
- ✓ la mobilité en mode connecté ;
- ✓ le contrôle de la mobilité en mode veille (sélection et resélection de cellule) ;
- ✓ et la transmission de la signalisation des couches supérieures NAS.

### La couche 2

Constituée de trois sous-couches PDCP, RLC et MAC interviennent pour le transfert des données, du plan usager comme du plan de contrôle. Seule la sous-couche PDCP est conçue pour traiter différemment les données de ces deux plans. Pour RLC et MAC, c'est la configuration qui détermine les éventuelles différences de traitement à appliquer aux flux.

#### Sous-couche PDCP (Packet Data Compression Protocol)

PDCP assure des fonctions de sécurité et de transfert des données :

- ✓ compression d'en-tête ;
- ✓ chiffrement des données et de la signalisation RRC ;
- ✓ protection de l'intégrité de la signalisation RRC ;
- ✓ détection et suppression des doublons (unité de données PDCP reçues deux fois) ;
- ✓ remise en séquence des paquets.

#### Sous-couche RLC (Radio Link Protocol)

La couche RLC fournit à la couche PDCP les services basique de la couche 2 du modèle OSI, comme la segmentation des données paquet et l'ARQ (AutomaticRepeatRequest) pour le mécanisme de correction d'erreur.

### Sous-couche MAC (Medium Access Control)

La sous-couche MAC permet l'accès et l'adaptation au support de transmission grâce aux fonctions suivantes :

- ✓ le mécanisme d'accès aléatoire sur la voie montante ;
- ✓ la correction d'erreurs par retransmission HARQ (HybridAutomaticRepeatRequest) lors de la réception d'un acquittement HARQ négatif ;
- ✓ les allocations dynamique et semi-statique de ressources radio (scheduling) ;
- ✓ le maintien de la synchronisation sur le lien montant ;
- ✓ la priorisation des flux sur le lien montant.

La fonction de scheduling s'appuie sur les mesures effectuées par la couche physique, tandis que le mécanisme HARQ est couplé avec le codage de canal. Ces fonctions sont donc étroitement liées à la couche physique et sont optimisées pour cet interfonctionnement. L'optimisation intercouches est l'une des caractéristiques clés de l'interface radio du LTE. Le scheduling sera décrit en détail dans le chapitre 4.

### c) Etudes des interfaces

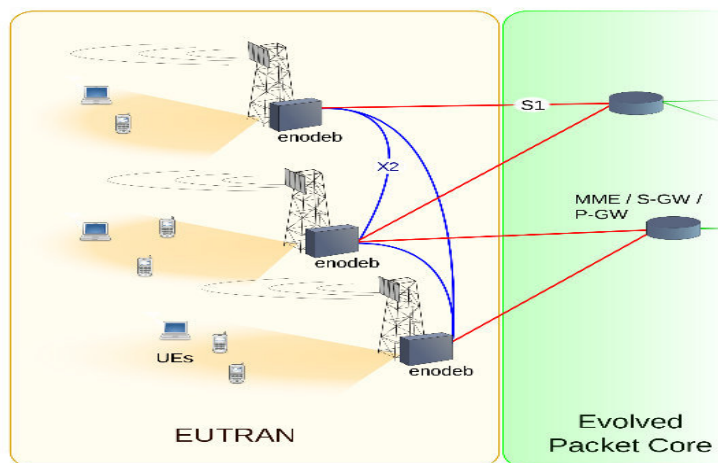


Figure II-3 : les interfaces du LTE

Comme en 3G/UTRAN, les interfaces de l'E-UTRAN S1 et X1 sont complètement définies par 3GPP et que chaque équipementier doit se conformer aux spécifications dans l'implémentation des différents équipements. Ceci permet le déploiement des eNodeBs de différents équipementiers en un seul réseau et interconnectés à via l'interface X2. Il en est de même pour l'interconnexion entre l'E-UTRAN et l'EPC.

L'interface X2 ne doit pas être vue comme une simple interface point-à-point entre deux eNodeBs, mais plutôt comme une interface maillée. Cette interface optionnelle a été définie dans le

but de transporter les paquets entre eNodeBs et de limiter les pertes de paquets dans le cas d'une mobilité d'utilisateur Intra E-UTRAN.

L'interface S1 à son tour, n'est pas une simple interface entre un eNodeB et un MME/Serving Gateway, puisque un eNodeB peut être connecté à un ou plusieurs MME. Puisque le MME et le Serving GW sont déployés dans des boîtes physiques séparées, l'interface S1 est divisée en deux parties

- L'interface S1-U (Pour le plan usager) qui transporte les données utilisateur entre l'eNodeB et le Serving GW.
- L'interface S1-C (Pour le plan de contrôle) qui transporte uniquement la signalisation entre l'eNodeB et le MME.

### Rappel des fonctionnalités de l'eNodeB

Les principales fonctions que l'eNodeB supporte sont les suivantes:

- Radio Bearer Management, qui inclut l'établissement et la libération des supports de données radio (Radio Bearer) ainsi que les fonctions de la gestion des ressources radio pour le contrôle de l'admission ainsi que l'allocation des supports de données. Cet ensemble de fonctions est sous le contrôle du MME à travers l'interface S1 pendant l'établissement, la libération et la modification de la session
- L'interface radio de transmission et de réception qui inclut la modulation/démodulation ainsi que le codage/décodage du canal radio.
- La gestion dynamique des ressources radio en Uplink et Downlink et l'Ordonnancement (Scheduling) des paquets data – est la fonction la plus critique qui requiert que l'eNodeB fait face à plusieurs contraintes dans le but d'être capable de multiplexer différents flots de données sur l'interface radio d'utiliser les ressources disponibles de façon optimale (ceci est l'objet de ma simulation).
- Radio Mobility Management, qui s'occupe de la mobilité du terminal lorsqu'il est dans l'état actif. Ceci doit être distingué du Mobility Management qui est une fonction gérée par le PacketCore.
- Chiffrement et compression des entêtes IP des données usager est la fonction clé de la transmission de données sur l'interface radio. Elle répond aux besoins de sécurité sur l'interface radio et la transmission de paquets IP de façon optimale.
- Sécurité de la signalisation réseau, à cause de la sensibilité des messages de signalisation échangés entre eNodeB et le terminal ou entre le MME et le terminal. Toutes ces informations sont protégées contre l'écoute et l'altération.
- L'ordonnancement et la transmission des informations Broadcast, qui est présente de tous, ou presque, les réseaux cellulaires.
- L'ordonnancement et la transmission des messages de paging, cette fonction est essentielle pour pouvoir localiser le mobile.

L'architecture de l'E-UTRAN a introduit des modifications sur la localisation des principales fonctions dans le réseau. Par conséquent, il y a quelques différences dans la façon les paquets sont gérés. Ces changements sont présentés dans la Figure II-4, qui se focalise sur le lien descendant du plan Usager. La séparation entre le RNC et le NodeB dans l'architecture de l'UMTS implique que la gestion des paquets de données nécessite deux buffers séparés. Ce qui nécessite l'implémentation d'un mécanisme à fin d'éviter le NodeB buffer overflow ou le manque de donnée au niveau du NodeB.

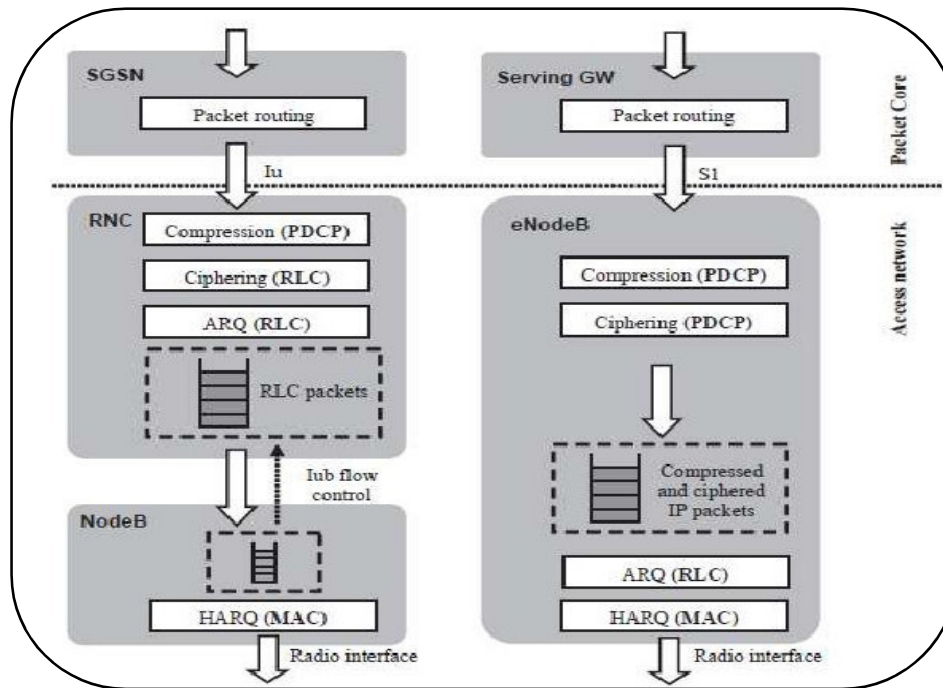


Figure II-4 : l'importance de l'interface S1

Dans le LTE, la compression et le chiffrement sont tous les deux supportés par la couche PDCP localisée dans l'eNodeB. Puisque, tous les mécanismes de retransmission sont localisés dans l'eNodeB, le traitement des paquets de données nécessite un seul buffer. Par ailleurs, et dans le cas de l'E-UTRAN les données du buffer peuvent être transférées entre eNodeBs, ce qui aide à minimiser les probabilités de pertes de paquets.

### Interface S1

L'interface S1-U (ou S1 User plane interface – L'interface S1 pour le plan usager) transporte les paquets utilisateurs entre le eNodeB et le Serving GW. Cette interface utilise une simple pile de protocole de transport « GTP over UDP/IP » qui ne fait qu'encapsuler les données de l'utilisateur. Il n'existe ni contrôle de flux ou contrôle d'erreur, ou tout autre mécanisme de garantie de livraison de données sur l'interface S-U. Le GTP (GPRS Tunneling Protocol) est actuellement hérité des réseaux 2G/GPRS et 3G/UMTS.

Dans les réseaux 3G, GTP est utilisé entre les nœuds GPRS (SGSN et GGSN). En 3G, GTP est aussi utilisé dans l'interface Iu-PS (entre RNC et le SGSN).

L'interface S1-C (ou S1 Control plane interface –L'interface S1 pour le plan de contrôle) est utilisé pour la signalisation. Elle supporte un certain nombre de fonctions et procédures entre eNodeB et le MME. Toutes les procédures de signalisation du S1-C appartiennent à l'un des quatre groupes suivants:

- Procédures du Bearer-level, ce groupe comprend toutes les procédures relatives à l'établissement, modification et de libération de supports (porteuses). Une porteuse correspond à un segment S1 d'une session, plus le chemin de l'interface radio. Ces procédures sont utilisées pendant l'établissement et la libération d'une session de communication.
- Procédures du Handover – qui englobent tous les fonctions S1 relative à la mobilité des utilisateurs en l'eNodeB ou avec les technologies 2G ou 3G.
- Transport de signalisation NAS – ceci correspond au transport de signalisation entre le terminal et le MME à travers l'interface S1. Le lien de signalisation entre le terminal et le MME est aussi appelé NAS (Non Access Stratum signalling) , puisqu'il est n'est pas visible pour l'eNodeB. Vue l'importance de ces messages, ils sont transporté sur la S1-C en utilisant des procédures spécifiques, au lieu de la S1-U GTP qui présente peu de garanties.
- Procédure de Paging – qui est utilisé dans le cas d'un usager en fin de session. A travers la procédure du paging, le MME demande à l'eNodeB de chercher le terminal dans un nombre donné de cellules.

L'interface S1-C doit fournir un haut niveau de fiabilité dans le but d'éviter les messages de retransmission et des retards dans l'exécution des procédures du plan de contrôle.

Selon le déploiement du réseau de transport, il y a certains cas où le transport UDP/IP n'est pas suffisamment fiable. Par ailleurs, dans le cas où le réseau de transport n'appartient pas à l'opérateur mobile, il se peut que la qualité de service (QoS) ne soit pas garantie tout le temps. C'est pour cette raison que l'interface S1-C utilise une couche de transport de réseau, qui est mise en place de bout-en-bout. Dans l'architecture LTE, ce service est assuré par le SCTP (Stream Control Transmission Protocol).

Dans l'interface S1, le SCTP est utilisé sur la couche réseau IP d'habitude. Il y a une seule association par instance de l'interface S1. Sur cette relation, un seul flux SCTP est utilisé pour toutes les procédures communes (procédure du paging par exemple) entre deux équipements. En ce qui concerne toutes les procédures dédiées -qui comprennent toutes les procédures qui s'appliquent à un contexte de communication spécifique - elles sont toutes prises en charge sur un nombre limité de flux SCTP. Le réseau de transport des interfaces S1 et X2 fait usage de la couche réseau IP à la fois pour le plan usager et plan de contrôle. En plus des

services basic garantie par ce protocole, L'IP dans E-UTRAN doit aussi supporter les services suivants :

- NDS/IP (Network Domain Security for IP) – qui fait référence à un groupe de dispositifs de sécurité de niveau IP défini par 3GPP pour l'échange de données entre les éléments du réseau.
- Diffserv (Differentiated Services) – qui est une architecture réseau qui spécifie un mécanisme pour classer et contrôler le trafic tout en fournissant une qualité de service.

### Interface S1 Flexibility

Dans les réseaux 2G et 3G, la connectivité entre le réseau cœur et le réseau d'accès a été définie selon une hiérarchie « un-à-plusieurs ». Dans la Release 5, un nouveau dispositif a été introduit, rendant flexible l'interconnexion entre le réseau d'accès et le réseau cœur.

Ce même principe a été introduit, dès le début, dans l'architecture du LTE. Ce standard porte le nom de « S1-flex ». Comme présenté dans la figure, l'interface S1-flex permet à un eNodeB de se connecter à plus d'un seul nœud MME ou Serving GW. De cette même figure, pour simplifier le MME et Serving GW sont combinés en un seul nœud, mais la S1 flexibility s'applique à la fois au MME et le Serving GW.

Bien qu'un eNodeB puisse être connecté à plusieurs MME, un terminal mobile est associé à un unique MME à la fois. Ceci est dû au fait que les sessions d'un utilisateur sont toujours sous le contrôle d'un seul MME.

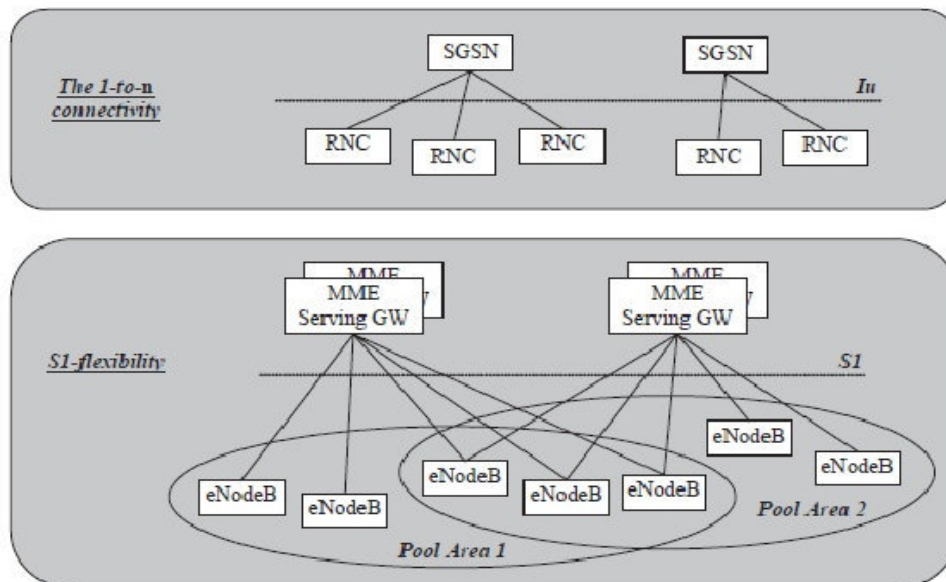


Figure II-5: La connectivité Access-Core traditionnelle et le S1-flex

S1 flexibility présente plusieurs avantages :

✓ En étendant la couverture des nœuds du réseau cœur à plusieurs cellules, le S1-flex réduit le nombre de handover inter-Core Network. Par ailleurs, le MME maintient la connectivité avec le mobile tant qu'il est dans la même «pool area». Par conséquence, le S1-flex aide à réduire le nombre de chargement dans le HSS généré par le changement dans le MME.

✓ Le standard S1-flex aide à définir une architecture réseau partagé par différents opérateurs. Parexemple, un nombre donné d'eNodeBs peuvent être partagé entre deux opérateurs. Dans ce cas, quand le terminal essaye de s'enregistrer, l'eNodeB transmet le message d'enregistrement initial au MME qui correspond au réseau de l'opérateur de l'abonné.

✓ S1 flexibility permet au réseau de devenir plus robuste quant aux échecs du réseau cœur. En effet, les pertes d'un réseau cœur seront compensées par les autres nœuds associés aux mêmes «pool areas».

✓ En ouvrant la possibilité d'un eNodeB à se connecter à un ou plusieurs MME présente quelques avantages dans l'amélioration de la capacité du réseau et la gestion de la charge réseau.

### Interface X2

Le rôle l'interface X2-U (X2 User plane interface – L'Interface X2 du plan usager) est de transporter les paquets de données entre eNodeBs. Elle est utilisée dans une durée limitée en temps, quand le terminal se déplace d'un eNodeB à un autre. Par ailleurs, cette interface permet de transférer les paquets de données mis dans les mémoires tampons (buffers) entre eNodeBs. X2-U utilise le même protocole de tunneling GTP, déjà utilisé dans l'interface S1-U.

L'interface X2-C (X2 Control plan interface – l'interface X2 du plan de contrôle) est une interface de signalisation. Elle supporte un groupe de fonctions et procédures entre eNodeBs. Les procédures de l'interface X2-C sont très limitées en nombre et ils sont toutes relatives à la mobilité des usagers entre eNodeB, dans le but d'échanger les informations sur le contexte de l'utilisateur entre les différents nœuds (porteurs alloués, sécurité...).

Par ailleurs, l'interface X2-C propose la procédure du «LoadIndicator» dont le but est de permettre à un eNodeB de signaler sa condition de charge aux eNodeBs voisins. Le but de cette procédure est d'aider à supporter la gestion du balancement de la charge ou d'optimiser les seuils du handover ainsi que les décisions du handover.

Le besoin d'un transport de signalisation fiable entre les nœuds est le même que dans l'interface S1-C. C'est pour cette raison que l'interface X2-C utilise aussi une couche de transport type «SCTP over IP».

## 4. Les canaux logiques, de transport et physiques

On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés.

- 1- **les canaux logiques**, qui opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent (par exemple : signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager) ;
- 2- **les canaux de transport**, qui opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio (par exemple la méthode d'accès aux ressources radio) ;
- 3- **les canaux physiques** qui sont utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission (par exemple leur placement dans la trame).

Dans une configuration donnée de l'interface radio (déterminée par le protocole RRC), un canal logique ne peut être porté que par un seul canal de transport, mais ce dernier peut transporter plusieurs canaux logiques. La même règle s'applique pour les canaux de transport et les canaux physiques. Enfin, certains canaux physiques ne sont associés à aucun canal de transport ni canal logique, car ils portent uniquement des informations relatives à la couche physique.

Ceci est illustré par la figure suivante, sur laquelle trois canaux physiques sont représentés (PDSCH et PDCCH pour le sens descendant, PRACH pour le sens montant).

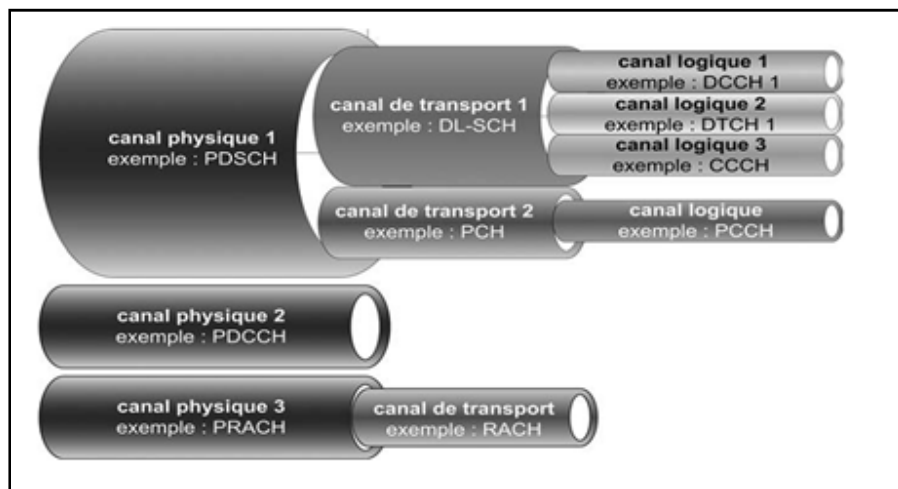


Figure II-6 : les canaux de l'interface radio LTE et leurs imbrication

### a) Les canaux logiques

Un canal logique est associé à un ou plusieurs flux de données (ou de signalisation) qui possèdent des caractéristiques communes : typologie des données transportées (plan usager ou plan de contrôle), priorité du flux, débit nominal (garanti ou non). Un canal logique est donc caractérisé par ce qu'il transporte, et non par la façon dont ces données sont véhiculées.

## Chapitre II: Interface Radio du LTE

Les canaux logiques se séparent en canaux de contrôle et canaux de trafic. Les canaux de contrôle transportent uniquement des informations du plan de contrôle, tandis que les canaux de trafic véhiculent exclusivement les données du plan usager.

Le tableau suivant présente les différents canaux logiques définis pour l'interface radio du LTE.

Canal logique	Acronyme	Canal de contrôle (plan de contrôle)	Canal de trafic (plan usager)	Usage	Exemples d'information transmise
Broadcast Control Channel	BCCH	X		Pour la diffusion d'informations de contrôle sur la cellule	Identifiant de la cellule, largeur de bande DL...
Paging Control Channel	PCCH	X		Pour la notification d'appels	Identifiant de l'UE dans la zone de localisation, type d'appel
Common Control Channel	CCCH	X		Pour la transmission de la signalisation, quand elle ne peut être transmise sur un canal dédié (DCCH)	Demande d'établissement d'une connexion RRC
Dedicated Control Channel	DCCH	X		Porte la signalisation dédiée à un utilisateur (RRC et NAS)	Message commandant à l'UE de réaliser un handover
Dedicated Traffic Channel	DTCH		X	Porte les informations de trafic dédiées à un utilisateur	Données d'un flux de streaming vidéo (ex. IP/UDP/RTSP)

**Tableau II-2 : Canaux logiques fournis par la couche MAC**

Lorsque la couche RLC construit une unité de données ou Protocol Data Unit (PDU), elle la communique ensuite via le canal logique adéquat à la couche MAC. Cette dernière peut alors ajouter dans l'en-tête MAC l'identifiant de ce canal, si nécessaire. Après les traitements par la couche MAC, celle-ci délivre la PDU MAC à la couche physique via le canal de transport associé au canal logique. Le marquage du canal logique dans l'en-tête MAC permet à l'entité MAC distante de restituer cette information à la couche RLC, qui traite et aiguille ensuite correctement cette unité de données. Il est rendu nécessaire par le fait que, dans certains cas, plusieurs canaux logiques peuvent être multiplexés sur le même canal de transport. L'identification par l'entité paire du canal de transport n'est donc pas suffisante pour un aiguillage correct des données. La correspondance canal de transport – canal logique est configurée par la couche RRC lors de l'établissement de la connexion RRC ou de sa reconfiguration.

### b) Les canaux de transport

Un canal de transport est caractérisé par la façon dont les données sont transportées sur les ressources physiques, notamment :

## Chapitre II: Interface Radio du LTE

- la méthode d'accès aux ressources radio (scheduling dynamique, semi-persistant ou statique) ;
- les formats de transport autorisés, qui définissent les traitements de la couche physique à appliquer (type de codage de canal, schéma de transmission MIMO, etc.) ;
- la possibilité d'effectuer des retransmissions d'HARQ, et si oui, de quel type.

Plusieurs canaux de transport sont définis dans l'interface radio du LTE pour les sens montant et descendant, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant.

Canal de transport	Acronyme	Sens	Caractéristiques	Usage	Exemples d'information transmise
Broadcast Channel	BCH	DL	Ressources, périodicité et format de transport fixes et prédéfinis Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule	Pour la diffusion d'informations sur la cellule Le BCH porte exclusivement le BCCH, et en particulier le <i>Master Information Block (MIB, voir remarque)</i>	MIB (BCCH) : largeur de bande DL sur la cellule, numéro de trame système ( <i>SFN, System Frame Number</i> )
Downlink Shared Channel	DL-SCH	DL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ou semi-persistante de ressources et l'utilisation de la réception discontinue par l'UE (DRX) Peut bénéficier de beamforming, ou être transmis de manière omnidirectionnelle	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager Utilisé également pour transmettre les informations de cellule non portées par le BCH	Canaux DCCH, DTCH, CCCH Canal BCCH : diffusion des informations cellulaires autres que celles du MIB
Paging Channel	PCH	DL	Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule Partage les mêmes ressources physiques que le DL-SCH	Pour diffuser les informations de paging sur l'ensemble de la cellule	Canal PCCH
Random Access Channel	RACH	UL	Basé sur l'accès partagé aléatoire (« à contention ») qui implique un risque de collision entre plusieurs UE lors de la procédure d'accès au réseau	Pour l'établissement d'une connexion RRC avec la station de base, son rétablissement, lors d'un handover ou pour transmettre des données (ex. <i>Buffer Status Report</i> ) ou encore sur ordre de la station de base si la synchronisation en voie montante a été perdue	Préambule choisi de façon aléatoire par l'UE dans un jeu de préambules prédéfinis
Uplink Shared Channel	UL-SCH	UL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ou semi-persistante de ressources	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager	Canaux DCCH, DTCH, CCCH

**Tableau II-3 : Canaux de transport fournis par la couche physique**

### c) Les canaux physiques

Les canaux physiques fournissent le moyen de transmettre par radio les données des canaux de transport. Une SDU (Service Data Unit) reçue de la couche MAC via un canal de

## Chapitre II: Interface Radio du LTE

transport donné est appelée un bloc de transport. Un canal physique correspond à un ensemble d'éléments de ressource temps-fréquence (un élément de ressource est une sous-porteuse d'un symbole OFDM) dans la sous-trame. De plus, il est associé à des caractéristiques physiques particulières, comme une séquence d'embrouillage, des schémas de codage et modulation, des schémas MIMO (en voie descendante uniquement).

Les tableaux suivants présentent de manière synthétique les différents canaux physiques, pour la voie montante et la voie descendante respectivement.

Canal physique	Acronyme	Caractéristiques	Usage
Physical Uplink Shared Channel	PUSCH	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien	Pour la transmission du UL-SCH ; porte également les informations de contrôle du PUCCH en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps
Physical Uplink Control Channel	PUCCH	N'est jamais transmis simultanément au PUSCH d'un même UE (en Release 8)	Pour la transmission d'informations de contrôle nécessaires à l'HARQ (acquittements) et à l'allocation de ressources
Physical Random Access Channel	PRACH	Est formé d'un préambule spécifique à l'UE	Porte le RACH

**Tableau II-4 : Canaux physiques pour la voie montante**

Canal physique	Acronyme	Caractéristiques	Usage
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien.	Pour la transmission du DL-SCH et du PCH
Physical Broadcast Channel	PBCH		Pour la transmission du BCH
Physical Control Format Indicator Channel	PCFICH	Le PCFICH est placé dans le premier symbole OFDM de chaque sous-trame	Indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame
Physical Downlink Control Channel	PDCCH	Le PDCCH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame	Pour la transmission d'informations de contrôle : schéma de modulation et codage et allocation de ressources du DL-SCH et PCH, informations d'HARQ pour le DL-SCH Schéma de modulation et codage, allocation de ressources et informations d'HARQ pour le UL-SCH Ordre de déclenchement d'une procédure d'accès aléatoire
Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	PHICH	Le PHICH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame	Porte les acquittements d'HARQ

**Tableau II-5 : Canaux physiques pour la voie descendante**

d) Association des différents canaux

Les figures suivantes décrivent l'association entre les canaux logiques, de transport et physiques, respectivement pour la voie montante et la voie descendante.

Figure II-7 Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montante

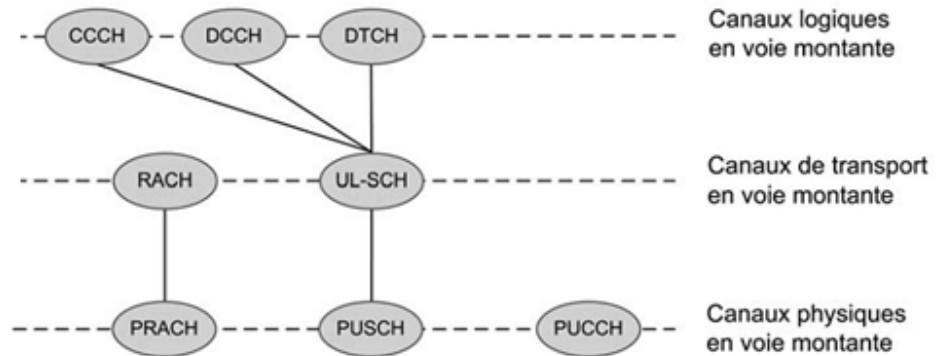
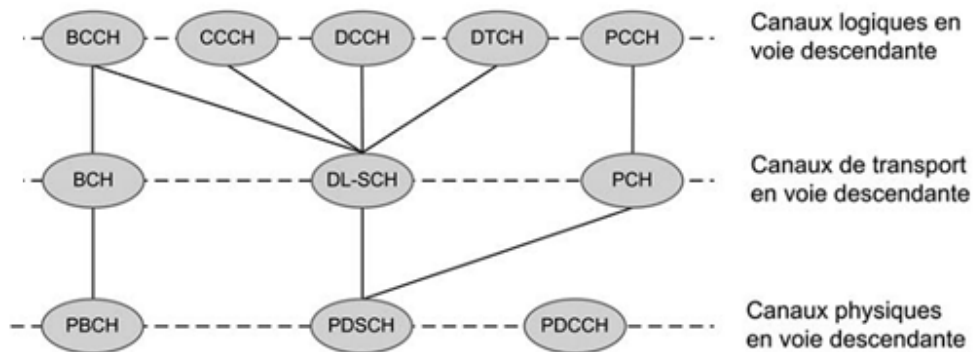


Figure II-8 Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descendante



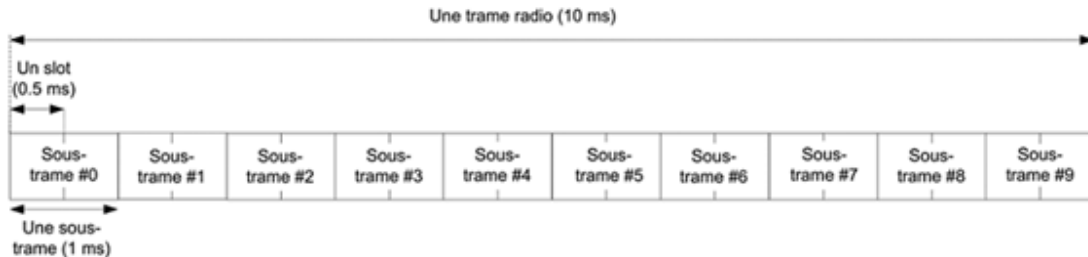
5. Structure de trame et dimension fréquentielle

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix sous-trames de 1 ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval), c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame, illustrés sur les deux figures suivantes :

- Le type 1 est adapté au FDD et au FDD half-duplex.
- Le type 2 est adapté au TDD.

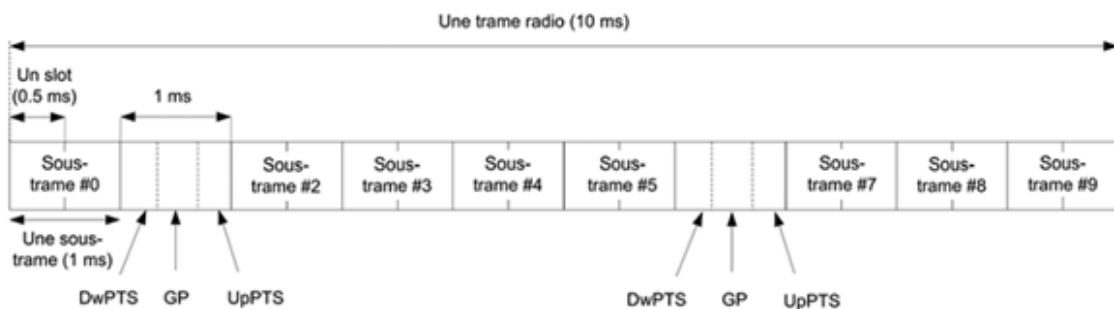
Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms chacun. Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante

par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes. En FDD half-duplex, un UE ne peut transmettre et recevoir simultanément, ce qui restreint le nombre de sous-trames utilisables dans chaque direction de transmission.



**Figure II-9 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex.**

En TDD, certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Ce temps de garde est noté GP (GuardPeriod) sur la figure suivante. Le temps de garde nécessaire au basculement de l'eNodeB entre la réception d'une sous-trame montante et l'émission d'une sous-trame descendante est créé par l'eNodeB en avançant dans le temps les sous-trames montantes par rapport aux sous-trames descendantes. Une avance de temps par défaut de 20  $\mu$ s est ainsi spécifiée en TDD, car cette durée est attendue comme la valeur maximale potentiellement nécessaire aux équipements pour basculer de réception à émission [3GPP RAN WG4, 2008]. Au plus, deux sous-trames spéciales sont présentes par trame, afin de limiter la perte d'efficacité du système due au temps de garde.



**Figure II-10 : Structure de trame en TDD**

Les configurations TDD voie montante/voie descendante possibles en LTE sont données dans le tableau suivant.

**Configurations voie montante (U)/voie descendante (D). S note la sous-trame spéciale**

Configuration voie montante/ voie descendante	Périodicité du basculement de la voie descendante vers la voie montante	Numéro de la sous-trame									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

**Tableau II-6 : Configurations voie montante (U)/voie descendante (D). S note la sous-trame spéciale**

On note que les sous-trames 0 et 5 sont toujours réservées pour une transmission en voie descendante.

Outre le temps de garde, la sous-trame spéciale porte les champs DwPTS (Downlink Pilot Time Slot) et UpPTS (Uplink Pilot Time Slot), réservés pour les transmissions respectivement en voie descendante et en voie montante. Malgré la signification de leurs acronymes, héritée de l'UMTS TDD, ces champs ne contiennent pas que des signaux de référence.

Le mode FDD half-duplex requiert également un temps de garde afin que l'UE puisse basculer de l'émission à la réception, et inversement. Pour la transition voie descendante vers voie montante, ce temps de garde est créé par l'UE en ne recevant pas la fin d'une sous-trame descendante précédant immédiatement une sous-trame montante. Pour la transition voie montante vers voie descendante, le temps de garde est assuré par l'eNodeB via la commande d'avance de temps, comme en TDD. La manière de réaliser le half-duplex n'est pas spécifiée.

### **6. La dimension fréquentielle en LTE**

Par rapport à l'UMTS, la couche physique du LTE introduit une rupture majeure : l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), un mode d'accès multiples basé sur l'OFDM, en remplacement de l'accès multiple à répartition par codes (CDMA).

De par la dimension fréquentielle introduite par l'OFDMA et le SC-FDMA, l'allocation de ressources en LTE s'effectue à la fois dans les dimensions temporelle et fréquentielle. Les ressources radio en voie descendante et voie montante se présentent ainsi sous la forme d'une grille temps-fréquence représentée à la figure suivante. La plus petite unité de ressource fréquentielle pouvant être allouée à un UE par le scheduler est le PRB (Physical Resource Block).

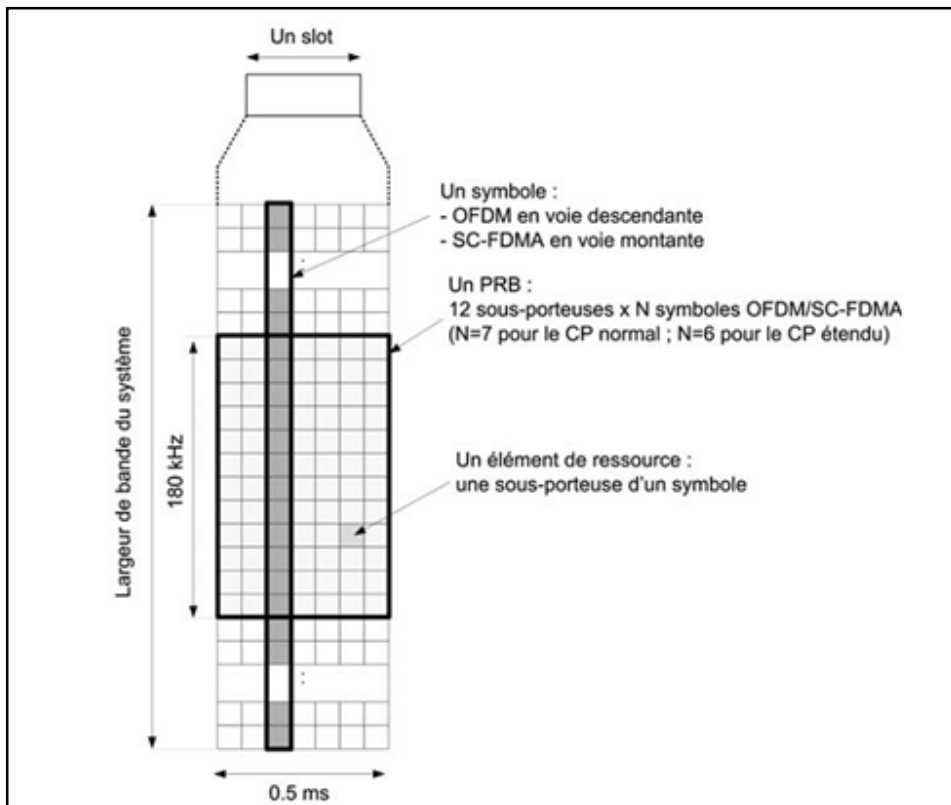


Figure II-11 : Grille de ressources temps-fréquences en voies montante et descendante

Un PRB dure 0,5 ms, soit un slot, et est constitué de plusieurs symboles OFDM (ou SC-FDMA). Rappelons qu'un symbole OFDM représente le signal dans le domaine temporel correspondant à un bloc de symboles de modulation émis sur les différentes sous-porteuses de la bande du système. La durée d'un symbole dépend de la valeur du préfixe cyclique (CP voir II.7). La largeur de bande d'un PRB est de 12 sous-porteuses, soit 180 KHz.

Une sous-porteuse d'un symbole OFDM/SC-FDMA est appelée un élément de ressource. Un élément de ressource porte un symbole de modulation en OFDM.

Les ressources s'allouent par paire de PRB, les PRB d'une paire étant alloués dans deux slots consécutifs d'une même sous-trame. Le nombre de PRB dans la dimension fréquentielle dépend de la largeur de bande du canal, comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau II-7 Largeur de bande du système en nombre de PRB

	Largeur de bande du canal (MHz)					
	1.4	3	5	10	15	20
Largeur de bande du système en nombre de PRB	6	15	25	50	75	100

La largeur de bande disponible pour la transmission est appelée la largeur de bande du système. Elle est inférieure à la largeur de bande du canal, comme décrit à la figure suivante, afin de laisser des bandes de garde de part et d'autre pour limiter l'interférence de canal adjacent.

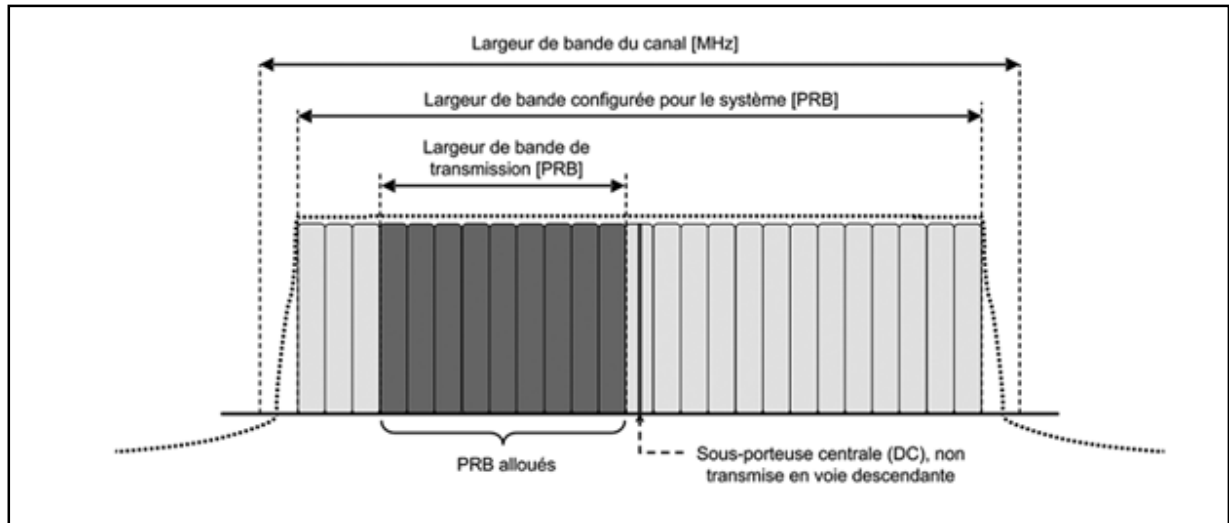


Figure II-12 : Bande du canal et bande du system

### 7. Principe de l'OFDM

Le principe de l'OFDM consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission indépendants et à des fréquences différentes.

Pour que les fréquences des sous-porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquences donnée, l'OFDM utilise des sous-porteuses orthogonales entre elles. Les signaux des différentes sous-porteuses se chevauchent mais grâce à l'orthogonalité n'interfèrent pas entre eux.

En codage orthogonal, l'espacement entre chaque sous-porteuse doit être égal à  $\Delta f = 1/(TU)$  hertz, où TU secondes est la durée utile d'un symbole. Par conséquent, avec N sous-porteuses, la largeur totale de la bande passante sera de  $B \approx N \cdot \Delta f$  (Hz).

L'orthogonalité permet également une haute efficacité spectrale, la bande passante étant quasiment utilisée dans son intégralité. Le multiplexage orthogonal produit un spectre de fréquence presque plat (typique du bruit blanc), ce qui entraîne un minimum d'interférences avec les canaux adjacents. Un filtrage séparé de chaque sous-porteuse n'est pas nécessaire pour le décodage, une Transformée de Fourier Rapide FFT étant suffisante pour séparer les porteuses entre elles.

Un préfixe cyclique « CP » est utilisé dans les transmissions OFDMA, afin de conserver l'orthogonalité et les propriétés sinusoïdales du signal pour les canaux à trajets multiples. Ce préfixe cyclique est ajouté au début des symboles émis (figure II-10). En LTE, deux longueurs différentes de préfixe cyclique sont prévues pour s'adapter à des temps différents de propagation du canal de transmission qui dépendent de la taille de la cellule radio et de l'environnement : un préfixe cyclique normal de 4,7  $\mu$ s, et un préfixe cyclique étendu de 16,6  $\mu$ s utilisé dans les très grandes cellules radio.

Le décodage OFDM nécessite une synchronisation très précise de la fréquence du récepteur avec celle de l'émetteur. Toute déviation en fréquence entraîne la perte de l'orthogonalité des sous-porteuses et crée par conséquent des interférences entre celles-ci. Cette synchronisation devient difficile à réaliser dès lors que le récepteur est en mouvement, en particulier en cas de variation de vitesse, de direction ou si de nombreux échos parasites sont présents.

Chaque sous-porteuse est modulée indépendamment en utilisant des modulations numériques : BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64,...

### Les avantages de l'OFDM

- Une utilisation efficace des ressources fréquentielles en comparaison avec les solutions classiques de multiplexage fréquentiel. Ceci est dû au fait que dans l'OFDM, les canaux se chevauchent tout en gardant une orthogonalité parfaite.
- Les techniques multi-porteuses sont robustes au bruit impulsif puisque chaque porteuse est affectée d'un bruit indépendant des autres porteuses. Contrairement aux modulations mono porteuses où le bruit peut affecter un certain nombre de symboles transmis, la perte d'un symbole dû à un bruit important n'affecte pas les autres symboles.
- Les techniques OFDM ont une très grande flexibilité dans l'allocation de bit/débit dans des contextes multiutilisateurs. En effet, en fonction de la valeur du gain instantané du canal, chaque sous-porteuse peut-être codée indépendamment des autres porteuses.

Le diagramme dans la figure ci-dessous prise du TS 36.8929 illustre les caractéristiques essentielles d'un signal OFDM en fonction de la fréquence et du temps. Dans le domaine fréquentiel, de multiples sous-porteuses adjacentes sont indépendamment modulées par les données, puis dans le domaine temporel, les intervalles de garde sont ajoutés entre les symboles pour éviter les interférences entre les symboles au récepteur causés par les retards dus aux multi-trajets.

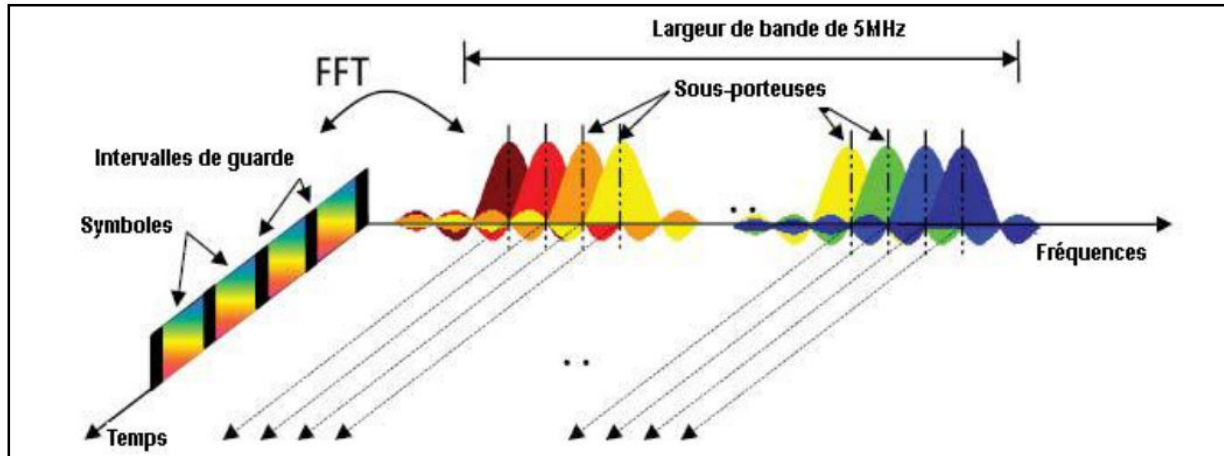


Figure II-13 : Caractéristiques essentielles d'un signal OFDM en fonction de la fréquence et du temps

# CHAPITRE III

---

La Qualité de Service (QoS) et la  
Gestion des Ressources Radio

---

## Chapitre III : La Qualité de Service (QoS) et la Gestion des Ressources Radio

### 1. Gestion de la qualité de service dans les réseaux LTE (QoS)

Comme décrit dans les deux chapitres précédents, dans tout réseau, les ressources de transmission et de traitement au sein des nœuds sont limitées et partagées entre les utilisateurs. Selon la nature et la technologie du réseau, l'accroissement de ces ressources par l'opérateur peut être complexe et coûteux. Dans un réseau mobile par exemple, la ressource radio (spectre) est particulièrement onéreuse. Cette préoccupation a conduit à considérer des mécanismes optimisant l'utilisation de ces ressources sur l'interface radio, mais également sur les autres interfaces du réseau impliqués dans le plan usager. Ces mécanismes de Qualité de Service ou QoS visent à offrir à l'utilisateur le service demandé avec une qualité satisfaisante, tout en minimisant les ressources utilisées pour y parvenir.

Les figures suivantes illustrent l'importance de tels mécanismes. Dans cet exemple, l'UE2 a un appel voix en cours, avec un débit assez stable. L'UE1 navigue sur Internet et démarre un téléchargement. En l'absence de mécanisme approprié de partage de ressources, l'UE1 monopoliserait à partir de cet instant la bande passante du système, privant l'UE2 de ressources pour recevoir des données. En revanche, en autorisant un débit instantané maximal à l'UE1 et en garantissant un débit minimal à l'UE2 pour son appel voix, le trafic de l'UE1 sera lissé, tandis que l'UE2 pourra recevoir des données au rythme auquel elles sont produites, sans subir les variations de débit de l'UE1.

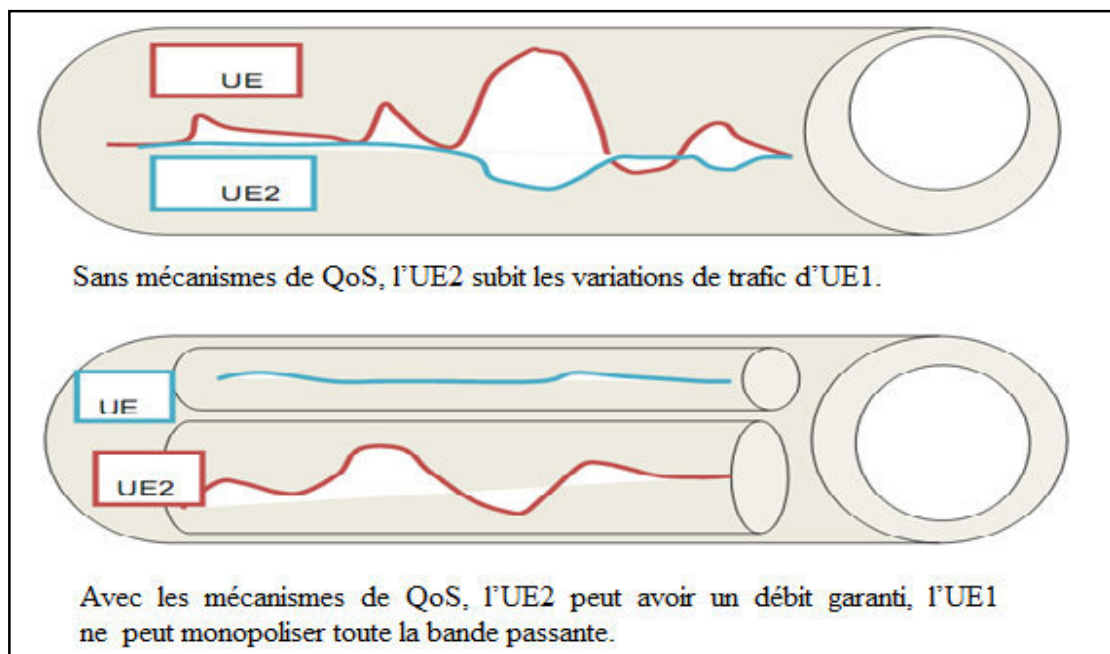


Figure III-1 : Gestion de la QoS dans les réseaux radio mobiles.

Pour affecter efficacement les ressources aux besoins d'un appel, la notion de bearer a été introduite.

Un bearer peut être vu comme un tuyau entre deux entités du réseau qui communiquent entre elles sur une interface, tuyau dont certaines caractéristiques sont négociées entre ces entités lors de son établissement et qui permet le transfert de données. Le concept de bearer est ainsi décliné sur les interfaces du réseau dont les ressources doivent être économisées, et en particulier sur :

- L'interface radio, entre l'UE et l'eNB ;
- L'interface S1 entre l'E-UTRAN et le réseau cœur ;
- Les interfaces du réseau cœur

Les bearers sur ces interfaces forment un bearer associé, entre l'UE et le réseau cœur : le bearer EPS ou EPS bearer.

La connectivité à un réseau de données via l'E-UTRAN et l'EPC est assurée par un bearer EPS. Celui-ci porte les flux de trafic qui doivent recevoir un même traitement de QoS entre l'UE et la P-GW (Packet Data Network Gateway). Il est constitué des éléments suivants :

- Le radio bearer sur l'interface Uu, entre l'UE et l'eNB ;
- Le bearer S1, entre l'eNB et la S-GW (interface SI-U) ;
- Le bearer S5/S8, entre la S-GW et la P-GW

Le radio bearer et le bearer S1 forment en outre une connexion logique entre l'UE et la S-GW : l'E-RAB (E-UTRAN Radio Access Bearer), qui constitue un élément agrégé du bearer EPS.

Enfin, l'association du bearer EPS et du bearer sur le réseau de données externe fournit le support de bout-en-bout pour le service.

Ces éléments et entités du réseau qui le portent sont représentés sur la figure suivante :

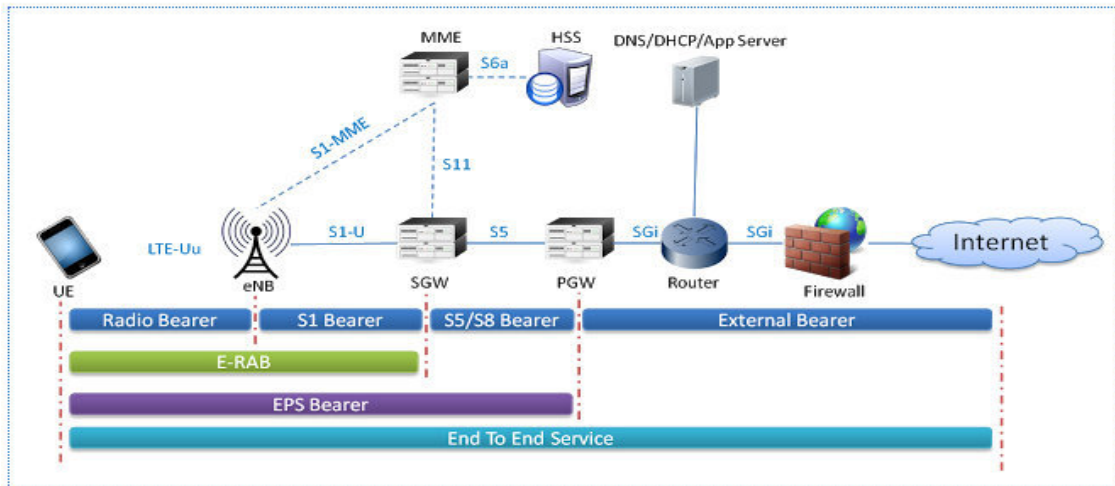


Figure III-2 : les différents types de bearers

Un bearer EPS ou support EPS est caractérisé par des paramètres protocolaires, qui permettent le routage de bout-en-bout des données transmises sur ce bearer, mais également par des paramètres de QoS.

### a) Bearer par défaut et bearer dédié

L'avantage de l'application de mécanismes de QoS est de répondre aux besoins spécifiques de chaque type de trafic est d'identifier et traiter distinctement des flux dont les caractéristiques et les contraintes diffèrent de façon notable. Les concepts de bearer EPS par défaut et bearer EPS dédié ont été définis dans cette optique.

Au niveau de l'UE, seuls les paquets de données destinés à une transmission sur la voie montante passent dans le masque de trafic de l'UE-UL-TFT1 (Traffic Flow Template 1), pour les orienter sur la bearer EPS adéquat ; les données reçues de la P-GW sont, elles, remises à l'application en fonction du bearer EPS par lequel elles sont portées. Le flux web des applications « actu » et « météo » correspond typiquement à des requêtes http, portés sur TCP, vers le portail Web de l'opérateur, tandis que le flux de l'appel vidéo consiste en des paquets destinés à l'UE distant et produits par le codec vidéo (par exemple H264 sur RTP/UDP). De façon similaire, la P-GW ne compare que les données pour la voie descendante aux masques de trafic DL-TFT1 et DL-TFT2, et les données reçues de l'UE sont directement routés vers l'entité distante désignée par l'adresse IP destination.

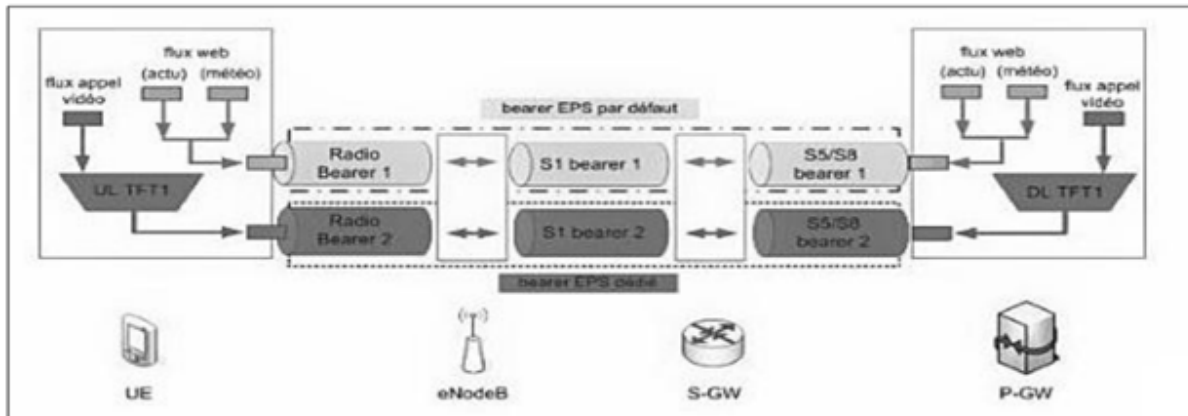


Figure III-3 : Utilisation des TFT dans le sens UL et DL pour le multiplexage des données sur le plan usager

Le système LTE/EPC, par l'intermédiaire de la P-GW, peut prendre l'initiative d'établir un bearer dédié sans demande préalable de l'UE, par exemple s'il détecte un nouveau flux qui devrait, dans la politique de l'opérateur, bénéficier d'un traitement spécifique en termes de QoS notamment. C'est par exemple le cas si l'utilisateur, en naviguant sur le portail de l'opérateur, ouvre un contenu vidéo ou audio streaming. L'opérateur peut en effet faire le choix de différencier ce flux du trafic de navigation alors que l'UE ne demande pas de QoS spécifique. De cette façon, l'application de la QoS de l'opérateur n'est pas dépendante de l'implémentation des terminaux.

**QCI (QoS Class Identifier) :** Le QCI est un scalaire qui est utilisé pour le traitement de transfert de paquets bout-en-bout entre le terminal et la passerelle, dépend de type de bearer (GBR ou non GBR), la priorité, le delay (retard des paquets) et des PLR Packet Loss Rate (Taux de perte de paquets).

QCI	Bearer Type	Priority	Packet Delay	Packet Loss	Example
1	GBR	2	100 ms	$10^{-2}$	VoIP call
2		4	150 ms		Video call
3		3	50 ms	$10^{-3}$	Online Gaming (Real Time)
4		5	300 ms		Video streaming
5	Non-GBR	1	100 ms	$10^{-6}$	IMS Signaling
6		6	300 ms		Video, TCP based services e.g. email, chat, ftp etc
7		7	100 ms	$10^{-3}$	Voice, Video, Interactive gaming
8		8	300 ms		$10^{-6}$
9	9				

3GPP TS 23.203 V8.9.0 Standardized QCI characteristics

GBR: The minimum guaranteed bit rate per EPS bearer. Specified independently for uplink and downlink

Tableau III-1 : Caractéristique de QCI

### 2. Gestion des ressources radio RRM (Radio Resource Management)

#### a) Les contraintes d'allocation des ressources

1- Les retards de paquets (PacketDelays) ou Latence : Pour les applications multimédia sensibles aux retards, comme la vidéo en streaming, les retards de paquets sont essentiels pour maintenir la qualité de service approprié. Dans un scheduler efficace, les retards de paquets doit être aussi courte que possible.

2- Équité (Fairness) Le concept d '«équité» est amorphe et difficile à définir, car il peut avoir un sens très différent selon le réglage considéré. Dans le domaine d'attribution des ressources radio, dans certains cas, l'équité implique un partage équitable de la ressource. Il est vrai si et seulement si, tous les flux sont exactement les mêmes, cela signifie qu'ils possèdent tous les mêmes caractéristiques comme la taille, la qualité de canal, etc. D'autre part ce concept ne fonctionne pas dans un groupe hétérogène de flux. En LTE, les flux sont différents, dans cette thèse, nous supposons «équité» comme une question de savoir si les utilisateurs reçoivent un montant de ressources qu'ils méritent ou non. En outre, nous sommes intéressés à quantifier le niveau d'équité lorsque l'ordonnancement n'est pas parfaitement juste.

3- Type de service (Type of Service) : Dans LTE, il existe deux principaux types de services: le temps réel (RT) et non en temps réel (NRT). Il est important de définir ce type de service, car il va être utilisé afin de décider de la priorité d'ordonnancement. Par exemple, une vidéoconférence a besoin d'une allocation dynamique des ressources tandis qu'un SMS peut être retardés sans causer de problème.

4- L'état de la mémoire tampon (Buffer Status) : L'état de la mémoire tampon fournit des informations sur le nombre de paquets en instance dans une file d'attente. L'état de la mémoire tampon est fortement lié au débit. Par exemple, dans une application vidéo le débit pourrait être 384 kbps et 8.4 Kbps pour le service VoIP, cela peut interprète que la file d'attente vidéo sera plus longue que la VoIP.

5- Complexité : La complexité du temps de quantifier la quantité de temps prise par un algorithme pour exécuter, en fonction de la taille de l'entrée. L'allocation des ressources dans le LTE est effectuée à chaque TTI qui est de 1 ms, un algorithme efficace doit fournir des résultats de sortie dans un temps plus court qu'un TTI. Par conséquent, un scheduler efficace doit avoir une faible complexité.

6- Conditions de canal. La qualité des canaux peut être considérée comme l'un des facteurs les plus importants dans un scheduler. Dans de mauvaises conditions canal la perte des paquets importants est possible.

#### b) Technique d'allocation des ressources radio

L'objectif le plus important dans LTE est l'ordonnancement des ressources radio afin de satisfaire aux exigences en QoS de toutes les applications. Cet objectif est très difficile à atteindre en présence des applications multimédia temps réel caractérisées par une intolérance au délai de transmission des paquets. Dans les systèmes LTE, on exploite le fait que les utilisateurs n'ont pas la même sensibilité face aux perturbations du canal radio mobile. En effet, en présence

de plusieurs utilisateurs, il est toujours possible de trouver un utilisateur ayant une bonne qualité du signal transmis sur le canal radio.

Fort de cette idée, les algorithmes d'ordonnancement PF, EXP et M-LWDF sont devenus les algorithmes les plus connus dans les stratégies d'ordonnancement dans les réseaux LTE car les décisions d'allocation sont strictement basées sur la qualité du canal expérimentée par chaque UE qui mesure périodiquement la qualité du canal à partir des symboles de références et renseigne l'eNB à travers les messages CQI (Channel Quality Information). Cette information est utilisée par la suite par l'ordonnanceur pour distribuer les RBs (Resource Block) entre les utilisateurs. Cette information est également utilisée par le module AMC (Adaptive Modulation Coding) qui sélectionne pour chaque UE le schéma de modulation et de codage adéquat afin de maximiser l'efficacité spectrale voir figure III-4.

Au début de chaque sous-trame, l'ordonnanceur sélectionne tous les flux qui peuvent être ordonnancés. Un flux peut être ordonnancé si et seulement s'il contient des données de paquets à transmettre dans la couche MAC et que le récepteur à qui est destiné le flux est dans un état actif.

A chaque TTI, l'ordonnanceur calcule une métrique pour chaque flux qui peut être ordonnancé. Nous supposons que la métrique attribuée au flux  $i$  sur le sous-canal  $j$  est définie par  $W_{i,j}$ . Les algorithmes différents suivant la méthode de calcul de la métrique.

L'ordonnanceur opère en attribuant le sous-canal  $j$  au flux  $i$  ayant la plus grande métrique.

#### c) Paramètres de la gestion des ressources radio

Afin d'avoir une répartition efficace des ressources radio, le LTE utilise plusieurs paramètres RRM tels que les rapports CQI, HARQ et le AMC. Ils sont placés au niveau des couches physiques et MAC, et fortement interagissent les uns avec les autres pour améliorer l'utilisation des ressources radio disponibles. La figure III-4 montre une description générale des principaux paramètres et leurs interactions en termes d'échange de données et de signalisation.

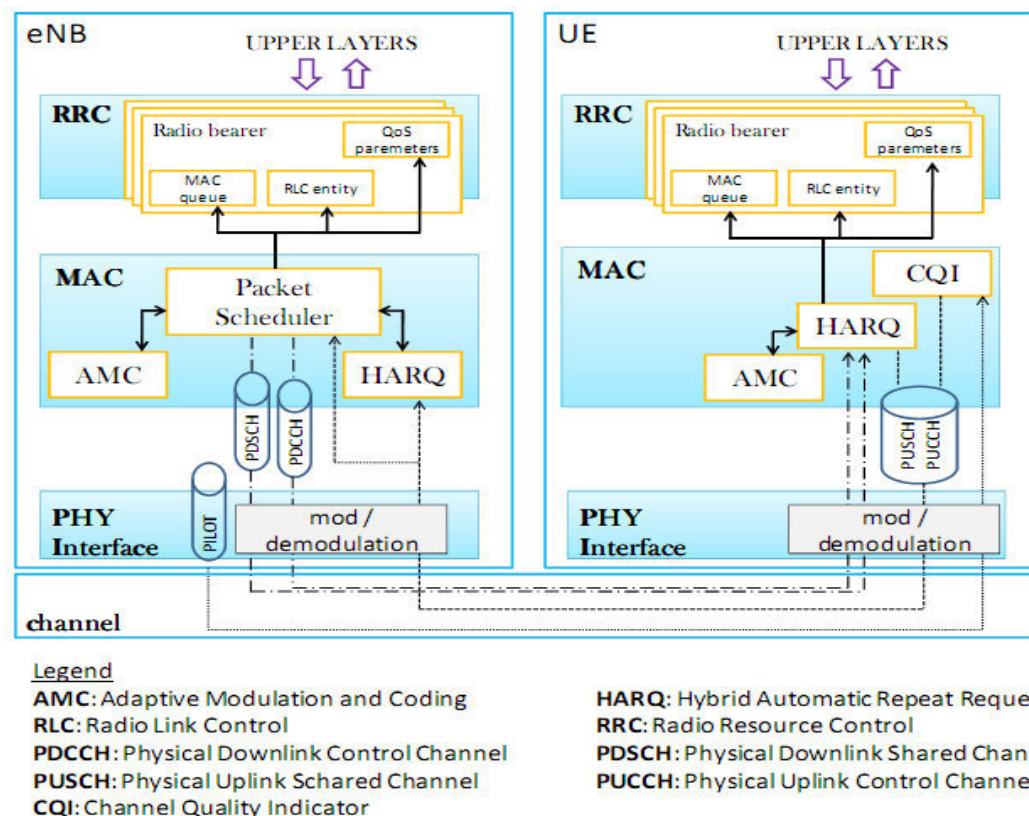


Figure III-4 : Interaction des principales caractéristiques de la gestion des ressources radios.

- **Les rapports CQI (CQI reporting):** La procédure des rapports CQI est une caractéristique fondamentale des réseaux LTE car elle permet l'estimation de la qualité de la voie descendante à l'eNB. Chaque CQI est calculé comme une mesure quantifiée du SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio). Les rapports CQI, cependant, est hors de la portée de ce document, nous vous conseillons de vous reporter à [13] pour plus de détails sur le sujet.
- **Le HARQ (Hybrid ARQ):** L'objectif du protocole HARQ de la couche MAC est surtout de garantir un très faible taux de pertes de trame, il signifie que :
  - l'émetteur d'un bloc de données peut retransmettre un bloc non correctement reçu.
  - le récepteur est capable de combiner à la réception plusieurs blocs portant sur la même donnée d'origine.
- **AMC:** La procédure des rapports CQI est strictement liée au module AMC, qui sélectionne le schéma de la modulation et de codage MCS, en essayant de maximiser le débit d'utilisateur supporté.

**d) Model simplifié de l'ordonnanceur des paquets**

La Figure III-5 représente les principaux modules de la gestion des ressources radio (MRR) qui interagissent avec l'ordonnanceur des paquets dans la liaison descendante.

L'ensemble du processus peut être divisé en une séquence d'opérations qui se répètent, en général pour chaque TTI:

- 1) chaque UE décode les signaux de référence, calcule le CQI, et le renvoie à l'eNB.
- 2) Le eNB utilise les informations CQI pour les décisions d'affectation et remplit un « masque de répartition » de RB.
- 3) Le module AMC sélectionne les meilleurs MCS qui doivent être utilisés pour la transmission de données.
- 4) L'information sur cet usager, les RBS alloués, et les MCS choisies sont envoyées aux UE sur le PDCCH.
- 5) Chaque UE lit la charge utile PDCCH.

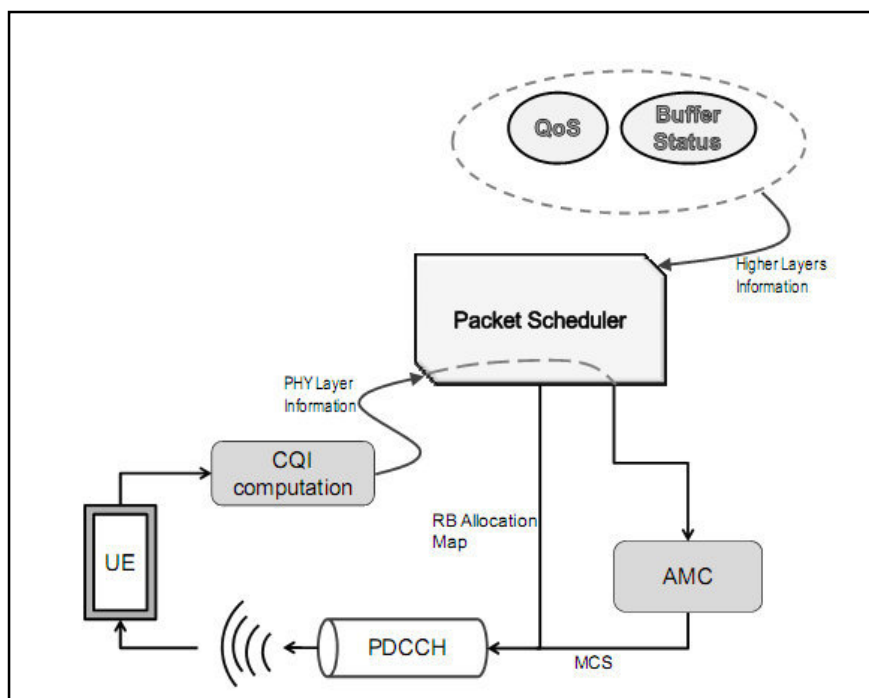


Figure III-5 : Model simplifié de l'ordonnanceur des paquets

e) **Algorithmes d'allocation des ressources radio** : pour plus de détails voir [09][10][11]

➤ **L'algorithme PF (ProportionalFair)**

Cet ordonnanceur associe les ressources radio en prenant en compte conjointement la qualité du canal et le débit achevé par chaque utilisateur dans les TTIs antérieurs. L'objectif de cet algorithme est de maximiser le débit total du réseau et de garantir une équité (fairness) entre les flux. Pour cet algorithme, la métrique est définie comme le rapport entre le débit instantané disponible pour le flux  $i$  ( $r_{i,j}$ ) et le débit moyen (calculé à l'instant  $k-1$ ) du flux  $i$  ( $R_i$ ).

$$w_{i,j} = \frac{r_{i,j}}{R_i}$$

La valeur de  $r_{i,j}$  est calculée par le module AMC en considérant la valeur du CQI sur le sous-canal  $j$  envoyé par l'UE à qui est destiné le flux  $i$ .

➤ **L'algorithme M-LWDF (Modified Largest Weighted Delay First)**

Cet ordonnanceur supporte ou prend en charge un utilisateur pouvant demander multiples services avec des exigences en QoS différentes, pour chaque flux et en temps réel, en considérant le délai maximal  $\tau_i$ , la probabilité  $\delta_i$  est définie comme la probabilité maximale pour que le délai du premier paquet de la file d'attente  $D_{HOL,i}$  excède le délai maximal fixé.

Afin de donner la priorité aux flux temps réel ayant le plus grand délai (délai du premier paquet de la file d'attente) et ayant les meilleures conditions de propagation sur le canal radio, la métrique a été définie dans cet ordonnanceur par :

$$w_{i,j} = \alpha_i D_{HOL,i} \frac{r_{i,j}}{R_i}$$

où  $r_{i,j}$  et  $R_i$  ont les mêmes significations que dans les paragraphes précédents et est donné par :

$$\alpha_i = - \frac{\log \delta_i}{\tau_i}$$

Pour les trafics non temps réel, métrique est calculé à partir de l'équation fournie par l'algorithme PF.

➤ **L'algorithme EXP (Exponential Fair)**

Cet ordonnanceur a été conçu pour améliorer la priorité des flux temps réel tout en permettant aux trafics non temps réel de bénéficier d'un minimum de satisfaction. Le paquet d'entête de file d'attente de ces flux a un délai très proche du délai maximal. Pour les flux temps réel, la métrique est calculée en utilisant les équations suivantes:

$$w_{i,j} = \exp\left(\frac{\alpha_i D_{HOL,i} - \chi}{1 + \sqrt{\chi}}\right) \frac{r_{i,j}}{R_i}$$

Où les symboles ont les mêmes significations que précédemment et la valeur de  $\chi$  est donnée par :

$$\chi = \frac{1}{N_{rt}} \sum_{i=1}^{N_{rt}} \alpha_i D_{HOL,i}$$

Avec  $N_{rt}$  le nombre de flux en temps réel actif dans le sens DL. Par ailleurs, la métrique des trafics non temps réel sont calculés avec la métrique de l'algorithme PF. Dans l'algorithme EXP,

---

### Chapitre III: La Qualité de Service (QoS) et la Gestion des Ressources Radio

---

les paquets temps réel dont le délai à excéder le délai maximal avant la transmission sont supprimés de la file d'attente dans la couche MAC.

<i>Algorithm</i>	<i>Reference</i>	<i>Buffer Status</i>	<i>Channel Condit.</i>	<i>Partial Fairness</i>	<i>General Fairness</i>	<i>Low Complexity</i>	<i>Multi-service</i>
PF	[11]		✓	✓		✓	
MLWDF	[10]	✓	✓	✓		✓	
EXP PF	[09]	✓	✓	✓		✓	✓

**Table III-2**

# CHAPITRE IV

---

Simulation et Résultats expérimentaux

---

### I. CHAPITRE IV : Simulation et Résultats expérimentaux

#### 1. Introduction :

L'ordonnement de paquets est l'un des mécanismes de la gestion des ressources radio, il est responsable de l'utilisation optimale des ressources disponibles du système. La nécessité de soutenir les diverses exigences de qualité de service, tout en maximisant le débit du système est l'un des principaux défis dans la conception d'algorithmes d'ordonnement de paquets dans le système de la liaison descendante du LTE.

#### But de simulation :

Le But de cette simulation est d'examiner les performances des algorithmes d'ordonnements PF, M-LWDF et EXP du LTE, ensuite, on va identifier l'algorithme d'ordonnement de paquets adéquat pour les applications RT et NRT. L'évaluation des performances est menée en termes de débit du système pour les applications temps réel (RT) et les applications non temps réel (NRT), les pertes de paquets, et les retards des paquets pour les deux services. Un trafic de VOIP est utilisé pour modéliser le service RT, tandis qu'un téléchargement d'une vidéo est modélisé pour le service NRT, afin d'aboutir notre but en va utiliser le simulateur LTE-SIM.

#### 2. Le simulateur LTE-SIM

A l'heure actuelle, il n'existe pas de simulateur complet gratuit du réseau LTE. En fait, la plupart des fournisseurs d'équipements de communication mobiles ont mis en œuvre leurs propres simulateurs. Par ailleurs, d'autres simulateurs, développés dans les coopérations universitaires-industriel, peuvent être achetés au moyen d'une licence commerciale, et leurs codes sources ne sont pas accessibles au public. Un simulateur LTE basé sur Matlab a été proposé avec la mise en œuvre d'une liaison descendante conforme à la couche physique de la norme LTE, la modulation adaptative, plusieurs utilisateurs, transmission MIMO mais il ne tient pas compte des aspects pertinents de simulation LTE. Le manque d'un simulateur commun de référence pose de sérieux problèmes dans la comparaison des résultats présentés par différents groupes de recherche. Pour combler cette lacune, LTE-SIM a été créé pour simuler les réseaux LTE et fournir une vérification complète de la performance des systèmes LTE. LTE-Sim englobe plusieurs aspects de réseaux LTE, incluant à la fois l'accès universel Evolved Radio Terrestre (E-UTRAN) et le Système Evolved Packet (EPS).

Le logiciel LTE-SIM, logiciel Open Source SIMULATOR a été conçu pour faire des simulations des stratégies d'ordonnement en lien montant (UL) et descendant (DL) dans des environnements multi-cellules/multi-usagers prenant en compte la mobilité des usagers, l'optimisation des ressources radio, la réutilisation des fréquences, la modulation adaptative (AMC) ainsi que d'autres aspects significatifs pour l'industrie et la communauté scientifique.

Il permet de simuler un réseau de télécommunication selon les scénarios que l'utilisateur lui définit, par exemple la simulation d'une transmission dans un milieu urbain macrocellules prenant en compte l'aspect multiutilisateurs, multiservices, la mobilité des utilisateurs.

LTE-Sim permet aux communautés industrielles et scientifiques de tester des techniques avancées pour l'amélioration des réseaux cellulaires 4G telles que de nouvelles fonctionnalités physiques, des protocoles, des architectures de réseau innovantes et des stratégies de planification de haut niveau. LTE-Sim est disponible gratuitement sous la licence GPLv3 [12].

LTE-Sim peut simuler plusieurs types de services comme BE, VoIP, vidéo et CBR. Plus de services peuvent être ajoutés si nécessaire. Les couches MAC et PHY sont bien structurés, ils sont modélisés en suivant les spécifications 3GPP.

Les caractéristiques que présente LTE-SIM ont été comparées à d'autres plates-formes de simulation comme NS3 et OMNET. NS3 possède seulement une implémentation de base de l'architecture technologie LTE, concept de porteurs et des modèles physiques de base, mais la couche MAC n'est pas très bien mise en œuvre et la couche PHY manque de standardisations 3GPP. OMNET a mis en œuvre uniquement la couche PHY de l'architecture LTE, il montre également un manque de modèles de services. Depuis LTE-Sim semble être le simulateur le plus complet pour effectuer cette tâche, pour cela j'ai choisi LTE-SIM comme le principal outil pour cette recherche.

Dans l'annexe 1 nous allons en mettre en place la procédure d'installation du logiciel LTE-SIM sous les environnements Windows et Linux pour limiter les risques à l'indisponibilité de certaines bibliothèques.

Pour mieux comprendre le simulateur LTE-SIM, jeter un œil à cette publication [12]

### 3. Fonctionnalités Cette liste n'est pas exhaustive

- Environnement mono et multicellulaire (macro, micro, femto).
- Gestion de QOS.
- Environnement multiutilisateurs.
- Mobilité
- UDP en dans la couche transport
- TDD, FDD.
- Algorithme d'ordonnancement PF EXP, et M-LWDF.
- Modulation AMC.

### 4. Structure du logiciel

Le simulateur est composé de 4 grandes classes

- Simulator
- NetworManager
- Flows Manager
- FrameManager.

- **Simulator:** Cette classe permet la gestion des événements.
- **NetworkManager :** Cette composante permet la création des équipements, gestion de la position des UE, la mobilité, et la gestion des techniques de réutilisation des fréquences.
- **FrameManager:** La mise en œuvre effective de la structure de trame LTE est garantie par cette composante. Il est en charge de la programmation correcte des trames et sous-trames (c'est-TTI) et de la synchronisation de tous les eNBs.
- **FlowManager :** Permet la gestion des applications (flux).

### 5. Présentation des différentes étapes de création des scenarios

Un scénario de simulation est constitué par plusieurs objets, modélisant les principaux éléments d'un système LTE.

Dans LTE-Sim, un scénario LTE peut être créé en tant que fonction statique dans un fichier en-tête C++, qui doit être stocké dans le dossier scénarios. Il convient d'ajouter cette fonction dans le programme principal. De cette façon, l'utilisateur est capable de simuler un scénario approprié LTE, en le sélectionnant directement à partir du programme principal.

En créant:

- a. des instances Simulator, NetworkManager, FlowManager, FrameManager.
- b. des cellules, des eNodeB et des UE en utilisant les méthodes de la classe NetworkManager
- c. des applications et pour chacune d'elles définir le type de donnée radio Bearer, les paramètres IP, début, fin, les paramètres de qualité de service. En Définissant la durée de la simulation et lancer la simulation par la méthode Simulator:RUN ().

### 6. Gestion de la mobilité des utilisateurs dans LTE-Sim

Afin de prendre en compte la mobilité des utilisateurs pour assurer une simulation réaliste, LTE-Sim propose un système inter-cellules prenant en compte la procédure de handover.

Cinq modèles de mobilité les plus rencontrés sont supportés par la version 4.0 de LTE-Sim à savoir le modèle **RandomWalk**, le modèle aléatoire de direction (**Random Direction**), le modèle de **Manhattan**, le modèle **Constant Position** et le modèle **RandomWay Point**.

#### a) Le modèle Randon Walk

Ce modèle est développé pour imiter un mouvement imprévisible. Un nœud mobile dans ce modèle se déplace de son endroit courant à un nouvel endroit en choisissant aléatoirement une direction et une vitesse suivant lesquelles il se déplace. La nouvelles vitesse et direction toutes les deux sont choisies dans des gammes prédéfinies entre  $[0, 2\pi]$  respectivement. Un nœud mobile atteignant la frontière de simulation, rebonds avec l'angle

déterminé par la direction entrante et puis continue le long du nouveau chemin. Par défaut, la distance parcourue est égale à 200, 400, 1000 m lorsque la vitesse de l'utilisateur est égal à 3, 30 et 120 kilomètres par heure, respectivement.

### **b) Le modèle aléatoire de direction (Randon Direction)**

Ce modèle fournit un nombre constant de voisins dans toute la simulation. Les nœuds mobiles choisissent une direction aléatoire suivant laquelle ils se déplacent à la frontière de la simulation dans cette direction. Une fois que la frontière est atteinte, le nœud mobile fait une pause pendant le temps indiqué, choisit une autre direction angulaire continue alors le processus.

### **c) Le modèle RandamWay Point**

Dans ce modèle la mobilité des nœuds est typiquement aléatoire et tous les nœuds sont distribués uniformément dans l'espace de simulation. En effet il consiste en :

- Le placement d'un certain nombre de mobiles dans une zone carrée dans laquelle ils ne peuvent sortir.
- L'affectation d'une position, d'une vitesse et d'une destination initiale à chaque mobile.
- Le déroulement proprement dit de la simulation, où à chaque fois que les mobiles atteignent leur destination dans le carré, ils repartent vers une autre destination choisie aléatoirement après un éventuel temps de pause.

### **d) Le modèle Constant Position**

Dans ce modèle les nœuds sont immobiles.

### **e) Le modèle de Manhattan**

Le modèle de mobilité de Manhattan est utilisé pour émuler le modèle de circulation des nœuds mobiles dans des rues définies par des cartes. Une carte est composée d'un certain nombre de rues horizontales et verticales. Chaque rue a deux voies dans chaque direction (les directions Nord et Sud en rues verticales, l'Est et l'Ouest en rues horizontaux). Le nœud mobile est autorisé à se déplacer selon la grille des rues horizontales et verticales sur la carte. A l'intersection d'une rue horizontale et d'une rue verticale, le nœud mobile peut tourner à gauche, à droite ou aller toutdroit.

## **7. Présentation de l'ensemble des scénarios prédéfinis sur le logiciel**

6 scénarios sont déjà définis sur LTE-SIM:

1. single-cell-with-streets
2. single-cell-without-interference
3. single-cell-with-interference

4. single-cell-with-femto
5. multi-cell-sinrplot
6. multi-cell

dont les signatures :

```
static void SingleCellWithoutInterference (double radius, int nbUE, int nbVoIP,  
int nbVideo, int nbBE, int nbCBR, int sched_type, int frame_struct,  
int speed, double maxDelay, int videoBitRate, int seed)
```

Cette fonction permet la simulation d'un réseau LTE dans un environnement monocellulaire avec des interférences.

```
static void MultiCellSinrPlot (int nbCell, double radius, int nbUE, int sched_type,  
int frame_struct, int speed, int mobility_model, int seed)
```

Cette fonction permet la simulation d'un réseau LTE dans un environnement Multicellulaire avec la gestion de la mobilité

### Description des Paramètres pertinents des scenarios

#### A. Paramétrages des algorithmes d'Ordonnancement

1-> PF 2 -> M-LWDF 3-> EXP

#### B. Paramétrage types de trames

1-> FDD 2-> TDD

#### C. Paramétrage de type vidéo:

3 débits binaires disponibles pour la vidéo en kbps 128, 242, 440

#### D. Paramétrages de type de bâtiment :

0 -> 5x5 grid, 1 -> dualStripe

#### E. Paramétrage de type modèle de mobilité :

- CONSTANT\_POSITION - RANDOM\_DIRECTION - RANDOM\_WALK -  
RANDOM\_WAYPOINT - MANHATTAN

#### F. Paramétrages de type speed :

0, 3, 30 et 120 km/h équivalent respectivement à des scénarios statiques, des piétons, des véhicules.

### 8. Exemple de simulation de scenario

Pour faire une simulation d'un scenario il faut appeler une fonction portant leur nom en passant les paramètres de cette fonction.

#### Exemple:

```
/LTE-SimSingleCellradius nbUEnbVoIPnbVideonbBEnbCBRsched_typeframe_struct  
speedmaxDelayvideoBitRate
```

/LTE-Sim SingleCell 1 1 0 0 1 0 1 1 3 0.1 128

raduis = rayon de couverture en km.

nbUE = nombre des équipements utilisateurs.

nbVoIP : nombre des applications voies sur IP.

nbVideo : nombre des applications vidéo.

nbBE: nombre des applications "best Effort".

nbCBR: nombre des applications concernant les fichiers archivées.

sched\_type = type de l'algorithme d'ordonnancement.

frame\_struct = structure de trame.

Speed = vitesse de déplacement.

maxDelay = retard maximal

videoBitRate= délai maximale de la video

## 9. Interprétation et exploitation des résultats de simulation

- Interprétation des résultats de la simulation

Les résultats de simulations sont fournis sous forme de trace voici un exemple de trace d'une simulation :

Figure IV-1 :Exemple des résultats de simulations

## Chapitre IV: Simulation et Résultats expérimentaux

N° champ	Description du champ
1	TX, RX sont associés à des paquets qui ont été envoyés, reçus .
2	décrit le type de paquet dont la trace se réfère
3	ID = identificateur. Il identifie le paquet unique
4	B = ID porteur. Il identifie le support utilisé pour cartographier le paquet.
5	SRC = ID Source. Il identifie le nœud qui envoie le paquet
6	DES= ID Destination. Il identifie le nœud qui reçoit le paquet
7	T = temps. Elle représente l'instant où le paquet a été créé.
8	D = Délai. Il représente le retard du paquet reçu

- **Exploitation des résultats**

Pour récupérer les résultats afin de pouvoir tracer des courbes, il faut utiliser des scripts et enregistrer les résultats sous forme de document texte et par la suite on peut utiliser ces données sous Matlab ou n'importe qu'elle autre logiciel de tracé de courbe afin de pouvoir faire des études sur ces données.

Sous Linux, il existe des scripts écrites pour récupérer les résultats et les transformer en graphe en utilisant le logiciel "gnuplot".

### 10. Scénario de la simulation

#### Paramètres de la simulation :

Paramètres	Valeur
Type de simulation	Single CellWithInterference
Durée de la simulation	40 minutes
Bande de fréquence	[1929-1980] MHz for the UL and [2110-2170]MHz for theDL
Bande passante	10 MHz
Pathloss	$L = 128,1 + 37,6 \log_{10} d$ (d:distanceUE-eNodeB en km)
NB de cellule	1
Radius	1 km
Structure de Trame	FDD
NB de UEs	0 à 20 UEs
Vitesse	3km/h
NB VOIP	1
NB Video	1
Type de l'algorithme	PF, MLWDF et EXP
Max Delay	0.1 s
délai maximale de la vidéo	242 kbps

**Table IV-1 : Paramètres de la simulation**

### Définition:

- 1- Les retards de paquets (PacketDelays) ou Latence (comme il est défini dans le chapitre III): Pour les applications multimédia sensibles aux retards, comme la vidéo en streaming, les retards de paquets sont essentiels pour maintenir la qualité de service approprié. Dans un scheduler efficace, les retards de paquets doit être aussi courte que possible.
- 2- PacketLoss Rate (PLR) Taux de perte de paquets : C'est le rapport du nombre de paquets perdus pour le nombre de paquets envoyés

$$PLR = \frac{\text{Number of packets lost}}{\text{Number of packets sent}}$$

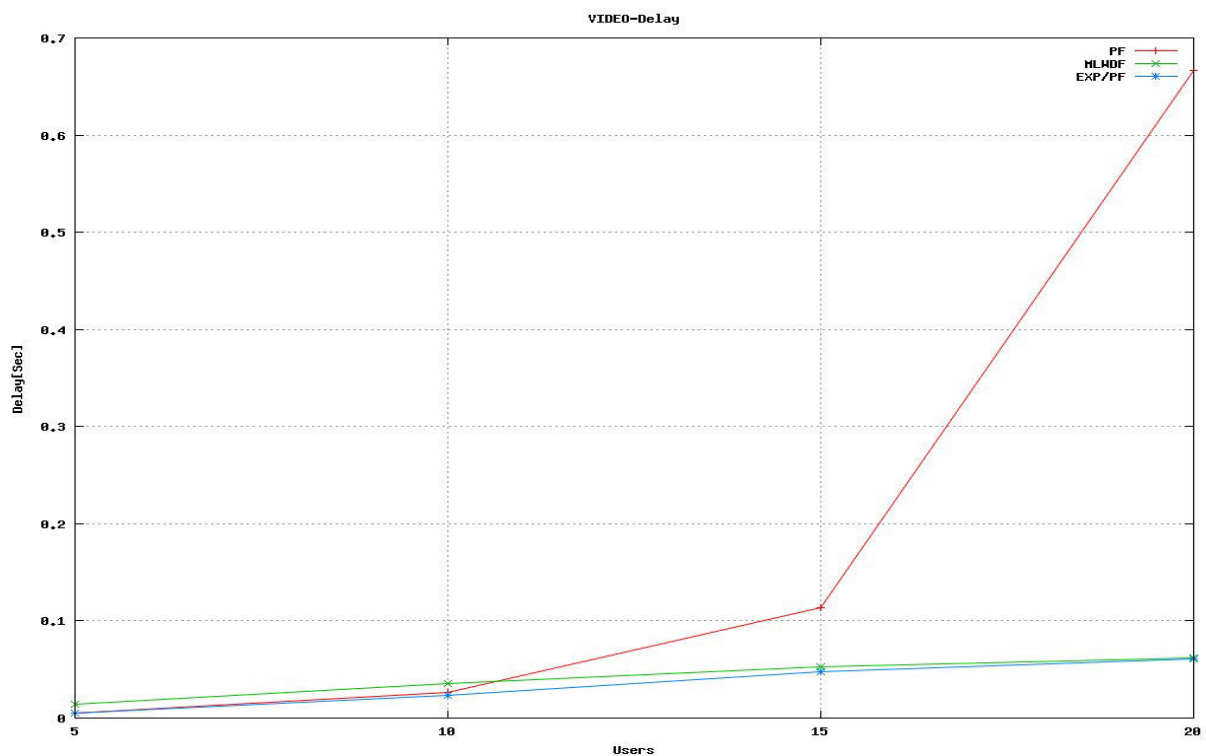
Cette mesure vise à mesurer le pourcentage de paquets des données circulant à travers un canal physique qui ne parviennent pas à atteindre leur destination. En outre, il existe des pertes de paquets causées par des débordements de la mémoire tampon (buffer overflow).

- 3- System ThroughputDébit du système (Downlink): Ce sont les débits cumulés de toutes les UE en bits /s. Pour ce travail d'étude que le trafic descendant est considéré.

## 11. Résultats obtenus et interprétation

### A. Courbe 1

Dans cette courbe nous avons la variation du retard des paquets en fonction du nombre d'utilisateurs pour les trois algorithmes utilisés et pour la vidéo.

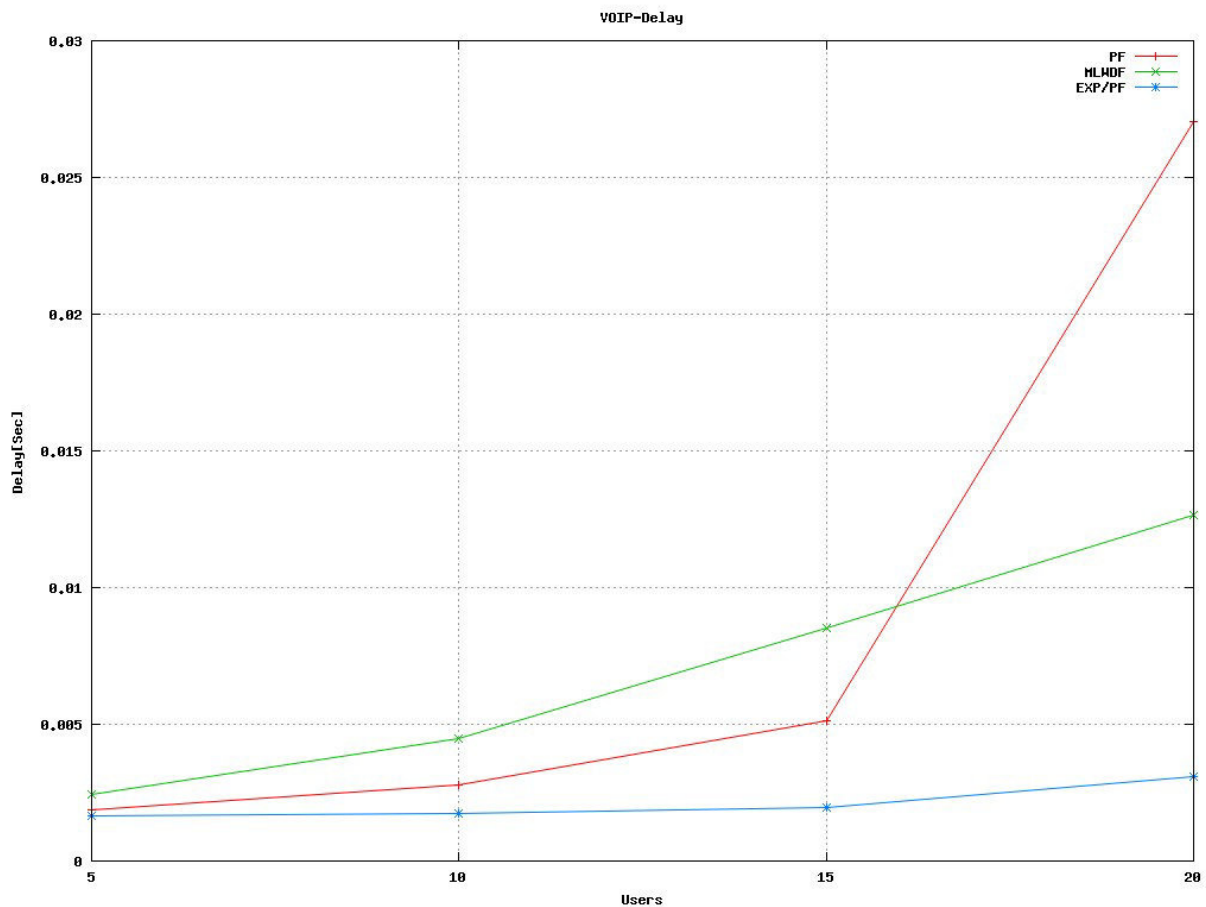


### Interprétation

- 1- On remarque que le retard des paquets augmente avec l'accroissement du nombre des utilisateurs.
- 2- Les deux algorithmes M-LWDF et EXP présente un retard faible par rapport à l'algorithme PF.

### B. Courbe 2

Dans cette courbe nous avons la variation du retard des paquets en fonction du nombre d'utilisateurs pour les trois algorithmes utilisés et pour la VOIP

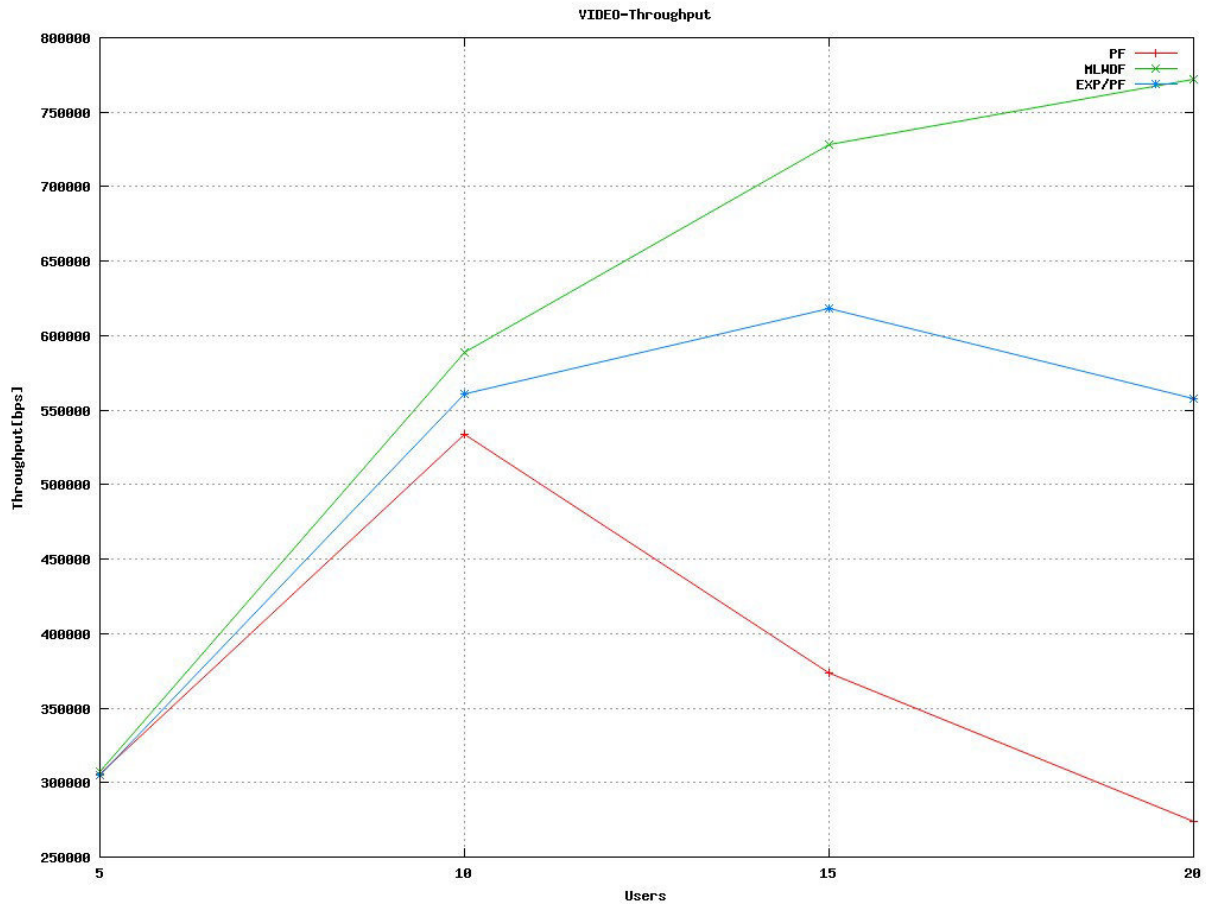


### Interprétation:

- 1- Les deux courbes (précédente et celle-ci) pour de l'algorithme PF sont les mêmes, puisque cet algorithme ne prend pas en considération le type de flux TR ou NTR.
- 2- Par rapport à la courbe précédente on remarque une augmentation du retard des paquets utilisant l'algorithme M-LWDF, cela peut être dû au fait que cet algorithme gère de multiples services (TR et NTR) avec des exigences en QoS différentes et aussi cet algorithme implémente uniquement des files d'attente de type FIFO (First In First Out).
- 3- L'algorithme EXP présente un meilleur retard de paquet pour le flux TR.

### C. Courbe 3

Dans cette courbe nous avons la variation du débit en fonction du nombre d'utilisateurs pour les trois algorithmes utilisés pour la vidéo.

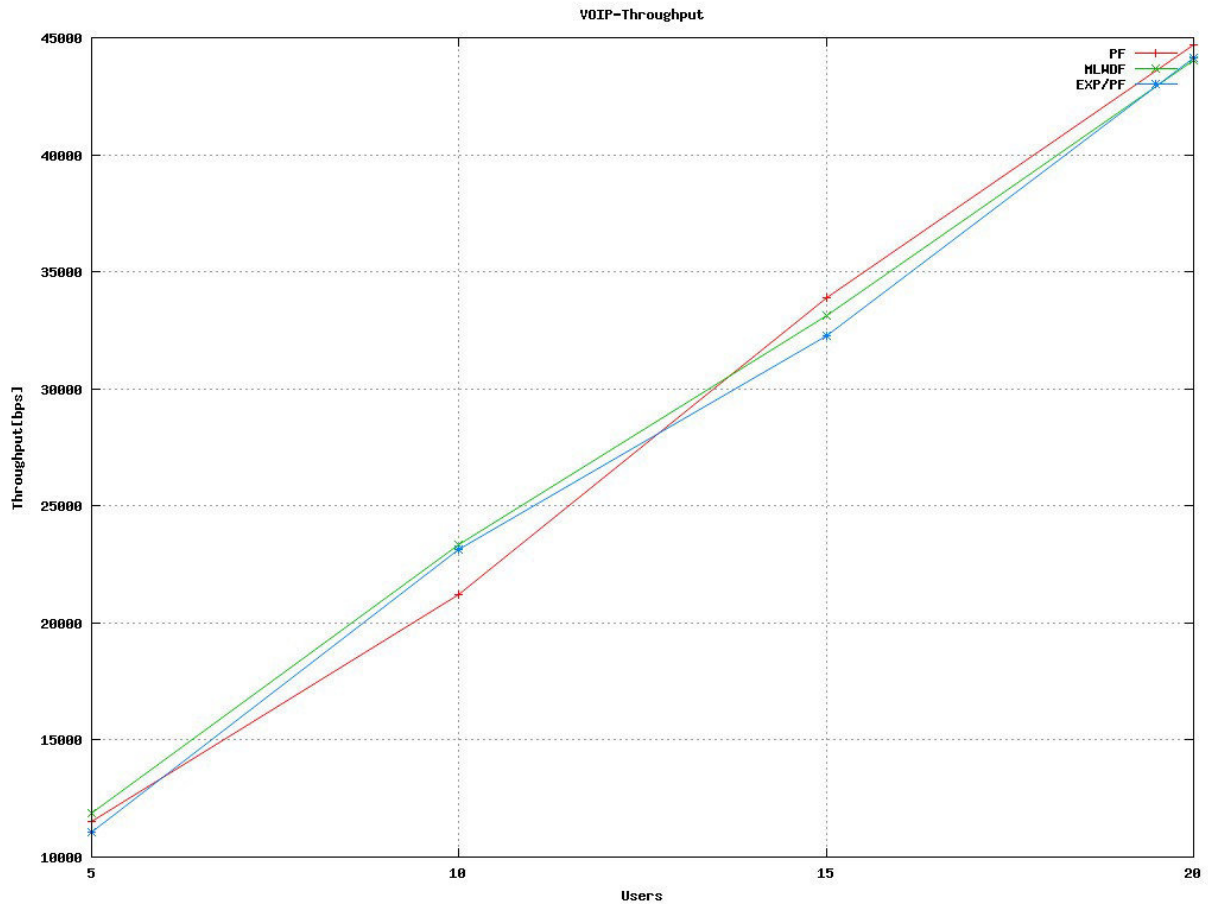


### Interprétation

- 1- Le débit augmente avec l'accroissement du nombre des utilisateurs jusqu'à 10 utilisateurs, après l'algorithme PF présente une dégradation remarquable du débit cela due à l'augmentation du retard des paquets et aussi l'augmentation des pertes des paquets (cet algorithme prend compte la qualité du canal).
- 2- L'algorithme EXP présente une dégradation du débit à partir des 15 utilisateurs tandis que l'algorithme M-LWDF présente une augmentation de débit proportionnelle à l'augmentation du nombre des utilisateurs (cela pour les flux NTR).

**D. Courbe 4**

Dans cette courbe nous avons la variation du débit en fonction du nombre d'utilisateurs pour les trois algorithmes utilisés pour la VOIP.

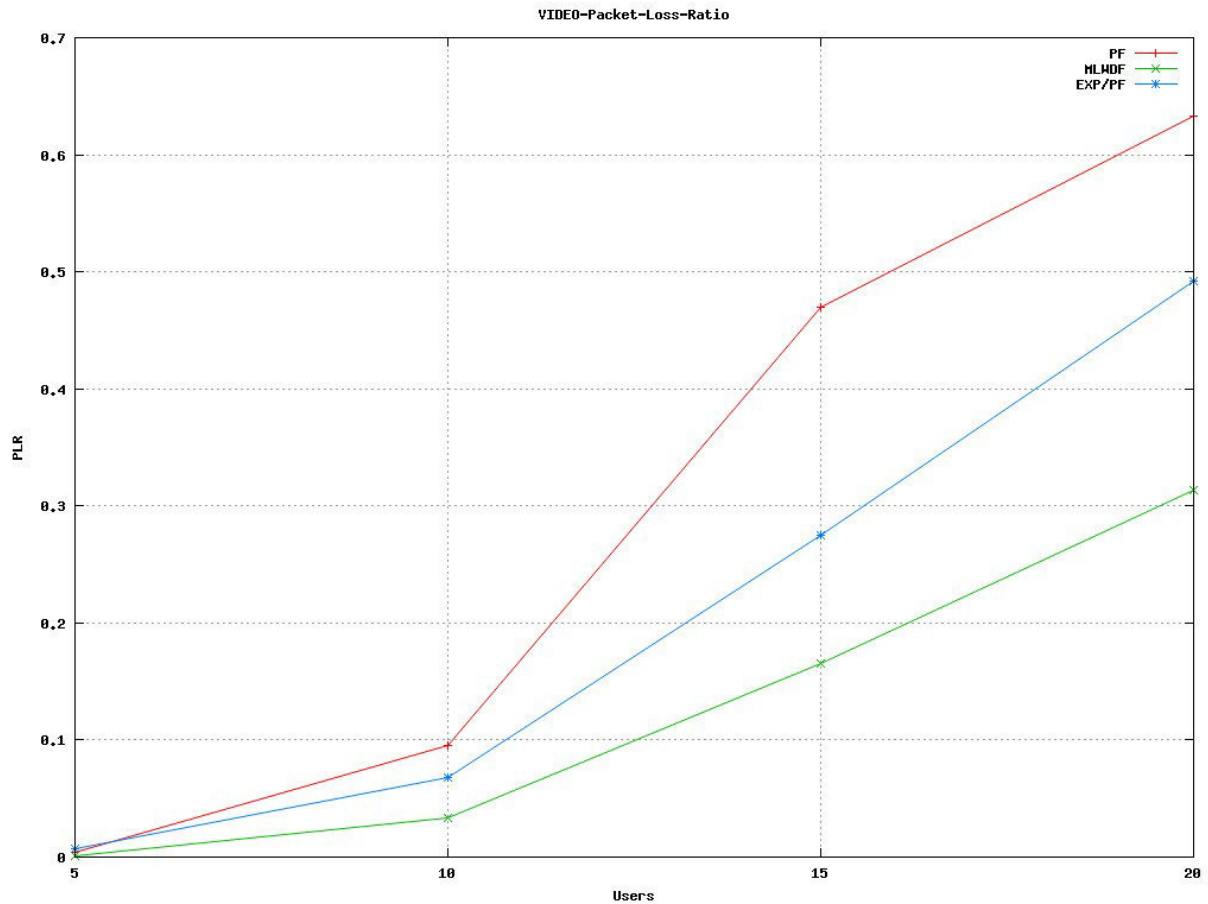


**Interprétation**

- 1- Pour les Flux TR les trois algorithmes donnent un accroissement du débit en fonction de l'augmentation du nombre des utilisateurs.

**E. Courbe 5**

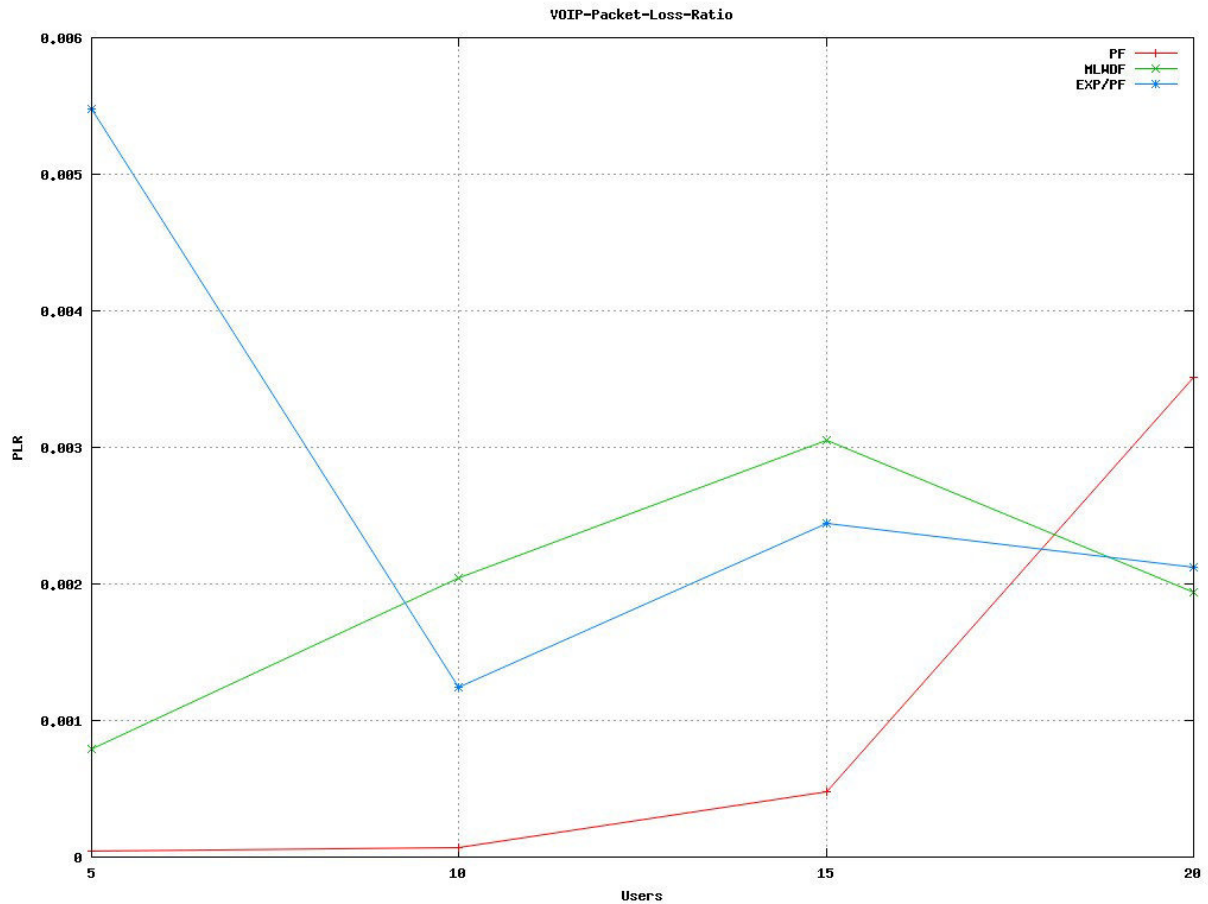
Dans cette courbe nous avons la variation du taux de paquet (PLR) en fonction du nombre d'utilisateurs pour les trois algorithmes utilisés pour la vidéo.

**Interprétation**

- 1- Pour les trois algorithmes l'accroissement du nombre des utilisateurs augmente le taux des paquets perdus.
- 2- Nous remarquons que l'algorithme EXP expose un PLR plus grand que l'algorithme MLWDF.

### F. Courbe 6

Dans cette courbe nous avons la variation du taux de paquet (PLR) en fonction du nombre d'utilisateurs pour les trois algorithmes utilisés pour la VOIP.



### Interprétation

- 1- l'algorithme PF présente un PLR faible par rapport aux algorithmes M-LWDF et EXP.
- 2- Pour un nombre d'utilisateurs égal à 5 l'algorithme EXP expose PLR important

### 12. Conclusion :

Cette expérimentation portait principalement sur les performances des algorithmes d'ordonnement des ressources radio PF, EXP et M-LWDF dans le système LTE de liaison descendante pour des services NTR téléchargement d'une vidéo et des services TR VOIP.

Les résultats des simulations ont montré que dans le système LTE de liaison descendante, l'algorithme M-LWDF donne de meilleures performances par rapport aux PF et EXP pour les applications NTR (un PLR faible, un retard faible et un débit plus grand).

Aussi pour les applications TR l'algorithme M-LWDF présente un débit plus grand que l'algorithme EXP, tandis que cette dernière nous donne un retard faible, ceci est un paramètre très important pour les applications TR, je recommande l'utilisation de cet algorithme pour les applications TR pour un nombre d'utilisateur supérieur.

## Conclusion Générale

---

La technologie LTE est actuellement le système mondial de télécommunications la plus prometteuse. LTE apporte un soutien de QoS pour les classes hétérogènes de trafic. Dans cette thèse, nous avons concentré sur la qualité du service dans le système de liaison descendante.

J'ai commencé mon travail, en mettant en évidence les limites des solutions précédentes GPRS-EDGE-3G, puis j'ai présenté les avantages, les motivations ainsi que l'architecture de la technologie LTE, après nous avons vu la qualité de service QoS et la gestion des ressources radio, et enfin nous avons étudié l'efficacité des trois algorithmes d'allocation de ressources existants : PF, M-LWDF et EXP.

LTE est une technologie révolutionnaire par rapport à la génération précédente des réseaux cellulaires, car il est basé sur une architecture tout-IP qui vise à soutenir plusieurs services de haute qualité tels que la VoIP, jeux en ligne, et tout ce qui touche à l'accès Internet à large bande. Compte tenu de cet objectif ambitieux, la performance souhaitée ne peut être atteinte par la mise en œuvre d'une série de procédures au niveau des couches physiques et MAC, permettant d'exploiter la capacité de la liaison sans fil jusqu'à la limite. La tâche la plus importante de RRM est effectuée par le ordonnanceur de paquets qui prend en charge de la distribution des ressources radio entre les utilisateurs d'une manière efficace, en tenant compte à la fois les exigences débit et les contraintes physiques.

Malgré l'importance des débits atteints en DL et en UL, 3GPP vise à aller encore plus loin en ciblant un débit de 1Gbits/s et cela en exploitant une bande passante de 100Mhz avec une configuration MIMO 8x8 pour l'eNodeB et 4x4 pour l'UE, ce qui est un vrai défis que 3GPP veut relever dans le but de répondre aux exigences de la 4G que l'ITU a fixé, et ainsi son système sera appelé LTE-Advanced.

# Références

## Ouvrages:

[01] Wolff, F. X., Hardouin, É., & Bouguen, Y. (2012). *LTE et les réseaux 4G*. Groupe Eyrolles.

[02] Farooq Khan. *LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performance*. Cambridge University Press

## Documents électroniques :

[03] Technical Specification Group Radio Access Network 3GPP. *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (Release 10)*. Technical report, 3GPPTS36.300.

[04] Technical Specification Group Radio Access Network 3GPP. *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical layer procedures (Release 10)*. Technical report, 3GPPTS36.213.

[05] Technical Specification Group Radio Access Network 3GPP. *Medium Access Control (MAC) protocol specification (release 9)*. Technical report, 3GPPTS 36.321.

[06] Technical Specification Group Radio Access Network 3GPP. *Technical Specification Group Services and System Aspects; GPRS Enhancements for E-UTRAN Access (Release 8)*. Technical report, 3GPPTS23.401.

[07] Technical Specification Group Radio Access Network 3GPP. *Group Services and System Aspects - Policy and charging control architecture (Release 9)*, 3GPP TS23.203.

[08] Xavier LAGRANGE. *Principes de fonctionnement de l'interface radio LTE*. TECHNIQUES DE L'INGENIEUR Date de publication : 10/05/2013.

[09] R. Basukala; H. Mohd Ramli and K. Sandrasegaran. *Performance analysis of EXP/PF and M-LWDF in downlink 3gpp lte system*. In IEEE First Asian Himalayas Conference, Vol. 1, pages 1–5, November 2009.

[10] P. Ameigeiras; J. Wigard and P. Mogensen. *Performance of the M-LWDF scheduling algorithm for streaming services in HSDPA*. In IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Vol. 2, pages 999–1003, September 2004.

[11] R. Kwan; C. Leung; and J. Zhang. *Proportional fair multiuser scheduling in LTE*. In IEEE Signal Processing Letters, Vol. 16(6), pages 461–464, June 2009.

[12] G. Piro; L. Grieco; G. Boggia; F. Capozzi and P. Camarda. *Simulatinglte cellular systems: an open source framework*. In IEEE Transactions VehicularTechnology, Vol. 60,pages498–513,October2010.

[13] N. Kolehmainen, J. Puttonen, P. Kela, T. Ristaniemi, T. Henttonen, and M. Moisio.*Channel Quality Indication Reporting Schemes for UTRAN LTE Downlink*,in IEEE Veh. Tech. Conf., VTC-Spring, Marina Bay, Singapore, May 2008, pp. 2522 –2526.

#### **Mémoires de fin d'études:**

[14] Geovanny Mauricio. (Octobre 2012). *Performances des Réseaux LTE*.Institute de Recherche en Informatique de Toulouse IRIT.

[15] AMAZIT ABDELGHANI. (Juin 2011). *Impact des interférences de la couche physique sur la couche mac dans la technologie LTE*.UNIVERSITÉ DU QUÉBEC.

[16] Vincent Deslandes. (Juin 2012). *Analyse et optimisation du partage de spectre dans les systèmes mobilesintégrés satellite et terrestre*.Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse).

#### **Sites Web:**

- [www.3GPP.org](http://www.3GPP.org)
- <http://www.etsi.org/>
- [telematics.poliba.it/LTE-Sim](http://telematics.poliba.it/LTE-Sim)
- <http://3gppltee.blogspot.com/>
- <http://wired-n-wireless.blogspot.com/search/label/LTE>

# Annexe I

---

Procédure d'installation LTE-SIM

---

## Année académique 2012/2013

### Sommaire

I	Introduction .....	3
II	Procédure d'installation de logiciel LTE-SIM sous Windows.....	3
1.	1ère étape .....	3
1.	2ème étape: .....	8
III	Procédure d'installation de logiciel LTE-SIM sous Linux .....	12
1.	1ère étape .....	12
2.	2 <sup>ème</sup> étape.....	12

## I Introduction

Ce projet s'inscrit dans le cadre de simulation d'un réseau de télécommunication basé sur la norme LTE, cette simulation sera faite à l'aide d'un logiciel appelé LTE-SIM qui permet d'évaluer les performances d'un réseau de télécommunication LTE.

Le logiciel LTE-SIM, logiciel Open Source SIM a été conçu pour faire des simulations des stratégies d'ordonnement en lien montant (UL) et descendant (DL) dans des environnements multi-cellules/multi-usagers prenant en compte la mobilité des usagers, l'optimisation des ressources radio, la réutilisation des fréquences, la modulation adaptative (AMC) ainsi que d'autres aspects significatifs pour l'industrie et la communauté scientifique.

Il permet de simuler un réseau de télécommunication selon les scénarios que l'utilisateur lui définit, par exemple la simulation d'une transmission dans un milieu urbain macro cellules prenant en compte l'aspect multiutilisateurs, multiservices, la mobilité des utilisateurs.

Dans ce document nous allons en mettre en place la procédure d'installation du logiciel LTE-SIM sous les environnements Windows et Linux pour limiter les risques a l'indisponibilité de certaines librairies.

## II Procédure d'installation de logiciel LTE-SIM sous Windows

Pour installer le logiciel LTE-SIM sous Windows, il faut suivre les deux grandes étapes :

### 1. 1ère étape:

- a. Il faut s'assurer qu'un compilateur c/c++ est installé.

On test l'existence de compilateur **Cygwin** (compilateur c/c++).

On Tape sous **COMMAND LINE WINDOW** les commande suivantes :

```
cygcheck -c cygwin
```

```
cygcheck -c gcc
```

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\DR-SARDE>cygcheck -c cygwin
Cygwin Package Information
Package      Version      Status
cygwin       1.7.17-1    OK

C:\Users\DR-SARDE>cygcheck -c gcc
Cygwin Package Information
Package      Version      Status
gcc          3.4.4-999   OK

C:\Users\DR-SARDE>
```

b. Si non, on installe les compilateurs GNU, make, et le débogueur



gdb depuis [cygwin.com](http://cygwin.com)

1. Télécharger le programme setup.exe de Cygwin en cliquant sur l'icône Install or Update Now!( il faut aller vers le milieu de la page ).

### Current Cygwin DLL version

The most recent version of the Cygwin DLL is 1.7.17-1. Install it by running [setup.exe](#).

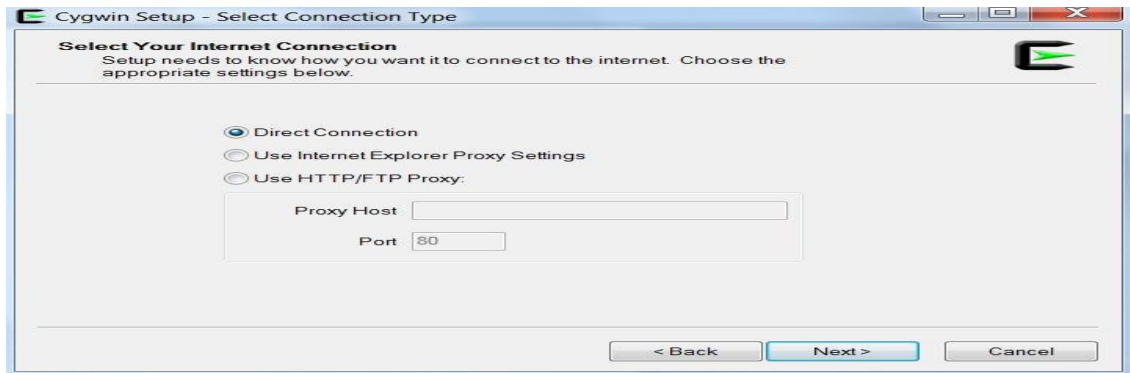
Use [setup.exe](#) to perform a [fresh install](#) or to [update](#) an existing installation.

Note that individual packages in the distribution are updated separately from the DLL so the Cygwin DLL version is not useful as a general Cygwin release number.

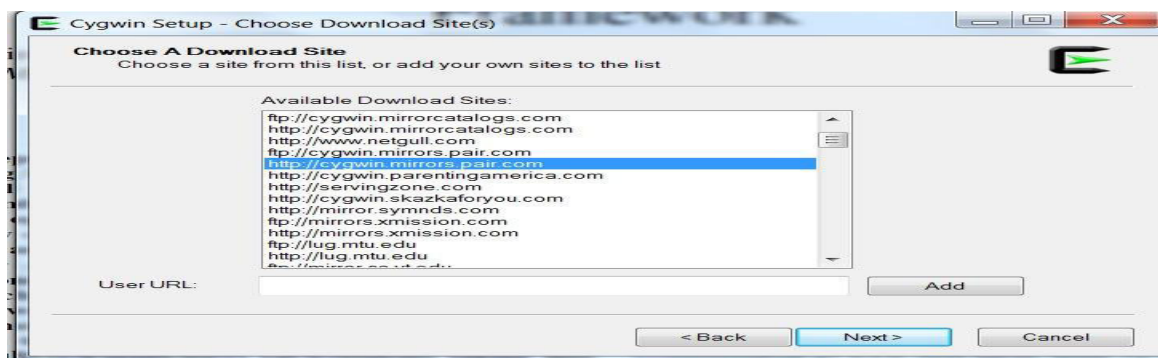
2. Lancer le programme setup.exe



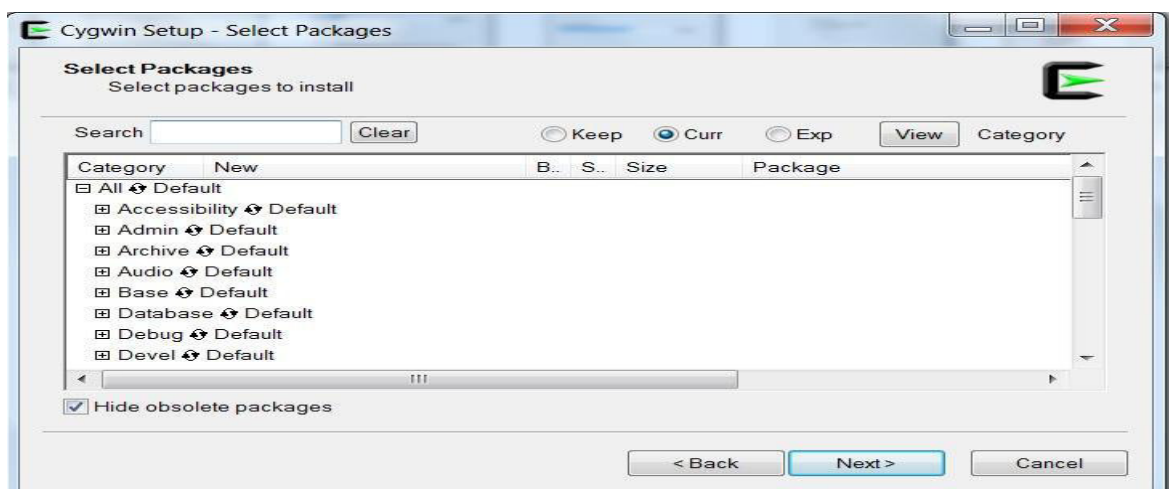
Acceptez tout par défaut jusqu'à ce que vous atteigniez la page Select votre Internet Connexion. Sélectionnez l'option dans cette page qui est la meilleure pour vous. Cliquez Next.



Sur la page Choose Download Site, choisissez le site de téléchargement que vous pensez être le plus proche de vous. Cliquez Next.

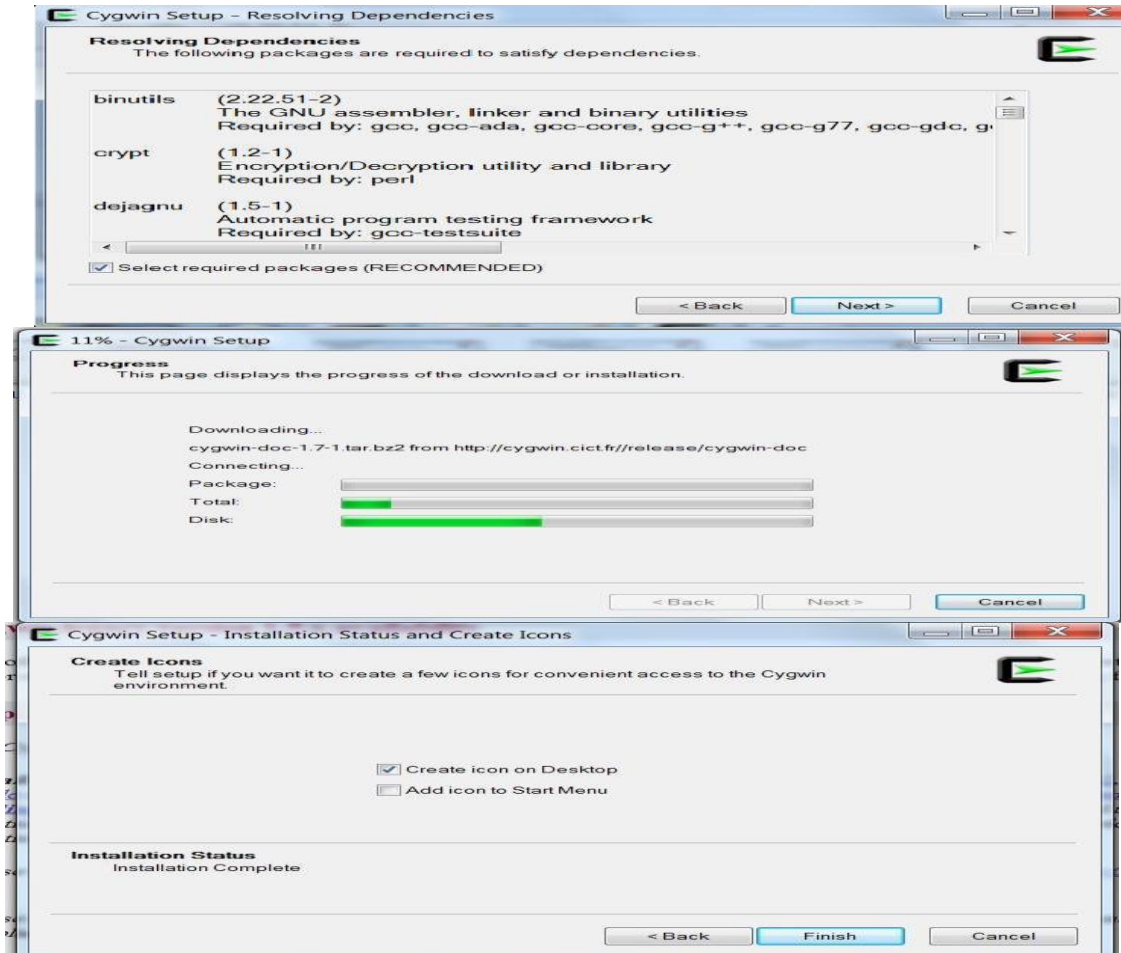


Sur la page Select Packages sélectionnez les packages à télécharger. Cliquez le signe + proche de Devel pour étendre la catégorie des outils de développement. Vous pourriez avoir à redimensionner la fenêtre pour en voir plus en une fois.



Sélectionnez chaque package que vous voulez télécharger en cliquant Skip à coté de lui. Au minimum, sélectionnez :

gcc-core: **C compiler**,  
gcc-g++: **C++ compiler**,  
gdb: **The GNU Debugger**,  
make: **the GNU version of the 'make' utility**.

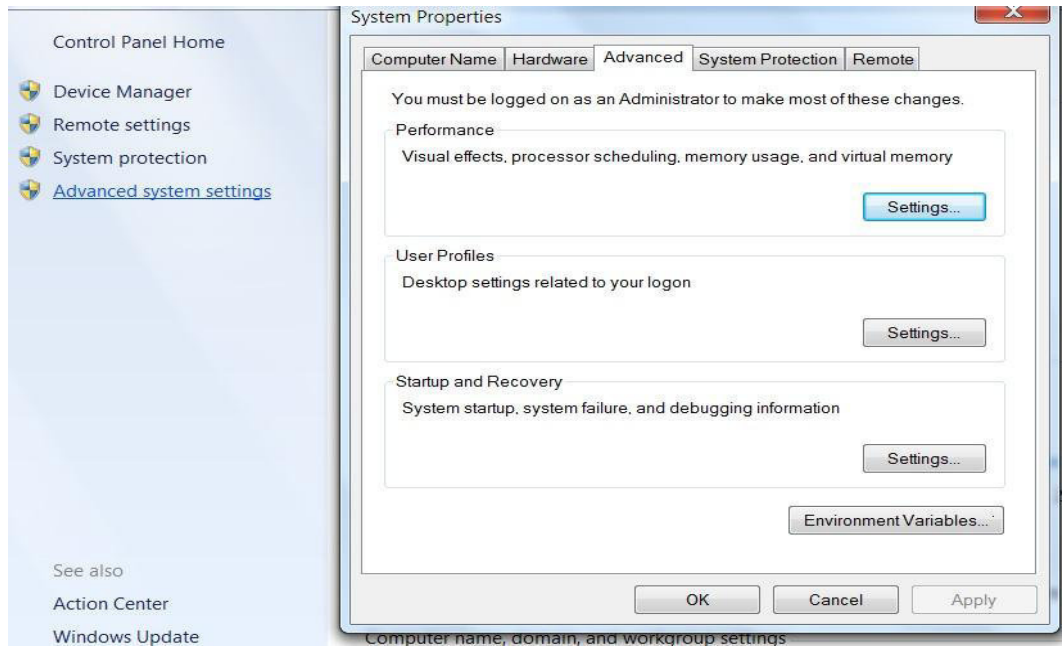


3. Maintenant ajouter le répertoire du compilateur à votre path(chemin):

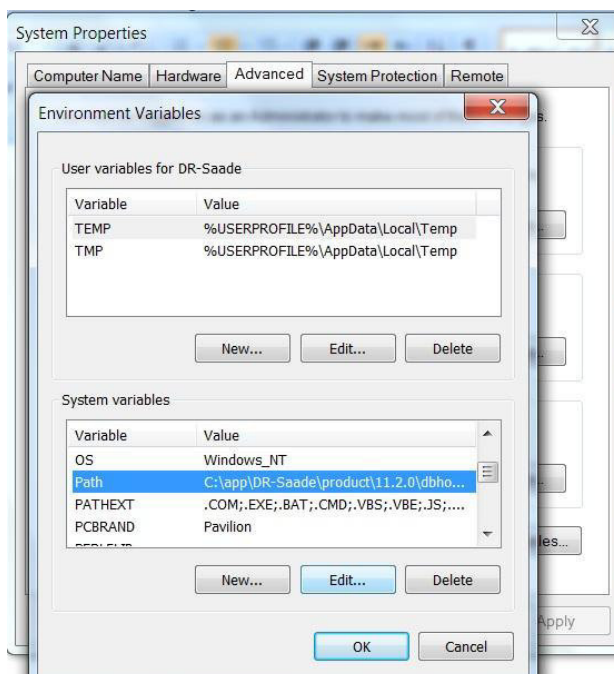
Ouvrez le panneau de configuration (Démarrer > Paramètres > Panneau de configuration) et double-cliquez sur le programme System



Sélectionnez l'onglet Avancé et cliquez Variables d'environnement.

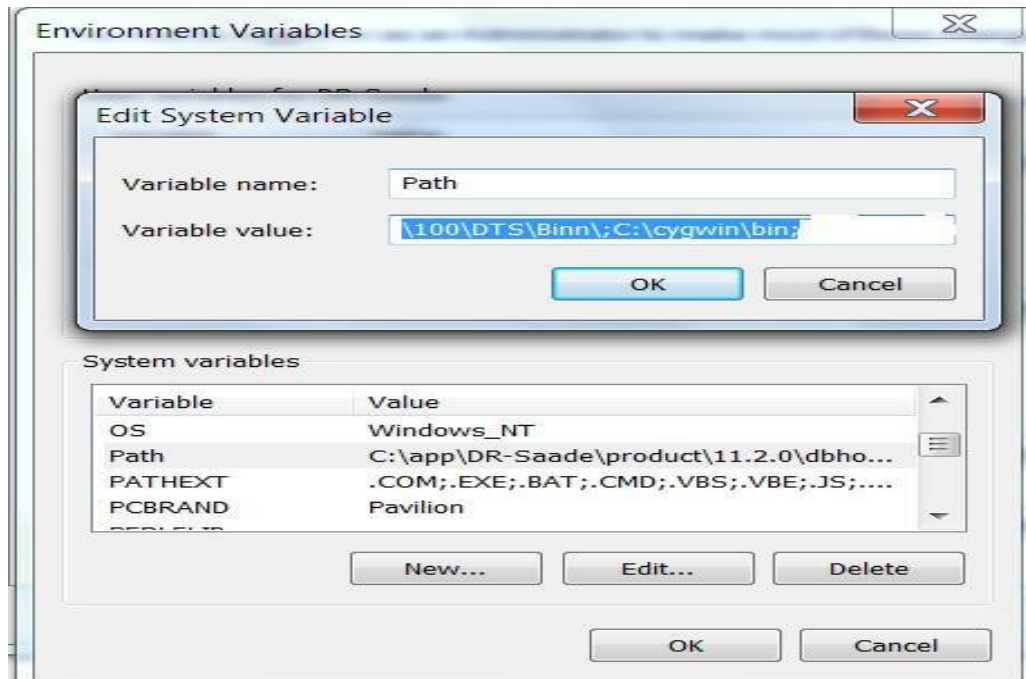


Dans le panneau Variables système de la boîte de dialogue Variables d'environnement, sélectionnez la variable Path et cliquez Modifier.



Ajoutez le chemin vers le répertoire cygwin\bin à la variable Path , et cliquez OK. Par défaut, le répertoire cygwin est C:\cygwin\bin. Les noms de répertoire doivent être séparés par un point-virgule.

**NB : ajouter sans supprimer les autres.**



Cliquez OK dans la boîte de dialogue Variable d'environnement puis dans la boîte de dialogue Propriétés système.

## 2ème étape:

1. Télécharger et installer **ECLIPSE WITH C++ IDE**.

[ECLIPSE WITH C++ IDE Version 32bits](#). (sous Windows 32 bits)

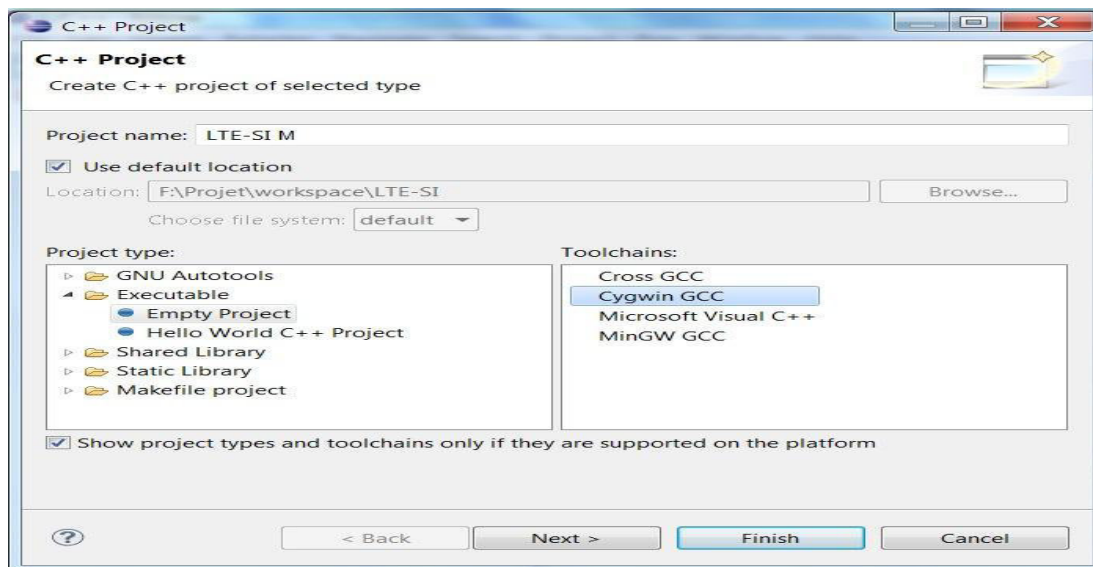
[ECLIPSE WITH C++ IDE Version 64bits](#). (sous Windows 64 bits)



## 2. Télécharger [LTE-Sim R4.0](#)

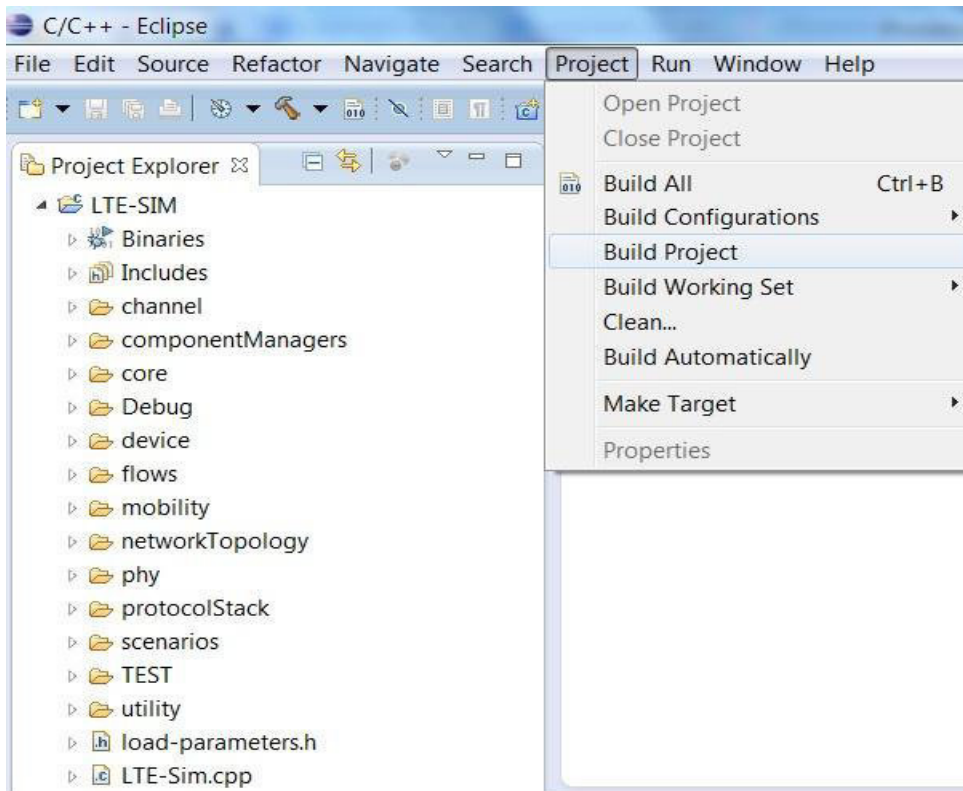


Ouvrez ECLIPSE et créez une nouvelle Projet C++ et nommée "LTE-SIM"



Copie/Coller le dossier SRC du dossier LTE-SIM déjà télécharger.

Compiler le projet LTE-SIM:



Ouvrez le **COMMAND LINE WINDOW** et testez le SIMULATOR  
Dans le répertoire LTE-SIM\Debug on tape LTE-Sim -h

The image shows a Windows Command Prompt window titled 'C:\Windows\system32\cmd.exe'. The text inside the window reads: 'Microsoft Windows [Version 6.1.7600] Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved. C:\Users\DR-Saade>f: F:\>cd Projet\workspace\LTE-SIM\Debug F:\Projet\workspace\LTE-SIM\Debug>LTE-Sim -h'. The prompt 'f:' indicates the current drive is F:.

L'exécution de cette commande nous donne la figure suivante :



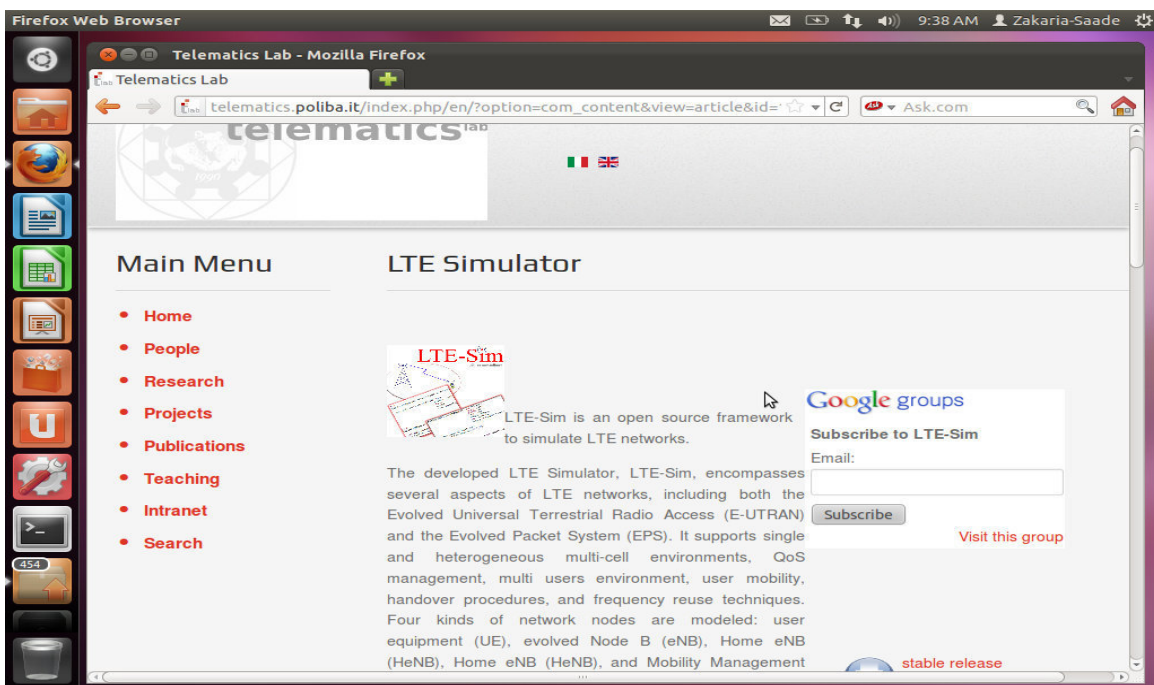
### III Procédure d'installation de logiciel LTE-SIM sous Linux

Nous présentons dans cette partie la procédure d'installation sous Ubuntu, qui est une distribution de Linux présentant plusieurs avantages : la sécurité, la simplicité etc.

Pour installer le logiciel LTE-SIM sous Linux (Ubuntu), il faut suivre deux étapes:

#### 1. 1ère étape

Télécharger [LTE-SIM](http://telematics.poliba.it) depuis <http://telematics.poliba.it>



#### 2. 2ème étape

Il faut s'assurer qu'un compilateur c/c++ est installé en tapant "gcc" ou "g++" dans un terminal

si non, tape [sudo apt-get install build-essential](#)



Installer LTE-Sim en utilisant la commande "**make**"

Tout d'abord il faut décompresser le fichier obtenu et se rendre dans le répertoire courant.

```
Terminal
zakaria-saade@zakariasaade-VirtualBox: ~/Desktop/LTE-SIM
zakaria-saade@zakariasaade-VirtualBox:~$ cd Desktop/
zakaria-saade@zakariasaade-VirtualBox:~/Desktop$ cd LTE-SIM/
zakaria-saade@zakariasaade-VirtualBox:~/Desktop/LTE-SIM$ make
if test -f LTE-Sim; then rm LTE-Sim; fi;
clear;
cat CONFIG/LTE-Sim

                LTE-Sim

an open source framework to simulate LTE networks
-----
Author: Giuseppe Piro
<g.piro@poliba.it, peppe@giuseppetro.com>

sleep 2
cd TOOLS; make; cd ../;
make[1]: Entering directory `/home/zakaria-saade/Desktop/LTE-SIM/TOOLS'
g++ -O2 make_cdf.cc -o make_cdf -lm
make[1]: g++: Command not found
make[1]: *** [make] Error 127
make[1]: Leaving directory `/home/zakaria-saade/Desktop/LTE-SIM/TOOLS'
./CONFIG/make_load-parameter-file.sh;
cd Debug; make clean; make; cd ..;
```

```
Terminal
zakaria-saade@zakariasaade-VirtualBox: ~/Desktop/LTE-SIM
cat CONFIG/LTE-Sim-end

                LTE-Sim

an open source framework to simulate LTE networks
-----
Author: Giuseppe Piro
<g.piro@poliba.it, peppe@giuseppetro.com>

*****
LTE-Sim has been installed correctly on your mashine!
*****

Now you can star using LTE-Sim.

Link:
web:          http://telematics.poliba.it/LTE-Sim
mailing list: http://groups.google.com/group/lte-sim

+++++ ENJOY the LTE-Sim +++++

zakaria-saade@zakariasaade-VirtualBox:~/Desktop/LTE-SIM$ █
```

Comme le pouvons le voir dans cette figure, le LTE-SIM est bien installé sous Linux.

<b>3G</b>	3rd Generation
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project
<b>AMC</b>	Adaptive modulation and coding
<b>ARQ</b>	Automatic repeat request
<b>BCCH</b>	Broadcast Control Channel
<b>BCH</b>	Broadcast Channel
<b>BTS</b>	Base transceiver station
<b>CCCH</b>	Common Control Channel
<b>CCDF</b>	Complementary Cumulative Density Function
<b>CCO</b>	Cell Change Order
<b>CDD</b>	Cyclic delay diversity
<b>CDMA</b>	Code division multiple access
<b>CFI</b>	Control format indicator
<b>Co-MIMO</b>	Cooperative MIMO
<b>CP</b>	Cyclic Prefix
<b>CPICH</b>	Common pilot channel
<b>C-plane</b>	Control Plane
<b>CPRI</b>	Common public radio interface
<b>CQI</b>	Channel quality indicator
<b>CRC</b>	Cyclic redundancy check
<b>C-RNTI</b>	Cell Radio Network Temporary Identifier
<b>CS</b>	Circuit Switched
<b>DCCH</b>	Dedicated Control Channel
<b>DCI</b>	Downlink control indicator
<b>DFT</b>	Discrete Fourier transform
<b>DFT-SOFDM</b>	Discrete Fourier transform spread OFDM
<b>DL Downlink</b>	Downlink : (base station to subscriber transmission)
<b>DL-SCH</b>	Downlink Shared Channel
<b>DRS</b>	Demodulation Reference Signal
<b>DRX</b>	Discontinuous Reception
<b>DSP</b>	Digital signal processing
<b>DTCH</b>	Dedicated Traffic Channel
<b>DTX</b>	Discontinuous Transmission
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcast
<b>DwPTS</b>	Downlink Pilot Timeslot
<b>E-DCH</b>	Enhanced dedicated channel
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
<b>eMBMS</b>	Evolved multimedia broadcast multicast service
<b>eNB</b>	evolved NodeB
<b>EPC</b>	Evolved Packet Core
<b>EPRE</b>	Energy per resource element

---

<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>E-UTRA</b>	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
<b>E-UTRAN</b>	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>FRC</b>	Fixed reference channel
<b>FS1</b>	Frame structure type 1
<b>FS2</b>	Frame structure type 2
<b>GERAN</b>	GSM EDGE Radio Access Network
<b>GP</b>	Guard Period
<b>GSM</b>	Global System for Mobile communication
<b>HARQ</b>	Hybrid Automatic Repeat Request
<b>HI</b>	HARQ indicator
<b>HRPD</b>	High Rate Packet Data
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>HSPA</b>	High Speed Packet Access
<b>HSUPA</b>	High Speed Uplink Packet Access
<b>IFFT</b>	Inverse Fast Fourier Transformation
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LCID</b>	Logical channel identifier
<b>LO</b>	Local oscillator
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>MAC</b>	Medium Access Control
<b>MBMS</b>	Multimedia Broadcast Multicast Service
<b>MBSFN</b>	Multicast/broadcast over single-frequency network
<b>MCH</b>	Multicast channel
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output
<b>MISO</b>	Multiple input single output
<b>MME</b>	Mobility Management Entity
<b>MOP</b>	Maximum output power
<b>MPR</b>	Maximum power reduction
<b>MU-MIMO</b>	Multi User MIMO
<b>NACK</b>	Negative Acknowledgement
<b>NAS</b>	Non Access Stratum
<b>OBSAI</b>	Open base station architecture interface
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<b>OFDMA</b>	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
<b>PAPR</b>	Peak-to-Average Power Ratio
<b>PAR</b>	Peak-to-average ratio
<b>PBCH</b>	Physical Broadcast Channel
<b>PCCH</b>	Paging Control Channel

---

---

<b>P-CCPCH</b>	Primary common control physical channel
<b>PCFICH</b>	Physical Control Format Indicator Channel
<b>PCH</b>	Paging Channel
<b>PDCCH</b>	Physical Downlink Control Channel
<b>PDCP</b>	Packet Data Convergence Protocol
<b>PDN</b>	Packet Data Network
<b>PDSCH</b>	Physical Downlink Shared Channel
<b>PDU</b>	Protocol Data Unit
<b>P-GW</b>	PDN Gateway
<b>PHICH</b>	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
<b>PHY</b>	Physical Layer
<b>PMCH</b>	Physical multicast channel
<b>PMI</b>	Precoding Matrix Indicator
<b>PRACH</b>	Physical random access channel
<b>PS</b>	Packet Switched
<b>P-SCH</b>	Primary synchronization signal
<b>PUCCH</b>	Physical Uplink Control Channel
<b>PUSCH</b>	Physical Uplink Shared Channel
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying
<b>RACH</b>	Random Access Channel
<b>RAN</b>	Radio Access Network
<b>RA-RNTI</b>	Random Access Radio Network Temporary Identifier
<b>RAT</b>	Radio Access Technology
<b>RB</b>	Radio Bearer
<b>RB</b>	Resource block
<b>RF</b>	Radio Frequency
<b>RFDE</b>	RF design environment
<b>RIV</b>	Resource Indication Value
<b>RLC</b>	Radio Link Control
<b>RMC</b>	Reference measurement channel
<b>RNC</b>	Radio network controller
<b>ROHC</b>	Robust Header Compression
<b>RRC</b>	Radio Resource Control
<b>RRM</b>	Radio Resource Management
<b>RS</b>	Reference signal
<b>RSCP</b>	Received signal code power
<b>RSRP</b>	Reference signal received power
<b>RSRQ</b>	Reference signal received quality
<b>RSSI</b>	Received signal strength indicator

---

---

<b>RTT</b>	Radio Transmission Technology
<b>S1</b>	Interface between eNB and EPC
<b>SAE</b>	System Architecture Evolution
<b>SAP</b>	Service access point
<b>SC-FDMA</b>	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
<b>SDMA</b>	Spatial Division Multiple Access
<b>SDU</b>	Service Data Unit
<b>SFBC</b>	Space Frequency Block Coding
<b>S-GW</b>	Serving Gateway
<b>SIMO</b>	Single input multiple output
<b>SISO</b>	Single input single output
<b>SISO</b>	Single Input Single Output
<b>SNR</b>	Signal-to-noise ratio
<b>SR</b>	Scheduling Request
<b>SRS</b>	Sounding Reference Signal
<b>S-SCH</b>	Secondary synchronization signal
<b>SU-MIMO</b>	Single User MIMO
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>TDMA</b>	Time division multiple access
<b>TD-SCDMA</b>	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access
<b>TPC</b>	Transmit Power Control
<b>TR</b>	Technical report
<b>TrCH</b>	Transport channel
<b>TTI</b>	Transmission Time Interval
<b>UCI</b>	Uplink Control Information
<b>UE</b>	User Equipment
<b>UL</b>	Uplink (subscriber to base station transmission)
<b>UL-SCH</b>	Uplink Shared Channel
<b>UMB</b>	Ultra-mobile broadband
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>U-plane</b>	User plane
<b>UpPTS</b>	Uplink Pilot Timeslot
<b>UTRA</b>	UMTS Terrestrial Radio Access
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>VoIP</b>	Voice over IP
<b>VSA</b>	Vector signal analyzer
<b>WCDMA</b>	Wideband Code Division Multiple Access
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>X2</b>	Interface between eNBs

---