

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE

Mémoire de MASTER

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatiques

Option : Réseaux, Systèmes et Applications Réparties

Par:

Raggab abdellatif Meska Ahmed Ismail

THEME

**L'impact de l'utilisation de la technologie
LTE pour les communications véhiculaires**

Encadré par: Ameer Mohamed el Amine

Année Universitaire 2017/2018



Remerciement :

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif du département de l'informatique, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous tenant à remercier sincèrement Monsieur, Ameur Mohamed El Amine, qui, en tant que directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs, A mes chers frères pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Reggab Abdellatif & Meska Ahmed Ismail

Résumé

Les réseaux véhiculaires sont des systèmes de communication basés sur un échange d'informations entre véhicules, pour fournir aux conducteurs des informations sur le trafic routier et permettant d'améliorer la sécurité et le confort des usagers. Néanmoins, les architectures actuelles ne peuvent pas répondre aux exigences de latence des applications de systèmes de transport intelligents (ITS) dans des environnements très encombrés et mobiles.

Ce mémoire a pour objectif de proposer une étude comparative entre les réseaux traditionnels VANET et les réseaux LTE.

Cette étude analyse la pertinence du LTE en tant que technologie de transmission sans fil pour les futurs services véhiculaires, afin de fournir de meilleures performances avec une gestion élevée de mobilité et couverture dans les réseaux VANET.

Les résultats indiquent que l'IEEE 802.11p offre des performances acceptables pour les topologies de réseau clairsemées avec un support de mobilité limité. D'un autre côté, le LTE répond à la plupart des exigences de l'application en termes de fiabilité, d'évolutivité et de support de mobilité.

Mots-clés: ITS, VANET, LTE, IEEE 802.11p.

Abstract

Vehicular networks are communication systems based on an exchange of information between vehicles, to provide drivers with information on road traffic and to improve the safety and the comfort of users. However, current architectures cannot meet the latency requirements of the Intelligent Transportation Systems (ITS) applications in highly congested and mobile environments.

This thesis aims to propose a comparative study between traditional VANET networks and LTE networks.

This study analyzes the relevance of LTE as a wireless transmission technology for the future vehicular services, in order to provide better performance with high mobility management and high coverage in VANET networks.

The results indicate that IEEE 802.11p offers an acceptable performance for sparse network topologies with limited mobility support. On the other hand, LTE meets the most of application requirements in terms of reliability, scalability, and mobility support.

Keywords: ITS, VANET, LTE, IEEE 802.11p.

خلاصة

شبكات المركبات هي أنظمة اتصالات تقوم على تبادل المعلومات بين المركبات ، لتزويد السائقين بمعلومات عن حركة المرور على الطرق ولتحسين سلامة وراحة مستخدمي الطريق. ومع ذلك ، لا تستطيع البنية الحالية في تطبيقات أنظمة النقل الذكية (ITS) تلبية المتطلبات من ناحية زمن الوصول في البيئات شديدة الازدحام والمتنقلة.

تهدف هذه الرسالة إلى اقتراح دراسة مقارنة بين شبكات VANET التقليدية وشبكات LTE.

تحلل هذه الدراسة مدى أهمية LTE باعتبارها تكنولوجيا إرسال لاسلكية لخدمات المركبات المستقبلية ، من أجل توفير أداء أفضل مع إدارة حركة وتغطية عالية في شبكات VANET.

تشير النتائج إلى أن معيار IEEE 802.11p يوفر أداءً مقبولاً لطبولوجيا الشبكات قليلة الكثافة ذات الدعم المحدود للتنقل. من ناحية أخرى ، تلبي تقنية LTE معظم متطلبات التطبيق من حيث الموثوقية وقابلية التطوير ودعم التنقل.

كلمات مفتاحية: ITS, VANET, LTE, IEEE 802.11p .

Table Des Matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé.....	A
Table des matières.....	C
Liste des figures.....	F
Liste des tableaux.....	G
Liste des abréviations.....	H
Introduction générale.....	2

Chapitre 1 : Les réseaux Véhiculaire VANET 802.11 P

1.1 Introduction.....	4
1.2 Pourquoi VANET.....	5
1.3 Définition d'un réseau VANET.....	5
1.4 Objectifs de VANET	6
1.5 Caractéristiques des réseaux VANET	8
1.6 Les types de communications dans les réseaux véhiculaires.....	9
1.7 Avantages et contraintes de VANET.....	11
1.7 Conclusion.....	13

Chapitre 2 : Les Générations de Téléphonie Mobile

2.1 Introduction.....	14
2.2 Historique.....	15
2.3 Les différentes normes téléphoniques.....	15
2.3.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)	16
2.3.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	16
2.3.3 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)	16

2.3.4 La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE)	18
2.4 Conclusion.....	19
 Chapitre 3 : LTE (Long Term Evolution) détaillée	
3.1 Introduction.....	20
3.2 LTE (4G)	21
3.3 Buts de la 4G	21
3.4 Architecture.....	22
3.4.1 EPC : Evolved Packet Core	23
3.4.2 La partie radio eUTRAN.....	26
3.4.3 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)	26
3.5 Comparaison entre les réseaux 3G et 4G.....	27
3.6 Les caractéristiques fondamentales de la 4G.....	28
3.6.1 Débits et fréquences du réseau 4G	28
3.6.2 Latence.....	28
3.6.3 L'agilité en fréquence	30
3.6.4 Codage et sécurité	30
3.6.5 La mobilité	31
3.6.7 Modulation adaptative et codage	31
3.6.8 Les types de transmission utilisée dans la 4 G	31
3.7. Différence entre les technologies LTE et VANET	34
3.8. Réseau de véhicules avec IEEE 802.11p et LTE	35
3.8 Conclusion.....	36
 Chapitre 4 : Simulation et analyse des résultats	
4.1 Introduction.....	37
4.2 Environnement De Simulation.....	38
4.3 Modules du simulateur NS-3	51

<i>4.4 Les critères d'évaluation</i>	41
<i>4.5 Interprétation des résultats</i>	42
<i>4.8 Conclusion</i>	47
Conclusion générale	48
Bibliographie.....	49
Annexe A	50

Liste des figures :

Figure 1.1 : les réseaux VANET. ([page 6](#))

Figure 1.2 : Exemple de communications dans les VANET. ([page 7](#))

Figure 1.3 : Exemples d'utilisation de VANET ([page 8](#))

Figure 1.4: Communications de véhicule à véhicule ([page 10](#))

Figure 1.5 : Communications de véhicule à infrastructure ([page 10](#))

Figure 1.6: Communications hybrides ([page 11](#))

Figure 2.1 : Évolution du nombre d'abonnés mobiles à travers le monde ([page 15](#))

Figure 3.1 : Présentation générale sur le système LTE. ([page 21](#))

Figure 3.2 : Architecture générale du LTE. ([page 22](#))

Figure 3.3 : Architecture d'EPS (Evolved Packet System). ([page 23](#))

Figure 3.4 : Architecture du réseau cœur EPC. ([page 24](#))

Figure 3.5 : Comparaison 3G / 4G. ([page 28](#))

Figure 3.6 : Similitude entre une chaîne OFDMA et SC-FDMA. ([page 33](#))

Figure 3.7 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA. ([page 34](#))

Figure 3.8 : Réseau de véhicules avec IEEE 802.11p et LTE ([page 35](#))

Figure 4.1 : Sumo. ([page 38](#))

Figure 4.2 : ns3. ([page 39](#))

Figure 4.3 : Processus de simulation d'un VANET avec SUMO et NS-3. ([page 41](#))

Figure 4.4 : Délai de bout en bout on IEEE 802.11p et LTE-4G. ([page 44](#))

Figure 4.5 : Débit moyen on IEEE 802.11p et LTE-4G. ([page 44](#))

Figure 4.6 : Taux de livraison de paquets IEEE 802.11p et LTE-4G. ([page 45](#))

Figure 4.7 : Taux de livraison de paquets IEEE 802.11p et LTE-4G. ([page 46](#))

Liste des tableaux:

Tableau 2.1 : Différent Paramètre du LTE-Advanced. ([page 18](#))

Tableau 3.1 : La latence pour chaque multiplexage. ([page 30](#))

Tableau 3.2 : Différence entre les technologies LTE et VANET. ([page 34](#))

Tableau 4.1 : Les paramètres de simulation. ([page 43](#))

Liste des abréviations

A

ADSL	A symmetric D igital S ubscriber L ine
AUC	A uthentication C enter

B

BSC	B ase S tation C ontroller
BSS	B ase S tation S ub-system
BTS	B ase T ransceiver S tation

C

CDMA2000	C ode D ivision M ultiple A ccess
-----------------	---

D

DFT	T ransformation de F ourier D iscrete
------------	--

E

EDGE	E nhanced D ata R ates for G SM E volution
eNodeB	e volved N ode B
EPS	E volved P acket S ystem
EPC	E volved P acket C ore
E-UTRA	E volved- U niversal T errestrial R adio A ccess
eUTRAN	e volved U TRAN

F

FDD	F requency D ivision D uplexing
------------	--

G

GGSN	G ateway G PRS S upport N ode
GMSC	G ateway M SC
GPRS	G eneral P acket R adio S ervice

GSM **G**lobal **S**ystem for **M**obile **C**ommunication

H

HLR **H**ome **L**ocation **R**egister

HSS **H**ome **S**uscriber **S**ervice

I

IEEE **I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronics **E**ngineers

IMS **I**P **M**ultimedia **S**ub-system

IP **I**nternet **P**rotocol

L

LAN **L**ocal **A**rea **N**etwork

LTE **L**ong **T**erm **E**volution

M

MIMO **M**ulti **I**nput **M**ulti **O**utput

N

NS-2 **N**etwork **S**imulator 2

NS-3 **N**etwork **S**imulator 3

O

OFDM **O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing

OFDMA **O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

OMC **O**perations and **M**aintenance **C**enter **O**peration

OSS **O**perations **S**ub-**S**ystem

W

WAP **W**ireless **A**pplication **P**rotocol

WCDMA **W**ide **C**oding **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

WiFi

Wireless Fidelity

WIMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access

Introduction générale

Le déploiement d'un réseau sans fil entre les véhicules permettrait de transmettre des informations très importantes d'un point de vue sécurité routière ou contrôle de trafic (e.g. détection d'un accident, présence d'un embouteillage, approche d'un véhicule à une intersection, etc). Ces informations assisteraient le conducteur (humain ou automatique) et l'aideraient dans la prise des décisions. Les réseaux véhiculaires mobiles, mieux connus sous le nom de Vehicular Ad-hoc NETwork (VANET), sont fixés pour ces objectifs.

Le concept de réseau véhiculaire ad-hoc (VANET) a été très étudié dans la dernière décennie, dans le monde académique, par des industriels et dans des organismes de standardisation.

Plusieurs expérimentations ont été effectuées, en montrant la viabilité de l'idée, et plusieurs constructeurs ont déjà lancé (ou bien ils annoncent) des voitures connectées.

Un réseau véhiculaire mobile est un réseau de type ad-hoc. Un réseau ad-hoc est capable de se mettre en place de façon autonome. Ils peuvent utiliser, de façon opportuniste, les communications avec des infrastructures, permettant ainsi un accès à d'autres réseaux et donc aussi, à Internet. Les différentes infrastructures utilisées dans le cadre des VANETs sont appelées (RSU)"Unités de Bords de Routes". Ces unités peuvent être des feux de circulation, des parcomètres, ou toute autre borne placée au bord de la route.

En même temps, l'évolution des réseaux mobiles a touché aussi le secteur automobile, avec des connexions UMTS ou LTE déjà disponibles dans les voitures. Ces technologies cellulaires ne permettent pas (pour l'instant) la transmission rapide des messages de sécurité routière, mais des évolutions de la technologie LTE sont annoncées, notamment le LTE Direct, qui permettrait une communication directe entre des véhicules à proximité, sur des ressources allouées par un opérateur cellulaire [1].

Dans ce contexte, nous proposons deux objectifs majeurs dans le cadre de ce mémoire :

- 1) l'étude des technologies d'accès actuelles, i.e. IEEE 802.11p et LTE
- 2) l'analyse de l'impact du LTE, qui peut être vu comme un concurrent direct de l'IEEE 802.11p

Notre mémoire est organisé en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre nous allons présenter de manière générale les réseaux véhiculaires (caractéristiques, architectures, applications)
- Dans le deuxième chapitre nous introduisons les différentes générations de Téléphonie Mobile et leurs caractéristiques
- Le troisième chapitre sera consacré à la technologie LTE (Long Term Evolution) en détail, leur architecture, les caractéristiques fondamentales et les différentes terminologies des termes utilisés dans cette technologie
- Dans quatrième chapitre, nous allons effectuer une comparaison de performances entre la technologie LTE et la technologie IEEE 802.11p en termes de taux de livraison de paquets, délai de bout en bout, et débit moyen et nous avons présenté les résultats obtenus au cours de la simulation

Ce mémoire se termine par une conclusion générale.

Chapitre1

Les réseaux Véhiculaire VANET 802.11 P

De nos jours, la voiture prend de plus en plus de place dans notre vie mais reste cependant le moyen de transport le moins sûr.

La communication entre véhicules est une solution prometteuse et permettrait de réduire de 50% les évènements sur la route [2]. Les réseaux sans-fil de véhicules appelés **VANET** pour Véhicule Ad-Hoc Networks attirent de plus en plus l'attention des constructeurs automobiles et des chercheurs.

Dans ce chapitre, nous présenterons une définition globale des réseaux sans fil et de leurs fonctionnements, leurs avantages et leurs inconvénients.

1.2.Pourquoi VANET ?

De notre jour, de plus en plus de foyers possèdent au moins un véhicule. Cette situation a conduit à une grande augmentation du trafic routier causant de multiples problèmes de confort et de sécurité. Le véhicule, cet engin que nous a offert la technologie moderne, et qui nous a tant facilité la tâche des déplacements à longue distance est entrain de montrer ses méfaits. En effet, la circulation en voiture est devenue dans certaines villes telles que Moscou, Pékin ou Mexico, une épreuve quotidienne à cause des embouteillages. Un problème encore plus important est celui de la sécurité, les statistiques de l'OMS (*Organisation Mondiale de la Santé*) montres qu'il y'a en moyenne 1,2 millions de décès et entre 20 et 50 millions de blessures grave causés par les accidents de la route [3].

Pour pallier aux problèmes de sécurité et de circulation routière, de nombreuses initiatives ont été prises par les gouvernements, les associations et les constructeurs automobiles .Parmi ces initiatives les compagnes de sensibilisations, l'instauration d'un code de la route stricte et l'amélioration et l'incitation au transport en commun. Une autre solution, d'œuvre technologique est apparue au début des années 1990, nommée ITS (*Intelligent Transportation Systems*), elle consiste à intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication afin de rendre plus efficace le system routier, la sécurité et le confort des usagers.

Après l'investissement de plusieurs pays ces vingt dernières années, une nouvelle technique de communication, dédiée spécialement a l'ITS a émerger en 2002.Cette technologie a été nommée DSRC (*Dedicated Short Range Communication*) et qui support les communications a courte et à moyenne portée, Tel que :

V2I (*Vehicle To Infrastructure*).

V2V ou VANET (*Vehicle to Vehicle, Vehicle Ad hoc Network*).

1.3.Définition d'un réseau VANET

Un réseau VANET est un réseau de communication entre véhicules intelligents équipés de calculateurs, de périphériques réseau et de différents types de capteurs.

Les VANET font parti de la famille des réseaux mobiles MANET qui fonctionnent dans des réseaux a liaison point à point sans infrastructure, c'est-à-dire que tout nœuds constituant le réseau est un point d'accès. Dans un réseau VANET les nœuds sont les véhicules intelligents appartenant au réseau.

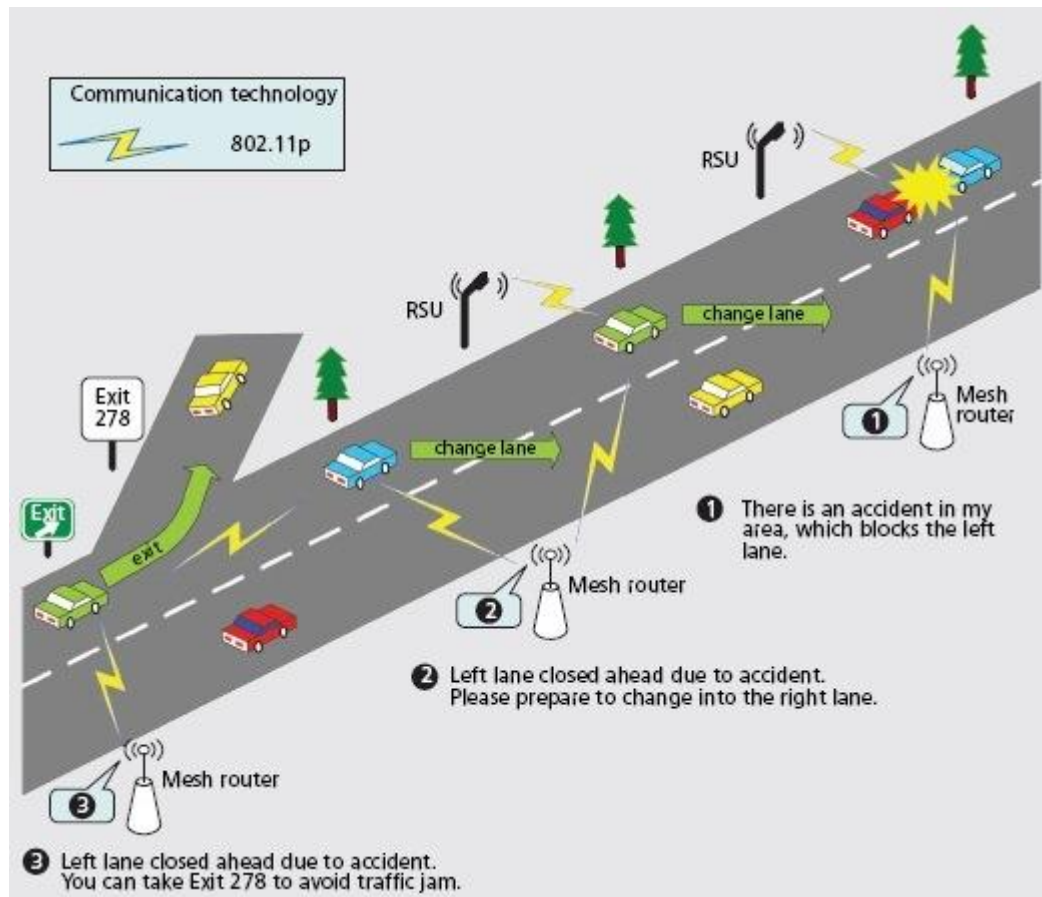


Figure 1.1 : les réseaux VANET [4].

1.4.Objectifs de VANET

Les réseaux VANET sont basés sur la communication et l'échange d'information entre les véhicules, et entre les véhicules et des éléments de la route (*Exemples* : les panneaux de signalisations, les feux d'intersections...) ou des éléments de réseaux externes (Satellites, antennes, internet). (Figure 1.2)

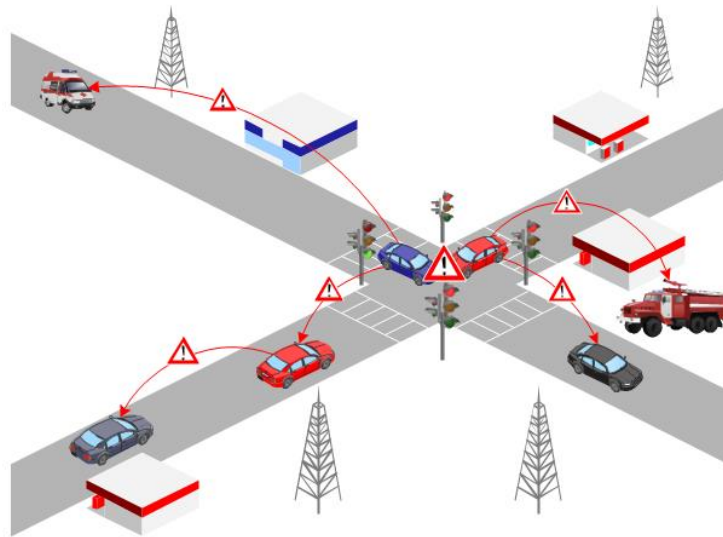


Figure 1.2 : Exemple de communications dans les VANET [4].

Les objectifs de ces échanges d'informations sont :

a) Sécurité des usagers :

- ❖ Prévention sur les accidents : Les accidents deviennent plus rapidement détectables et l'intervention devient plus rapide, cela peut minimiser le risque de décès après un accident.
- ❖ Anticipation du trafic : Les véhicules sont informés par les routes ou il y'a des embouteillages, ils peuvent donc emprunter un autre chemin, cela peut permettre de rendre les routes plus fluides.
- ❖ Préventions d'un véhicules prioritaire : Permet d'avisé les conducteurs d'un passage de véhicules prioritaire (Exemple : ambulances, véhicules de police...).
- ❖ Anticipation d'un danger quelconque : Les véhicules peuvent s'échanger entre eux des préventions de dangers liés aux routes pour mieux les anticipés.

b) Confort des usagers :

- ❖ Avoir une prévention sur l'itinéraire peut permettre de facilité la conduite et amoindrir les risques d'accidents.
- ❖ Les réseaux VANET peuvent communiquer avec les infrastructures externes comme internet, donc la capacité d'accéder à des loisirs comme les téléchargements de flux multimédias, lecture des emails ...etc.

- ❖ Possibilité de jouer en réseau entre les passagers des voitures, téléchargement et partage de fichier tel que les cartes.
- ❖ La régulation des flux de véhicules, permet de réduire le nombre d'embouteillages.
- ❖ Le guidage par GPS permettant un déplacement plus facile, et l'auto-localisation qui permet de trouver les véhicules volés.

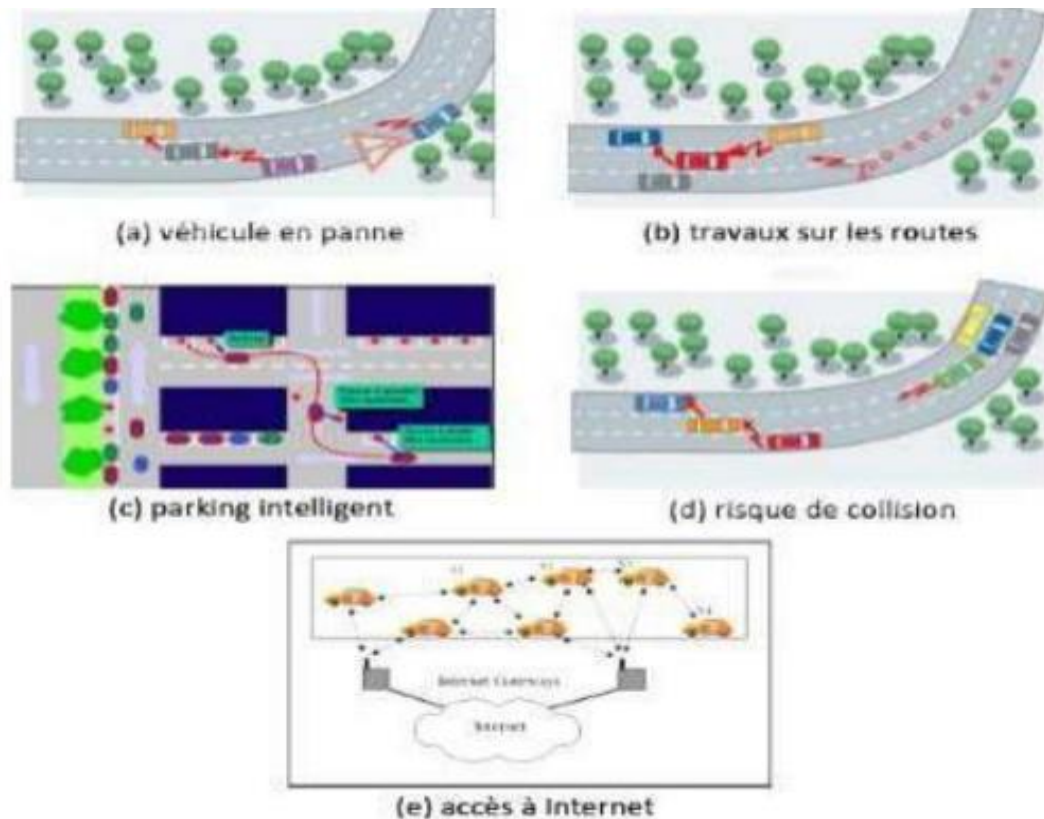


Figure 1.3 : Exemples d'utilisation de VANET [4].

1.5.Caractéristiques des réseaux VANET

Les réseaux véhiculaires se distinguent des réseaux sans fil traditionnels par un certain nombre de caractéristiques spécifiques dont on peut citer :

a) Le potentiel énergétique

À la différence des réseaux sans fil traditionnels où la contrainte d'énergie représente un facteur limitant important, les entités des réseaux véhiculaires disposent de grandes capacités énergétiques qu'elles tirent du système d'alimentation des véhicules.

b) L'environnement de communication et le modèle de mobilité

Les réseaux véhiculaires imposent la prise en compte d'une plus grande diversité environnementale. Du fait de la mobilité des véhicules, il est en effet possible de passer d'un environnement urbain caractérisé par de nombreux obstacles à la propagation des signaux, à un environnement périurbain ou autoroutier présentant des caractéristiques différentes. En plus de cette diversité environnementale, les réseaux véhiculaires se distinguent également des réseaux sans fil ordinaires par un modèle de mobilité dont une des traductions les plus évidentes est l'importante vitesse des nœuds qui réduit considérablement les durées de temps pendant lesquelles les nœuds peuvent communiquer.

c) Le modèle de communication

Les réseaux véhiculaires ont été imaginés principalement pour les applications liées à la sécurité routière (*ex.* diffusion de messages d'alerte). Dans ce type d'application, les communications se font presque exclusivement par reliages successifs d'une source vers une multiplicité de destinataires. Le modèle de transmission en Broadcast ou en Multicast est donc appelé à dominer largement dans les réseaux véhiculaires, ce qui n'est par exemple pas sans conséquence sur la charge du réseau et le modèle de sécurité à mettre en œuvre.

d) La taille du réseau

Etant donné les avancées importantes réalisées dans le domaine des communications sans fil et les bas coûts des équipements associés, les véhicules qui intègrent déjà massivement des systèmes GPS et des équipements Bluetooth, seront très probablement équipés et ce, tout aussi massivement, de plateformes de communication leur permettant de constituer de véritables réseaux. Ce faisant, et compte tenu de l'importance sans cesse grandissante de la densité et du parc des véhicules, on peut s'attendre à ce que la taille des réseaux véhiculaires dont les déploiements restent encore très confidentiels, soit d'une tout autre ampleur. L'importance potentielle de la taille des réseaux véhiculaires constitue donc une caractéristique majeure à prendre en compte dans la conception de ces réseaux.

1.6. Les types de communications dans les réseaux véhiculaires

Dans ces réseaux de véhicules, Les véhicules communiquent les uns avec les autres par l'intermédiaire de la communication inter-véhicule (Inter-Vehicle Communication - IVC) aussi bien qu'avec les équipements de la route par l'intermédiaire de la communication d'équipement-à-Véhicule (Roadside-to-Vehicle Communication - RVC), voici les différents modes de communications :

1) Communications de véhicule à véhicule

Les services et les applications qui sont basés sur la simple communication inter véhicule et n'impliquant pas d'infrastructure, consistent à fournir des communications directe au sein d'un groupe de véhicules en utilisant des communications sans-fil (802.11p)

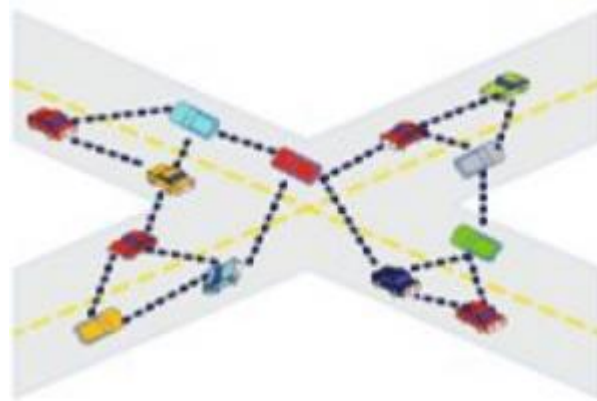


Figure 1.4: Communications de véhicule à véhicule [4].

2) Communications de véhicule à infrastructure

Ces infrastructures offrent des services tel que (accès à internet, échange de données, communications...).

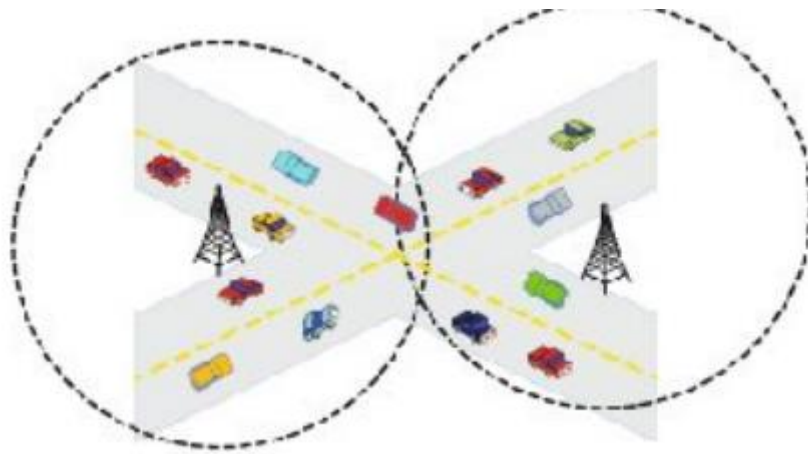


Figure 1.5 : Communications de véhicule à infrastructure [4].

3) Communications hybrides

Les réseaux hybrides ou réseaux ad-hoc hybrides, sont des réseaux sans fil ayant une organisation duale recoupant à la fois celle des réseaux à infrastructure et celle des réseaux ad-hoc.

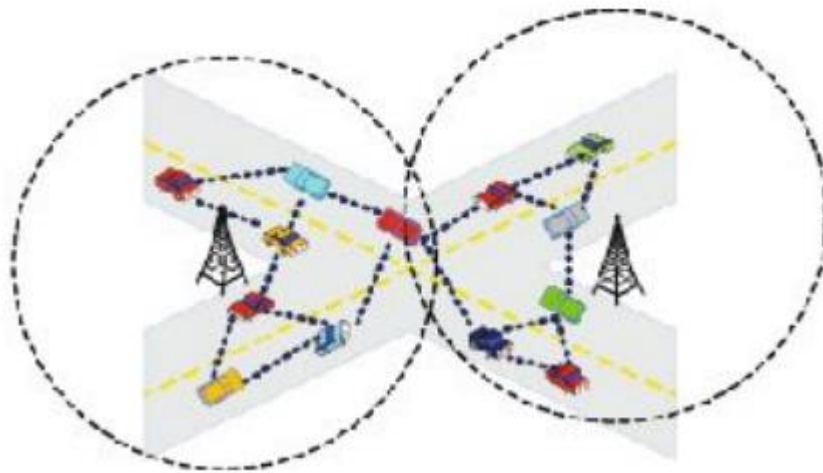


Figure 1.6: Communications hybrides [4].

1.7. Avantages et contraintes de VANET

➤ **Avantage des réseaux VANET**

✓ **Topologie dynamique**

Les nœuds des réseaux VANET (véhicules) se déplaçant très rapidement, la topologie des réseaux et à chaque fois modifiée, mais les caractéristiques de VANET permettent le maintien des communications et l'échange de flux d'informations en dépit des changements fréquents des positions des nœuds.

✓ **Echange entre nœuds hétérogènes**

Les véhicules du réseau VANET sont de différentes marques et les composants réseaux qui les constituent utilisent différents techniques, mais ils peuvent tout de même aboutir à un bon échange d'informations grâce aux protocoles instaurés par les concepteurs du réseau.

✓ **Propagation par trajet multiple**

Les infos partagées par un véhicule peuvent être reçues par tous les autres véhicules se trouvant dans son entourage.

✓ **Relais d'informations**

Deux véhicules distants de plusieurs KM peuvent se partager une information, cette information envoyée depuis un nœud A est relié par plusieurs nœuds intermédiaires avant d'arriver au destinataire B.

➤ **Inconvénients des réseaux VANET**

✓ **Canal radio partagé et limité**

Un canal radio à fréquences précises est utilisé par tous les nœuds, le flux d'information est donc limité et le débit de transmission diminue surtout dans les centres villes.

✓ **Faible bande passante**

Le partage du canal limite la bande passante dont dispose chaque nœud pour partager les informations.

✓ **Les interférences**

Les réseaux VANET utilisent les transmissions radio pour transmettre l'information, ce qui rend les communications exposées aux interférences radio, ces derniers sont de nature diverse comme : le rapprochement des fréquences d'émission (interférences entre deux nœuds), les bruits de l'environnement (équipements électriques, moteurs), et les phénomènes de réflexion, atténuation et dispersion qui déforment le signal.

Ces interférences font augmenter le taux d'erreurs de transmission, et le rendent incompréhensible par le récepteur.

1.8.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents concepts liés aux réseaux véhiculaires. En effet, nous avons donné leurs définitions, leurs caractéristiques, ainsi que leurs domaines d'applications.

Chapitre 2

Les Générations de Téléphonie Mobile

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G pas encore mis en œuvre) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

Les réseaux de la 1^{ère} génération (appelée aussi 1G) ont été intégrés au réseau de télécommunication dans les années 80. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la seconde génération, appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active de nos jours. Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde : la 2.5 et la 2.75. Le principal standard utilisant la 2G est GSM. A la différence de la 1G, la seconde génération de normes permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation du WAP permettant d'accéder à Internet, tant dit que pour la 3^{ème} génération connue sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à l'internet et le transfert de données. En ce qui concerne la nouvelle génération 4G(LTE), déployer jusque-là que par quelque pays, elle permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services qu'on verra par la suite dans le prochain chapitre.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphones mobiles, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires.

2.2. *Historique*

L'usage des services de communications mobiles a connu un essor remarquable, ces dernières années. La figure 2.1 illustre l'évolution du nombre d'abonnés mobiles au regard de la population mondiale. La fin 2017 environs de 7.5 milliards d'abonnés à travers le monde [5]. C'est véritablement un nouveau secteur de l'industrie mondiale qui s'est créé, regroupant notamment constructeurs de circuits électroniques, de terminaux mobiles, d'infrastructures de réseaux, développeurs d'applications et de services et opérateurs de réseaux mobiles.

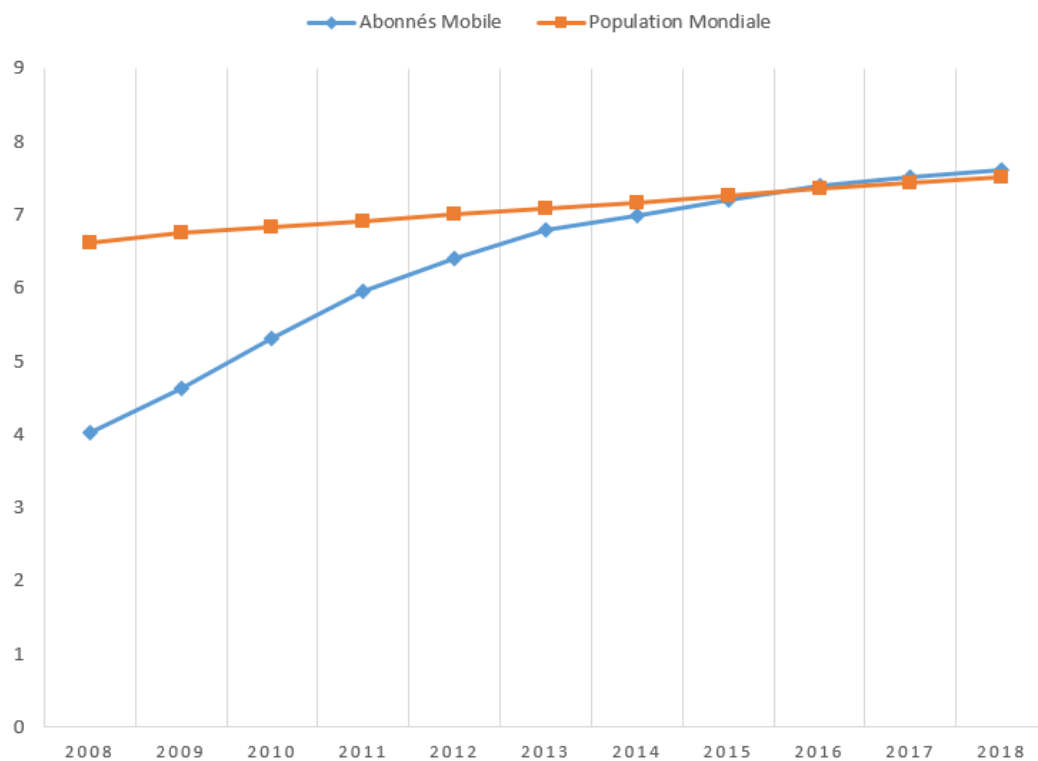


Figure 2.1 : Évolution du nombre d'abonnés mobiles à travers le monde [5] [6].

2.3. *Les différentes normes téléphoniques*

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle.

2.3.1. La première génération des téléphones mobiles (1G)

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

2.3.2. La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

Le GSM est apparu dans les années 90. Il s'agit de la norme 2G. Son principe, est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des minimes messages (SMS, limités à 80 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

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, dans ce concept, ils ont pensé à développer de nouvelles techniques de modulations et de codages qui ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération.

2.3.3. La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder youtube, de la visiophonie,... Outre 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). L'idée était d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

A. Les fréquences de l'UMTS

Les fréquences allouées pour l'UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

- Duplex temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (uplink bande de 35Mz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz)
- Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz (uplink bande de 60 MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60 MHz)
- Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz (uplink de 30 MHz) et 2170 à 2200 MHz (downlink de 30 MHz)

La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz [7].

B. Le débit de l'UMTS

L'UMTS permet théoriquement des débits de transfert de 1,920 Mbit/s, mais fin 2004 les débits offerts par les opérateurs dépassent rarement 384 Kbit/s. Néanmoins, cette vitesse est nettement supérieure au débit de base GSM qui est de 9,6 kbit/seconde.

Le débit est différent suivant le lieu d'utilisation et la vitesse de déplacement de l'utilisateur:

- En zone rurale : 144 kbit/s pour une utilisation mobile (voiture, train, etc.) ;
- En zone urbaine : 384 kbit/s pour une utilisation piétonne ;
- En zone bâtiment : 2000 kbit/s depuis un point fixe ;

Grâce à son débit, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux. L'UMTS permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et la vidéo.

Les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo, Vidéo à la demande, Télévision.

2.3.4. La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE)

La norme LTE-advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence, comme le résume le tableau suivant :

		LTE	LTE-advanced
Débits crêtes maximums	DownLink	300 Mb/s	1 Gb/s
	UpLink	75 Mb/s	500 Mb/s
Bandes de fréquence		1.4 à 20 MHz	100 Mhz
Latence	Données	10 ms	10ms (RTT)
	Session	100 ms	50ms
Efficacité spectrale DL/UL	Max	5.0/2.5 b/s/Hz	30/15 b/s/Hz
	Moyen	1.8/0.8 b/s/Hz	2.6/0.2 b/s/Hz
	En limite	0.04/0.02 b/s/Hz	0.009/0.07 b/s/Hz

Tableau 2.1 : Différents Paramètres du LTE-Advanced [7].

La 4G est la quatrième génération de réseau mobile. Elle est la norme succédant à la 3G, on étudiera cette génération plus en détail dans le prochain chapitre.

Pour résumer, la 4G c'est la norme des standards de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'à 50 fois plus important que la première norme.

2.3.4.1. Définition des réseaux LTE

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux.

Ces fréquences sont destinées au déploiement de réseaux mobiles à très haut débit, pour apporter au consommateur une capacité et une qualité de services supérieures aux offres actuelles d'internet mobile. La technologie LTE « Long Term Evolution » offre aux utilisateurs

des débits de plusieurs dizaines de Mbit/s, largement supérieurs aux performances des technologies 3G et 3G+ actuellement déployées, ainsi que des latences plus faibles favorisant une meilleure interactivité.

Avec le 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations – voix et données – par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Ça facilite aussi le développement d'applications multimédias. Cette génération permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts.

Selon les critères de l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui établit les normes pour les réseaux cellulaires, le vrai 4G devrait offrir des vitesses de téléchargement de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire [7].

2.4. Conclusion

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire.

Pour les réseaux 4G (LTE), nous avons présenté un bref aperçu et dans le prochain chapitre, nous allons le détailler.

Chapitre 3

LTE (LONG TERM EVOLUTION) détaillée

La planification d'un réseau mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et les utiliser de façon optimale, en respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service. Ce processus qui peut être à la fois long et coûteux a lieu avant la mise en opération du réseau. Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G) et de troisième génération (3G).

Les réseaux de prochaine génération orientent la planification des réseaux cellulaires vers de nouvelles avenues de recherche. En effet, les tendances portent de plus en plus vers une intégration transparente des technologies sans fil existantes, comme les systèmes GSM, LAN, AdHoc en un environnement totalement hétérogène. Cette nouvelle vague de pensée distingue la 4ème génération des générations précédentes, où seul primait le besoin de développement de nouvelles normes et de nouveaux standards. Les systèmes 4G sont complètement orientés vers l'utilisateur final, en fournissant des services variés à haut débit et sans coupure à travers les

réseaux. Toutefois, la migration des systèmes actuels vers la 4^{ème} génération constitue un énorme défi.

3.2. LTE (4G)

La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « downlink », alors que la "vraie 4G" offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s [7].

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée.

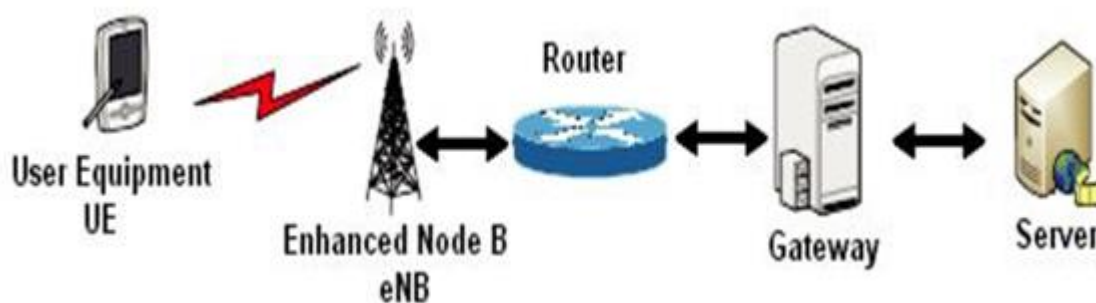


Figure 3.1 : Présentation générale sur le système LTE [8].

3.3. Buts de la 4G

La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre

les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont les suivants :

- ❖ Assurer la continuité de la session en cours
- ❖ Réduire les délais et le trafic de signalisation
- ❖ Fournir une meilleure qualité de service
- ❖ Optimiser l'utilisation des ressources
- ❖ Réduire le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets
- ❖ Minimiser le coût de signalisation

3.4. Architecture

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure 3.2 présente l'architecture du réseau lte.

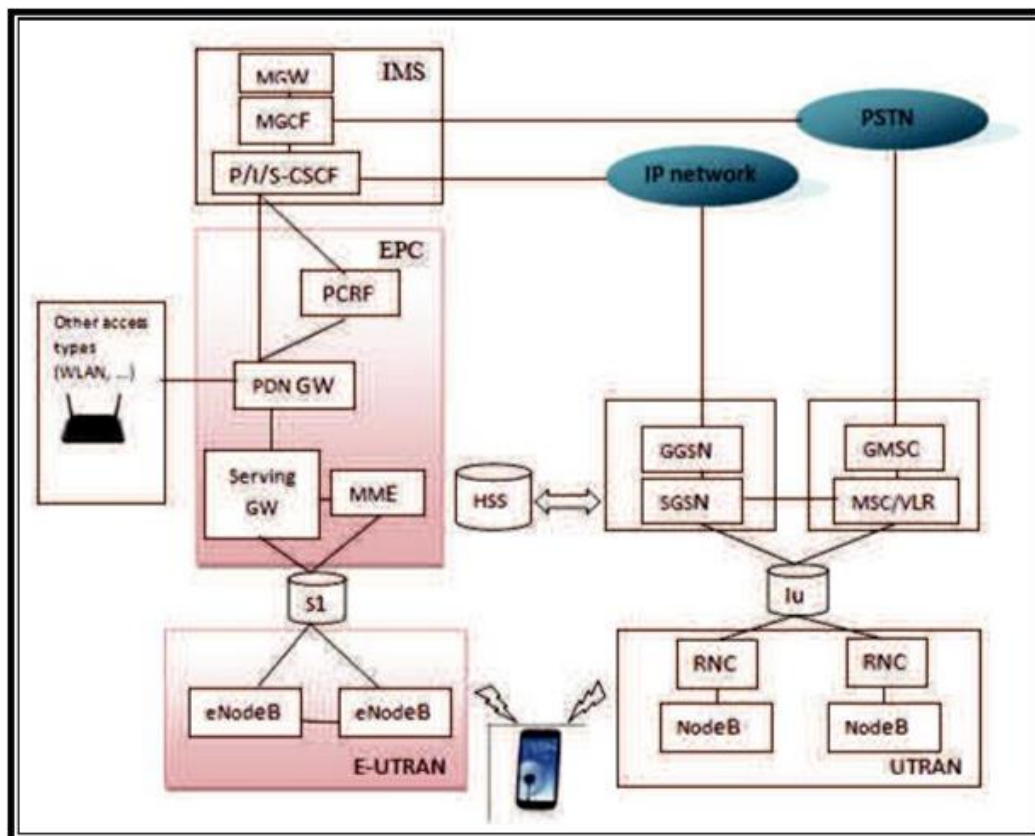


Figure 3.2 : Architecture générale du LTE.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN). La figure 3.3 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.

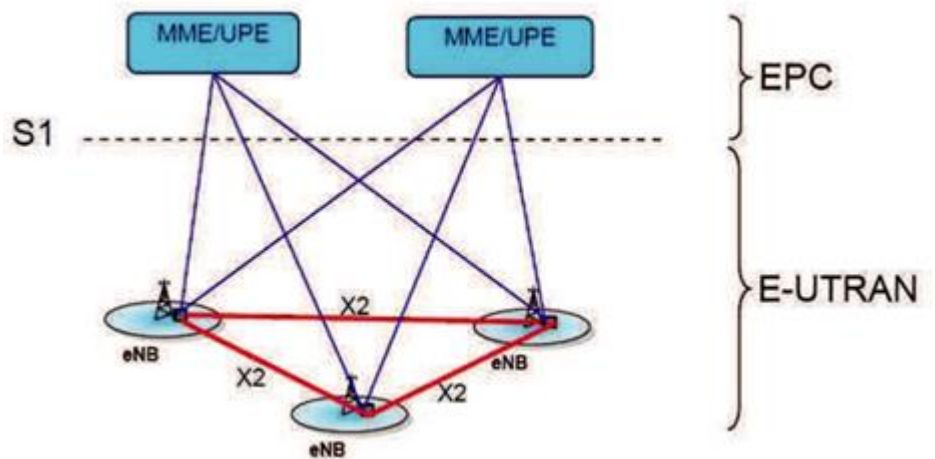


Figure 3.3: Architecture d'EPS (Evolved Packet System) [9].

3.4.1. EPC : Evolved Packet Core

Le cœur de réseau appelé « EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

EPC Simplifie le réseau d'architecture à tout IP, comme il assure la mobilité entre 3GPP based système, et aussi non 3GPP based système par exemple WIMAX et CDMA2000.

Le réseau cœur EPC est constitué de plusieurs éléments comme la montre la figure suivante :

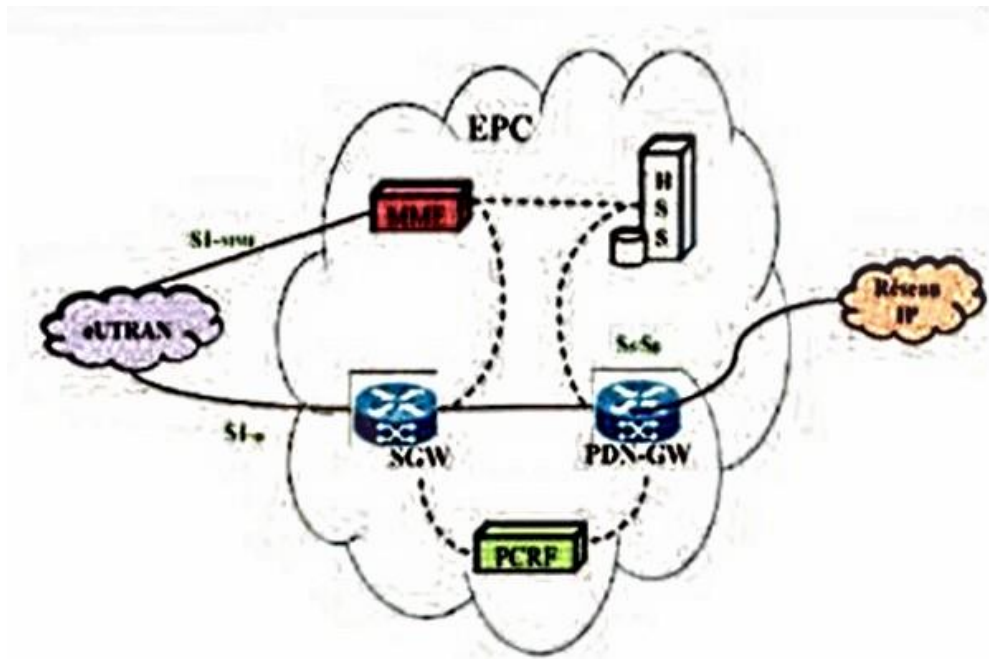


Figure 3.4 : Architecture du réseau cœur EPC [10].

EPC est l'élément principal de l'architecture SAE. Il a un rôle équivalent du NSS dans le réseau GPRS.

Le cœur réseau est composé de deux parties séparées :

3.4.1.1. La partie Signalisation

Gère la mobilité et le rattachement des abonnés sur le réseau, il s'agit du MME. Une base de données permettant entre autre d'authentifier l'abonné, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications, il s'agit du HSS.

Une politique de tarification, qui permet de gérer l'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonnée, il s'agit du PCRF.

❖ MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8)

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE

(Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

❖ **HSS : Home Subscriber Service**

Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du subscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de control et la session management. Elle est Principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

❖ **PDN-GW: Packet Data Network GateWay (3GPP Release8)**

Est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments:

- La porteuse radio entre UE et eNodeB.
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

❖ **PCRF: Policy and Charging Rules Function (3GPP Release7)**

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

❖ **SGW: Serving Gateway (3GPP Release 8)**

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur Serving GetWay (SGW) achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeB handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

❖ **P-GW: Packet-Switch GetWay**

Packet-Switch GetWay (P-GW) Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les

applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP système.

❖ **SGSN : Serving GRPS Support Nom**

Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

3.4.2. La partie radio eUTRAN

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2). Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

❖ **eNodeB**

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC.

3.4.3. La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

❖ **Définition**

L'IP Multimedia Sub-system (IMS) est une architecture standardisée NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée.

Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de circuits) sont pris en charge. L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux. Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela qu'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire ; Il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services.

❖ Exemples de services de l'IMS

- Echange de fichiers pendant un appel.
- Un usager peut créer une règle qui le montre connecté après une certaine heure et rejette tous les appels en provenance d'un appelant de son groupe professionnel.
- Un usager peut couper lorsque ses collègues professionnels appellent et les rediriger vers une page Web spécifique présentant l'hôtel où il passe ses vacances.
- Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de l'appelant.
- Messagerie instantanée et vidéo conférence.

3.5. Comparaison entre les réseaux 3G et 4G

Appréhender les évolutions et le fonctionnement des réseaux mobiles en évolution vers des technologies LTE (Long Term Evolution). La figure suivante montre une simple comparaison entre l'architecture du réseau de troisième génération et celui de la quatrième génération.

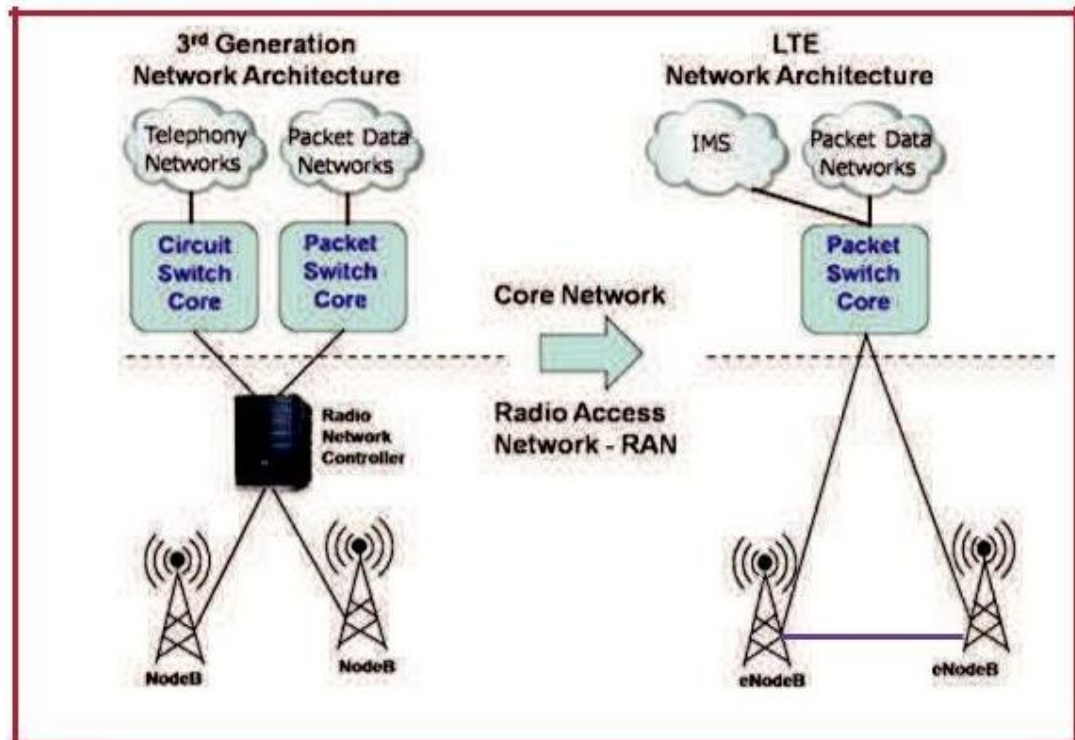


Figure 3.5 : Comparaison 3G / 4G.

Les MME (Mobility Management Entity) remplacent les dispositifs PDSN / SGSN et BCS/RNC.

Les eNodeBs remplacent les BTS / NodeB Serving.

Les PDN (Packet Data Network) remplacent les GGSN.

3.6. Les caractéristiques fondamentales de la 4G

La 4G permet effectivement d'avoir des performances de Qos très fiables, en citant par la suite quelques paramètres :

3.6.1. Débits et fréquences du réseau 4G

L'évolution des débits suit une progression semblable à celle de la capacité de calcul. Chaque nouvelle technologie de réseaux mobiles augmente les débits et suscite une attente de débits supérieurs. Il était ainsi également clair dès 2004 que le LTE devrait fournir de très hauts débits. Au-delà des limitations capacitaires, le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, liées en particulier à sa position dans la cellule, des techniques de transmission employées et de la ressource spectrale disponible.

L'établissement des standards de performances communément admis pour les réseaux 4G : 100 Mbit/s sur le lien radio descendant (antenne relais vers mobile), et 50 Mbit/s maximum sur le lien montant (mobile vers antenne relais). La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz aux Etats-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais) [9].

Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants : [9]

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

- deux antennes en réception.
- une antenne en émission.

Pour le LTE y a aura, deux antennes d'émission à la station de base et deux antennes en réception au niveau de l'UE.

L'utilisateur peut ainsi accéder à ses services favoris chez lui ou hors de son domicile avec une fluidité homogène. En complément, le débit est jugé comme un facteur de comparaison entre opérateurs et une course aux débits est en marche dans certains pays.

Enfin, des débits toujours plus élevés ouvrent la porte à l'introduction de nouveaux services, sources de revenus et/ou de différenciation pour les opérateurs.

3.6.2. Latence

A. Latence du plan de contrôle

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

B. Latence du plan usager

La latence du plan usager est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres

termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.

Le tableau 3.1 présente les deux types de latence existante dans le réseau LTE, ainsi que leurs différences dans les domaines de duplexage (FDD et TDD).

<i>Latence du plan usager (ms)</i>		<i>Latence du plan de contrôle pour la transition de l'état de veille à actif (ms)</i>	
<i>FDD</i>	<i>TDD</i>	<i>FDD</i>	<i>TDD</i>
<5	<= 6.2 EN DL <= 9.5 EN UL	80	85

Tableau 3.1 : La latence pour chaque multiplexage.

3.6.3. L'agilité en fréquence

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant. Notons que le débit crête est proportionnel à la largeur de bande. Les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charge pour toutes ces largeurs de bande.

3.6.4. Codage et sécurité

L'utilisation du codage OFDMA ((Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » (AMRF ou en anglais FDMA) pour la liaison descendante et du SC-FDMA (Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS).

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO.

3.6.5. La mobilité

La mobilité est une fonction clé pour les réseaux mobiles. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des handovers intra-système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale est moins qu'en GSM, ou équivalent. Le système intègre également des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra-système [11].

3.6.6. Modulation adaptative et codage

Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance 4 = 16 états d'information. Chaque une de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM

Modulations Uplink : QPSK et 16QAM

3.6.7. Les types de transmission utilisée dans la 4 G

Un des éléments clés de la LTE est l'utilisation de ces deux techniques OFDMA et SC-FDMA, qu'on présentera par la suite, en tant que porteur du signal et des régimes d'accès.

3.6.7.1. OFDMA [11]

L'OFDMA est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » qui est utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE. Elle est également utilisée par d'autres systèmes de radiocommunication, tels les versions

évoluées des normes de réseaux locaux sans fil WIFI (IEEE 802.11 versions n, IEEE 802.22 et WiBro) ainsi que par certaines normes de télévision numérique. Comme pour d'autres techniques de codage permettant l'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA), l'objectif est de partager une ressource radio commune (bande de fréquence) et d'en attribuer dynamiquement des parties à plusieurs utilisateurs.

❖ Origine et avantages

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, ainsi qu'il est compatible avec la technique des antennes MIMO.

L'OFDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante au codage CDMA qui est utilisé dans les réseaux 3G UMTS, particulièrement dans le sens de transmission downlink des réseaux mobiles, car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé grâce à sa grande efficacité spectrale (nombre de bits transmis par Hertz) et à sa capacité à conserver un débit élevé même dans des environnements défavorables avec échos et trajets multiples des ondes radio. Ce codage (tout comme le CDMA utilisé dans les réseaux mobiles 3G) permet un facteur de réutilisation des fréquences égal à « 1 », c'est-à-dire que des cellules radio adjacentes peuvent réutiliser les mêmes fréquences hertziennes.

3.6.7.2. SC-FDMA

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE.

Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une « **DFT** » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission

montant des réseaux 4G LTE où son **PAPR** (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (smartphone ou tablette tactile).

Il a été adopté pour les liaisons uplink de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio downlink des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé.

Codage radio OFDMA et SC-FDMA : conversion numérique/analogique

3.6.7.3. Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA

La figure suivante permet de relever les points communs entre l'OFDMA et le SC-FDMA :

- Une transmission de données en blocs.
- Un multiplexage des données en fréquence dans le cas où ils sont répartis sur plusieurs sous-porteuses orthogonales.
- Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel.
- Une complexité globalement équivalente.

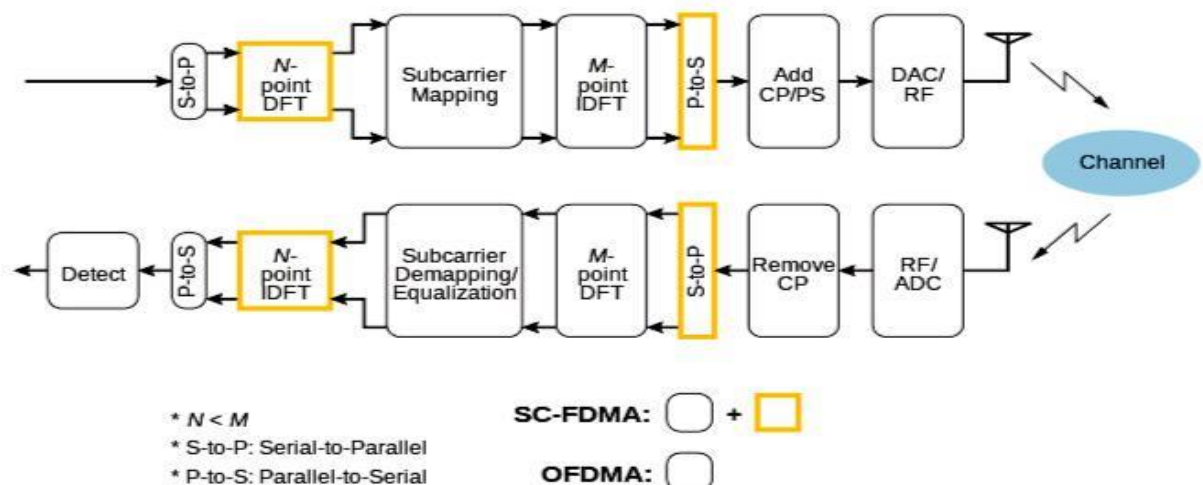


Figure 3.6 : Similitude entre une chaîne OFDMA et SC-FDMA [12].

Mais ces techniques n'ont pas que des points communs. La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse [13].

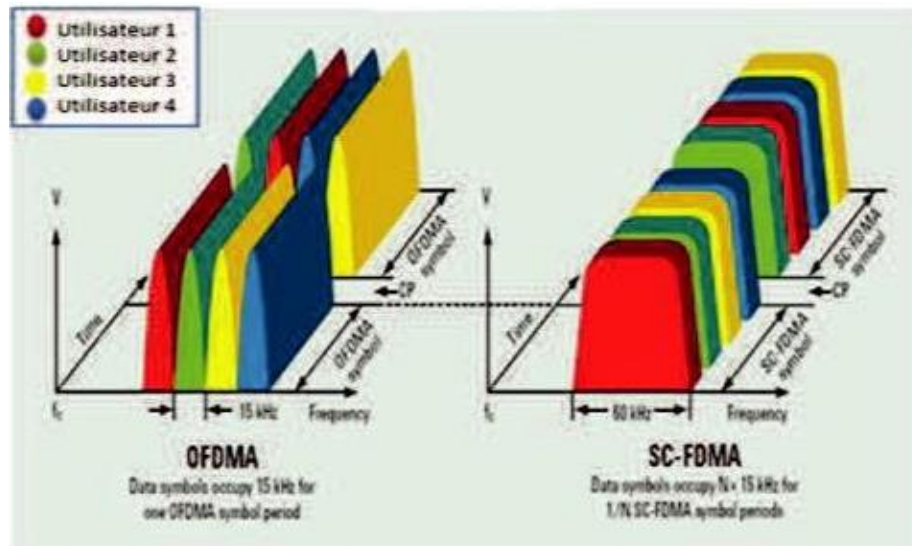


Figure 3.7 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA [12].

3.7. Différence entre les technologies LTE et VANET

Dans le tableau suivant une partie de la différence entre les technologies LTE et VANET.

spécifications	LTE	VANET (802.11p)
nom	Long Term Evolution	Vehicular Ad-Hoc Network
Désignation des éléments de réseau	eNBs(i.e. Base Stations) et UE(Mobile subscriber)	RSU (road side unit) Onboard Units (OBUs)
distance de couverture	Environ 2 à 10 miles	Environ 300 mètres (maximum)
Channel Bandwidth	1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz	10 MHz,
Applications	À la fois intérieur et extérieur avec mobilité	Principalement a extérieur avec mobilité
Technique d'accès	OFDMA (downlink) SC-FDMA (uplink)	OFDM en liaison montante (uplink) et en liaison descendante (downlink)
MIMO	prise en charge	prise en charge
Fréquence de fonctionnement	Différentes bandes de fréquences prises en charge dans tout le pays	5.85-5.925 GHz
Topologie	Supporte TDD et FDD	Supporte seulement TDD

Tableau 3.2 : Différence entre les technologies LTE et VANET.

3.8. Réseau de véhicules avec IEEE 802.11p et LTE

Les travaux précédents :

Quelques comparaisons en termes de performance [13,14] entre les deux technologies existent dans la littérature, mais l'utilisation complémentaire de LTE et IEEE 802.11p reste très peu étudié.

Dans [15], les auteurs montrent les avantages de combiner les deux technologies par rapport au nombre d'accès effectués sur le réseau IEEE 802.11p. Les résultats montrent qu'un mécanisme de clustering (regroupement des véhicules dans une architecture hiérarchique, avec des groupes de véhicules au premier niveau et des leaders de groupe, i.e. cluster heads, au deuxième niveau), fonctionnant sur le réseau LTE, arrive à mieux coordonner l'accès au medium dans un réseau IEEE 802.11p.

Dans [13], les auteurs proposent des architectures pour la mise en réseau de véhicules qui utilisent un réseau sans infrastructure basé sur IEEE 802.11p ou un réseau cellulaire LTE basé sur l'infrastructure.

Un scénario urbain est considéré pour ces architectures comme illustré dans la figure 3.8.

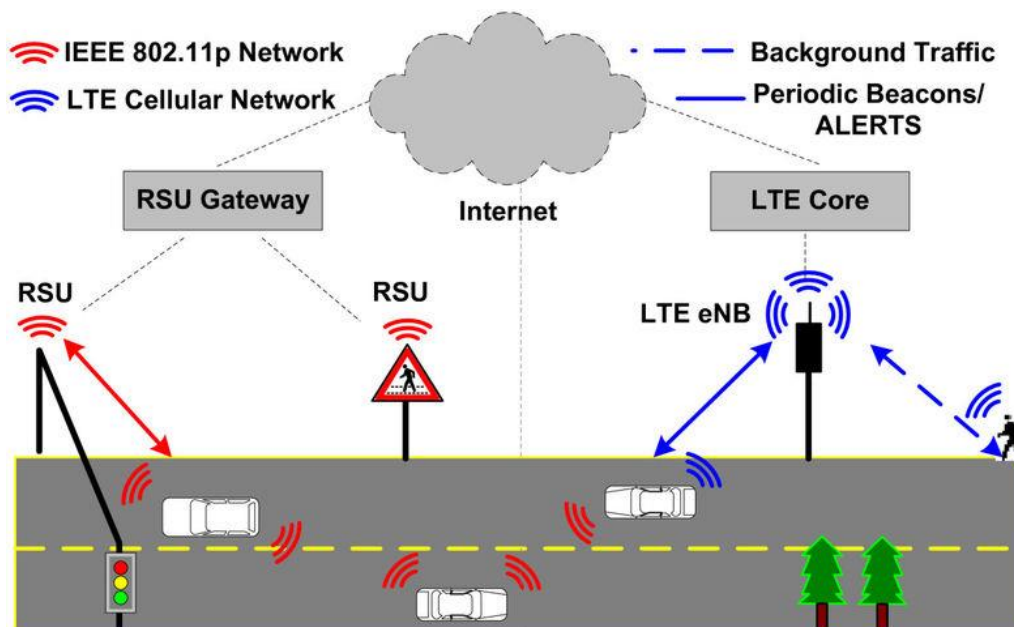


Figure 3.8 : Réseau de véhicules avec IEEE 802.11p et LTE.

Le côté gauche représente le réseau véhiculaire IEEE 802.11p où plusieurs unités RSU sont connectées à une passerelle via un réseau de base qui fournit à son tour un accès à Internet.

Tandis que le côté droit montre une autre approche pour la mise en réseau des véhicules où les véhicules OBUs ou smartphones exploitent l'infrastructure cellulaire LTE déjà existante pour communiquer.

Du point de vue du flux de données, l'OBU embarqué dans les voitures ou les smartphones recueille les informations pertinentes et échange périodiquement des messages beacon avec d'autres véhicules, soit de manière directe via ad hoc, soit via des RSU.

Alternativement, cet échange est effectué via le nœud de station de base (eNB en LTE) du réseau cellulaire. Dans ce dernier cas, toutes les beacon reçues par l'eNB doivent traverser (EPC)¹ avant de pouvoir être diffusées vers les autres véhicules du réseau.

3.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (quatrième génération) afin de présenter la suite de la terminologie des termes utilisés dans cette technologie.

¹ Evolved Packet Core (EPC) est un framework pour la fourniture de voix et de données sur un réseau LTE (Long-Term Evolution) 4G.

Chapitre 4

Simulation et analyse des résultats

Toute nouvelle solution passe par un processus d'évaluation et de validation avant son éventuel déploiement. Le moyen idéal de réaliser cette tâche est de pouvoir effectuer des tests dans des environnements réels. Cependant, de part la nature distribuée, l'environnement et la topologie complexe des réseaux véhiculaires, la simulation est le moyen le plus largement utilisé. En effet, il est plus facile et moins cher, par le biais de la simulation, de concevoir, d'analyser et d'évaluer les performances de toute solution.

Pour la réalisation de notre travail, nous avons besoin d'un outil permettant de simuler la communication réseau entre les nœuds, et d'un module permettant de générer une mobilité aussi proche que possible du comportement de véhicule.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'environnement de simulation et la configuration des paramètres d'entrée, ainsi que les critères d'évaluation. Enfin, l'interprétation des résultats de simulation.

4.2. Environnement De Simulation

Dans les VANETs, nous distinguons deux types de simulateurs : les simulateurs du trafic routier et les simulateurs réseau.

Les simulateurs de trafic routier sont utilisés pour la réalisation de la carte du réseau routier et la génération de la mobilité souhaitée (types de véhicules, vitesses, évènements de la route, etc.). Tandis que les simulateurs réseau se charge d'évaluer les performances des protocoles et les différents services réseaux. Pour réaliser la simulation, nous avons utilisé les outils suivants :

- Sumo pour la visualisation et la simulation de ce réseau routier
- NS3 Comme simulateur de réseau

4.2.1. SUMO (Simulator of Urban MObility)

SUMO est un logiciel open source disponible pour Windows et Linux, qui permet d'effectuer des simulations de trafic routier. Il est très portable et nécessite uniquement l'installation des bibliothèques C++. Dans SUMO, chaque véhicule a son propre chemin. Le comportement du véhicule est vivant comme le changement de voie. Les routes dans SUMO sont présentées sous forme de plusieurs voies (figure4.1).

Il y a des intersections à base de règles de circulation et d'autres à priorité.

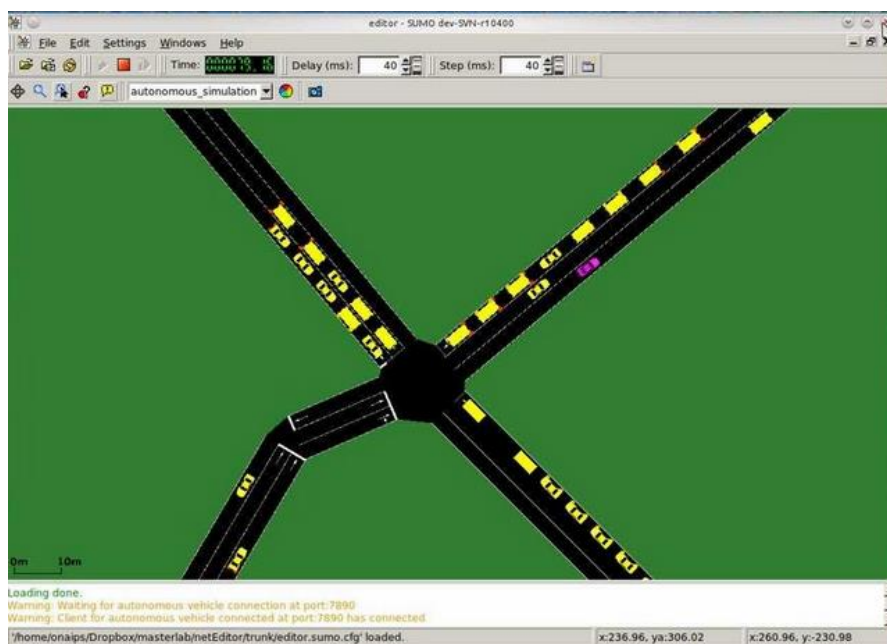


Figure 4.1 : Sumo.

4.2.2. NS-3 (Network Simulator-3) :

Un simulateur de réseau se compose d'une large gamme de technologies de réseau et de protocoles. Il est conçu pour aider les utilisateurs à créer des réseaux complexes à partir des classes représentant les modules de base pour construire un réseau.

Nous avons choisi de faire notre simulation avec le simulateur de réseau NS-3 (Network Simulator 3). Les raisons de ce choix sont justifiées par la robustesse du simulateur NS-3.

En effet, ce simulateur offre de meilleures performances en termes de rapidité de calcul et en temps de réponse.

Nos simulations ont été réalisées sous le simulateur NS-3 (**version 3.26**), qui possède un module qui permet de simuler le réseau LTE avec une variété de mécanismes de qualité de services.

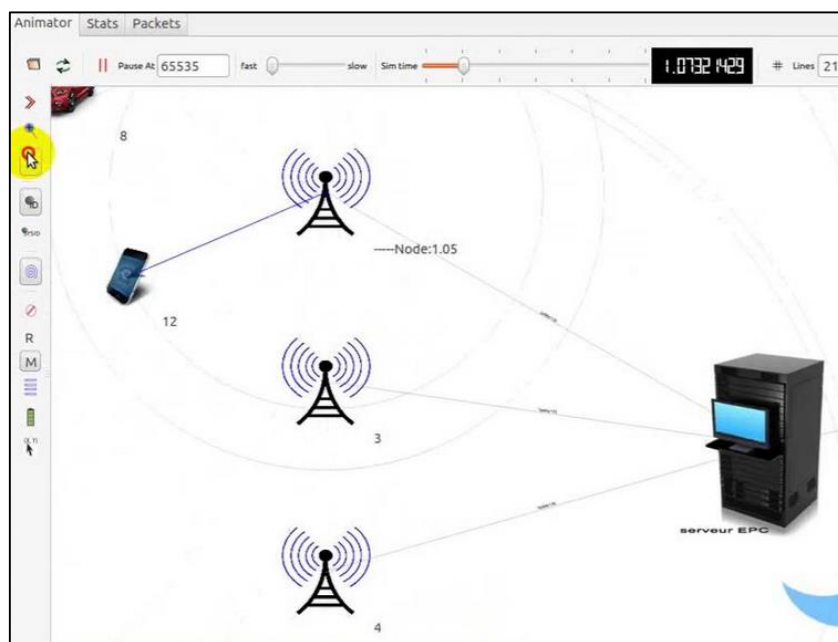


Figure 4.2 : ns3.

4.3. Modules du simulateur NS-3 :

Les modules de base de NS-3 sont :

- ❖ **Core** : Il permet de créer une structure de classes hiérarchiques qui dérive de la classe objet de base et ce module de base est indépendant
- ❖ **Common** : Il permet de gérer les actions liées à l'émission et la réception des paquets, son utilisation permet d'optimiser la gestion de la mémoire en utilisant la méthode copier/coller. La plupart des autres modules utilisent ses fonctionnalités

- ❖ **Simulator** : Il permet de gérer la simulation des événements. La classe Time représente le temps simulé à haute résolution en utilisant un entier de 128 bits, et cette classe est la classe la plus importante du simulateur
- ❖ **Mobility** : Ce module permet de définir la position des nœuds et associe un modèle de mouvement aux agents de la simulation
- ❖ **Node** : La classe Node peut contenir plusieurs NetDevices, Chacun d'entre eux est attaché à un canal par lequel il envoie et reçoit des paquets. Un nœud peut contenir plusieurs gestionnaires de protocole, qui acceptent les paquets reçus par le NetDevice
- ❖ **Helper** : Ce modèle peut être considéré comme un emballage de haut niveau. Il facilite la construction des scénarios complexes de simulation et l'installation des différents modules dans des agents différents
- ❖ **Application** : Certaines applications sont intégrées et fournies par NS-3. Elles sont installées dans les nœuds et peuvent être démarrées/arrêtées à des moments précis dans la simulation
- ❖ **InternetStack** : Les classes de ce module définissent les protocoles TCP/IP des couches réseaux trois et quatre
- ❖ **Devices** : Les composants de ce type représentent des périphériques réseaux et transmettent des paquets via un canal virtuel à d'autres instances de la même classe NetDevice
- ❖ **Routing** : Plusieurs algorithmes de routage sont disponibles dans NS-3. Le premier utilise des routes statiques et le deuxièmement sont des protocoles pour les réseaux dynamiques Ad hoc [16]

4.3.1. Configuration des paramètres d'entrées :

Le processus de simulation d'un VANET se fait en plusieurs étapes, illustrées à la **Figure 4.3**.

Dans un premier temps, SUMO nécessite des fichiers d'entrées au format xml. Ces fichiers sont réunis dans un fichier de configuration dont le format est propre à SUMO : .sumo.cfg.

Le fichier de sortie est alors au format xml. Il est ensuite traité par un programme en langage C++ (fourni par SUMO) qui permet de créer un fichier exploitable par NS-3 et NS-2.

À la fin de la simulation avec NS-3, il y a deux fichiers de sortie : un fichier contenant la trace de toutes les communications entre les nœuds de la simulation, et un fichier comportant les données de déplacement des nœuds durant la simulation, et pouvant être exécuté dans l'interface graphique de NS-3.

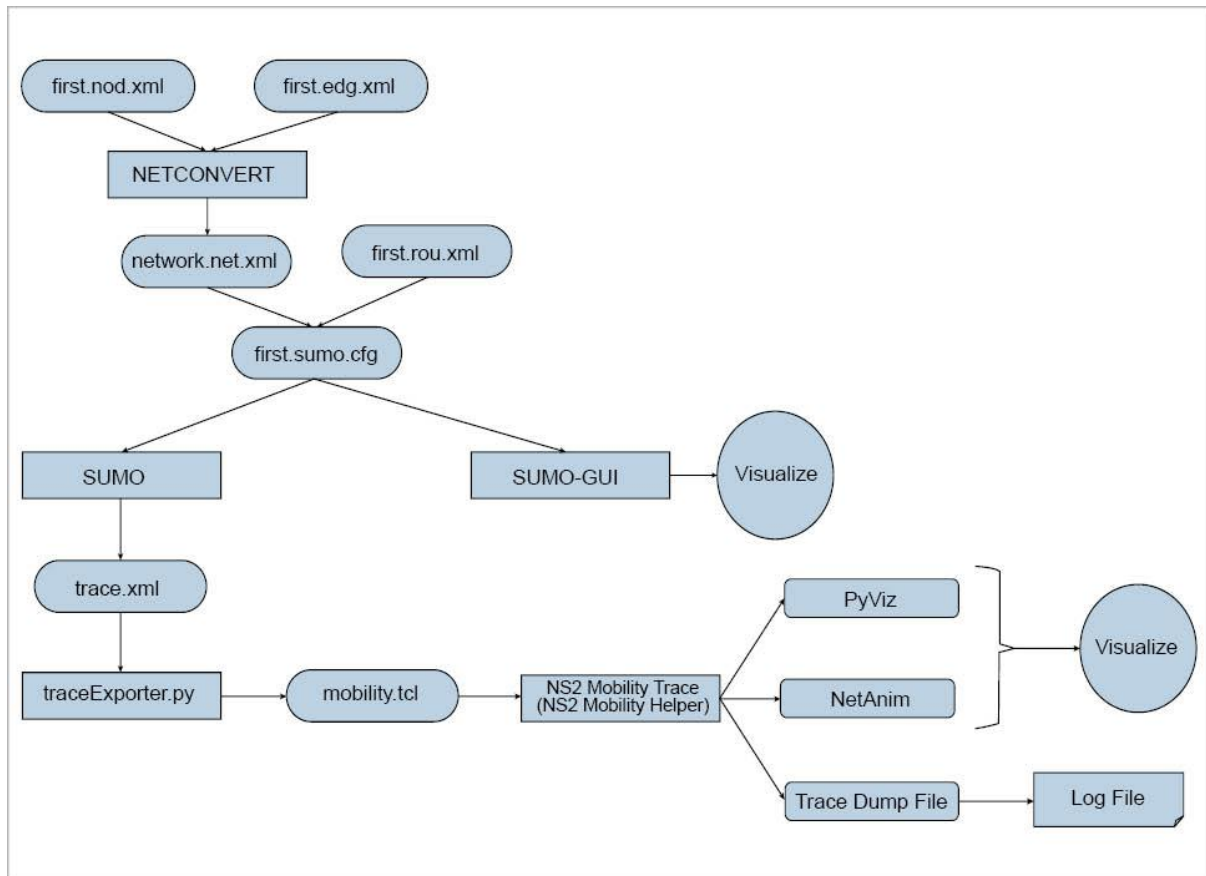


Figure 4.3 : Processus de simulation d'un VANET avec SUMO et NS-3 [17].

4.4. Les critères d'évaluation :

Notre objectif dans ce mémoire réalisé sous NS-3 est d'évaluer les performances des réseaux traditionnels VANET et les réseaux LTE selon les métriques suivantes :

1. Taux de livraison de paquets

C'est un facteur très important pour évaluer les performances d'un protocole de routage dans n'importe quel type de réseau.

On peut obtenir le taux de livraison de paquet PDR (Packet Delivery Ratio) à partir de la somme de nombre de paquets reçus par le destinataire divisé par la somme de paquets émis par tous les nœuds émetteurs [18].

$$\text{PDR} = \frac{\sum \text{nbr de paquets recus par la destination}}{\sum \text{nbr de paquets envoyes par tous les noeuds source}}$$

2. Délai de bout en bout

Le délai moyen de bout en bout, c'est-à-dire la mesure du délai entre l'envoi du message par le nœud source et sa réception par le nœud destinataire. Le délai de bout en bout d'un paquet i entre une paire de nœuds Source-Destinataire est :

$$D = (T_{ri} - T_{si})$$

Le délai moyen de bout en bout d'un paquet i entre une paire de nœuds Source-Destinataire est :

$$D = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n (T_{ri} - T_{si})$$

Avec n , le nombre total de paquets reçus pendant la simulation.

3. Débit moyen

Le débit (Throughput), correspond au ratio entre le nombre de paquets envoyés et le temps qui a été nécessaire à leurs transmissions. Afin de l'exprimer, on utilise la taille des paquets en bits. Le résultat est donc en bits/secondes [18]. On calcule le débit moyen pour toute la simulation à l'aide de la formule suivante :

$$debit\ moyen = \sum_{k=1}^n \frac{taille\ du\ paquet\ reçu}{(temps\ reception - temps\ emission)}$$

Avec n , le nombre de paquets de données qui ont été reçus par les nœuds destinataires.

4.5.Interprétation des résultats :

Dans cette partie nous allons utiliser les métriques que nous avons vu précédemment pour évaluer les performances des réseaux LTE-4G et IEEE 802.11p. Enfin, nous avons interprétés les graphes tracés à partir des résultats collectés lors de la simulation en utilisant Microsoft Office Excel.

Les différents paramètres que nous allons utiliser pour effectuer les tests sont illustrés dans le tableau suivant :

Simulation paramètres	Values	
Nombre de véhicules	25, 50, 75,100	
Vitesse de véhicules	20, 40, 60, 80,100 Km/h	
Zone de simulation	1,000m X 1,000m (1km X 1km)	
Temps de simulation	100s	
Taille d'un paquet	1024 Byte	
Débit de données	150Mbps	
	IEEE 802.11p	LTE-4G
Puissance de transmission	15dBm	eNB (20dBm) UE (10dBm)
Modèle de perte de propagation	Three log distance Nakagami fading	Friis
Débit de données / allocation RB	6Mbps	DL(50) /UL(50)
Bande passante du canal	10MHZ	10MHZ

Tableau 4.1 : Les paramètres de simulation.

4.5.1. Résultats des simulations :

A. Délai de bout en bout :

En analysant la **Figure 4.4-a**, on constate que le délai augmente avec l'augmentation de vitesse et le nombre du véhicule, car les véhicules prennent plus de temps pour obtenir un canal commun en raison de la densité des véhicules. Cette situation préfère les véhicules plus lents mais les véhicules plus rapides attendant plus long temps pour accéder au canal.

On observe dans la **Figure 4.4-b** que le délai reste stable en fonction de vitesse et augmente en fonction de nombre du véhicule, mais les véhicules qui utilise le système réseaux LTE-4G prennent moins de délai par rapport au système IEEE802.11p.

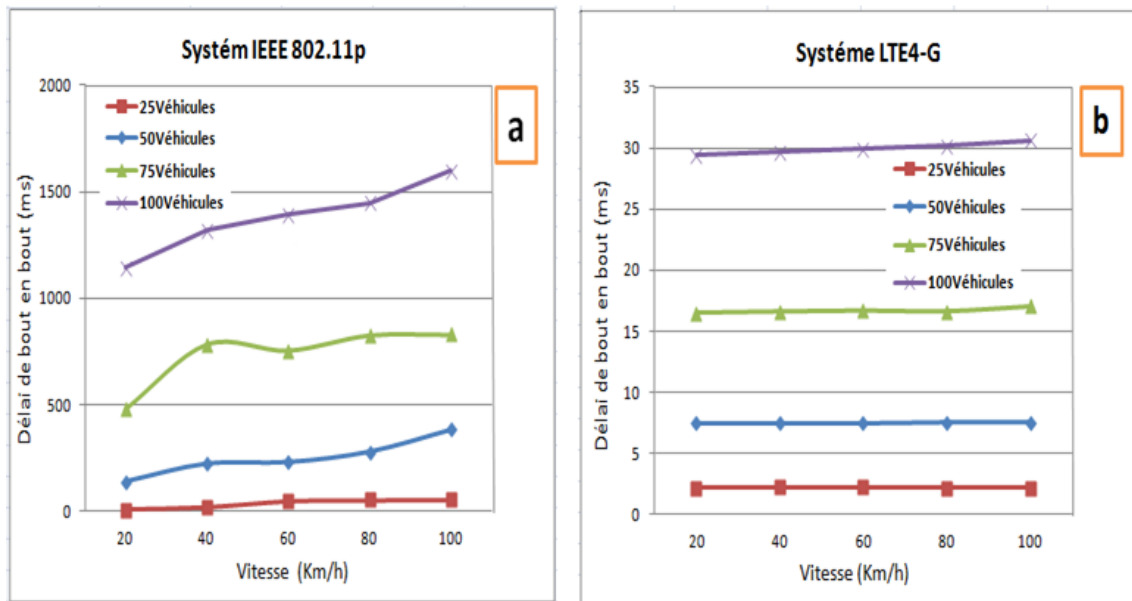


Figure 4.4 : Délai de bout en bout on IEEE 802.11p et LTE-4G.

B. Débit moyen :

On observe à travers les courbes dans la **Figure 4.5-a** que le débit diminue avec l'augmentation de vitesse et le nombre des véhicules.

Tandis que sur la **Figure 4.5-b** on remarque un débit reste plus stable entre 20Kbps et 21Kbps.

Toutes ces courbes confirment que le débit de la norme LTE pas affectés par l'augmentation de vitesse et le nombre des véhicules.

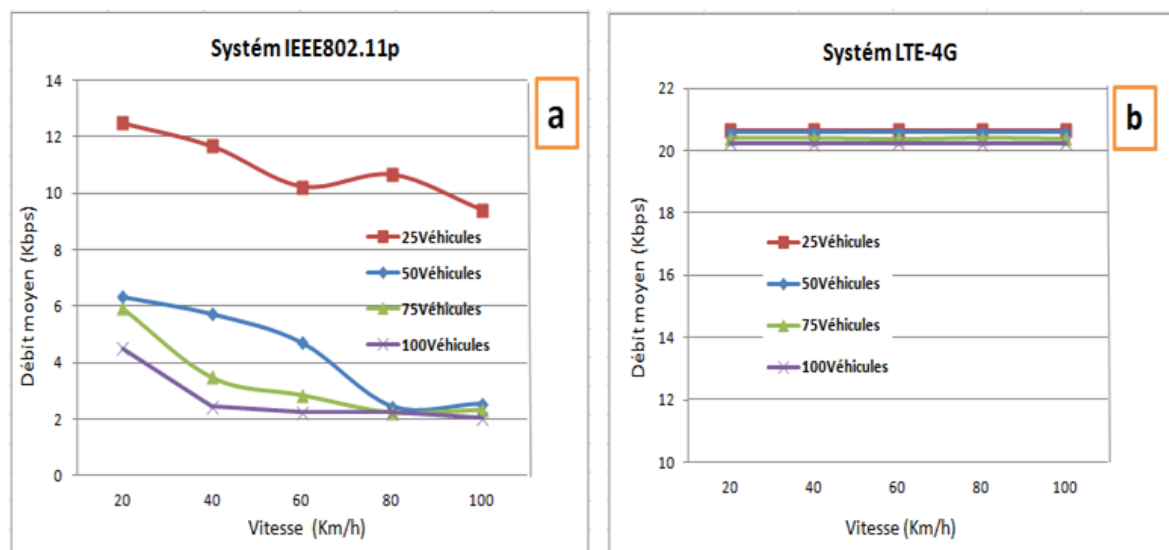


Figure 4.5 : Débit moyen on IEEE 802.11p et LTE-4G.

C. Taux de livraison de paquets :

✓ En fonctions de la vitesse

D'après la **Figure 5-a**, on remarque que le taux de livraison des paquets décroît au fur et à mesure que la vitesse et le trafic augmente.

Il y a deux autres observations. Premièrement, les courbes prennent le dessus avec l'augmentant du nombre de voitures, et deuxièmement, comme la vitesse du véhicule augmente, les véhicules tendent à améliorer la réception des paquets, ce qui est plus visible pour les réseaux avec plus grand nombre de véhicules.

Concernant le taux de livraison de paquets dans la **Figure5-b** reste plus ou moins stable pour tous les courbes entre 95% et 100%, c'est-à-dire les paquets bien délivré dans le system LTE. Donc, le LTE ne s'influence pas par l'augmentation de vitesse et le trafic de réseau dans les réseaux véhicules.

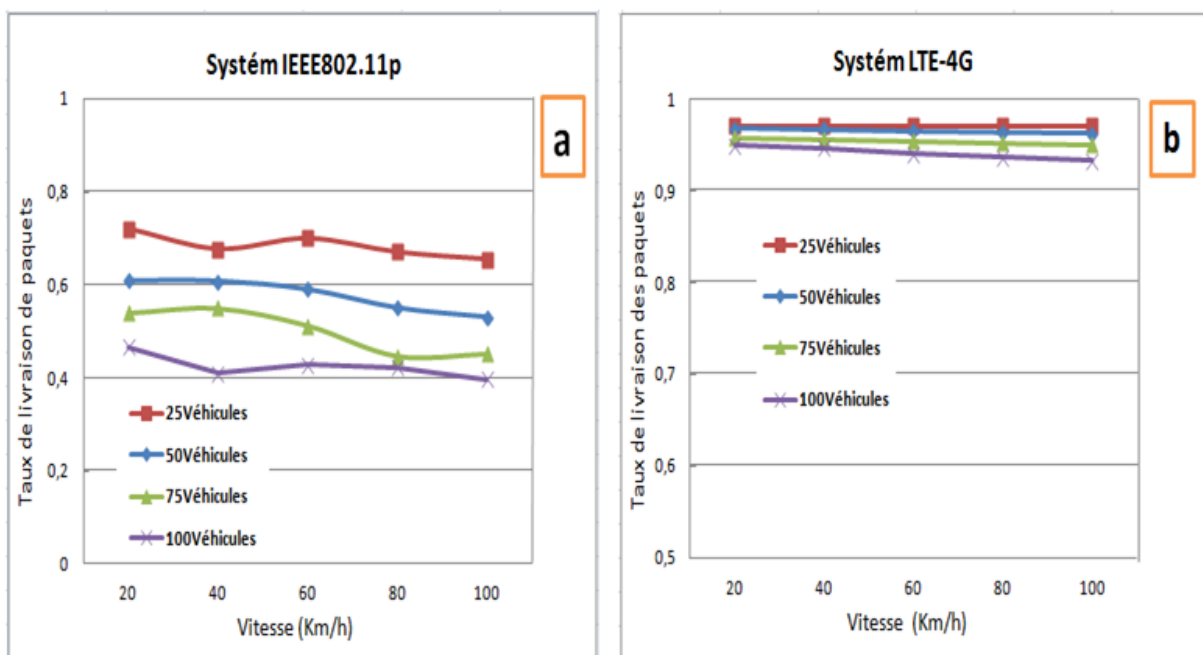


Figure 4.6 : Taux de livraison de paquets IEEE 802.11p et LTE-4G.

✓ En fonctions de nombre des véhicules

On observe dans la **Figure 4.6-a** et la **Figure 4.6-b** que le taux de livraisons des paquets diminue avec l'augmentation du trafic du réseau. Ceci s'explique par le fait que chaque fois le nombre de véhicule circulant dans le réseau augmente, il y a un accroissement du nombre des

SIMULATION ET ANALYSE DES RESULTATS

paquets perdus, et le taux dans le système IEEE82.11p va chuter brusquement de 70% à 40%, mais en LTE il y a un décroissement entre 99% à 95% pour toutes les courbes des vitesses.

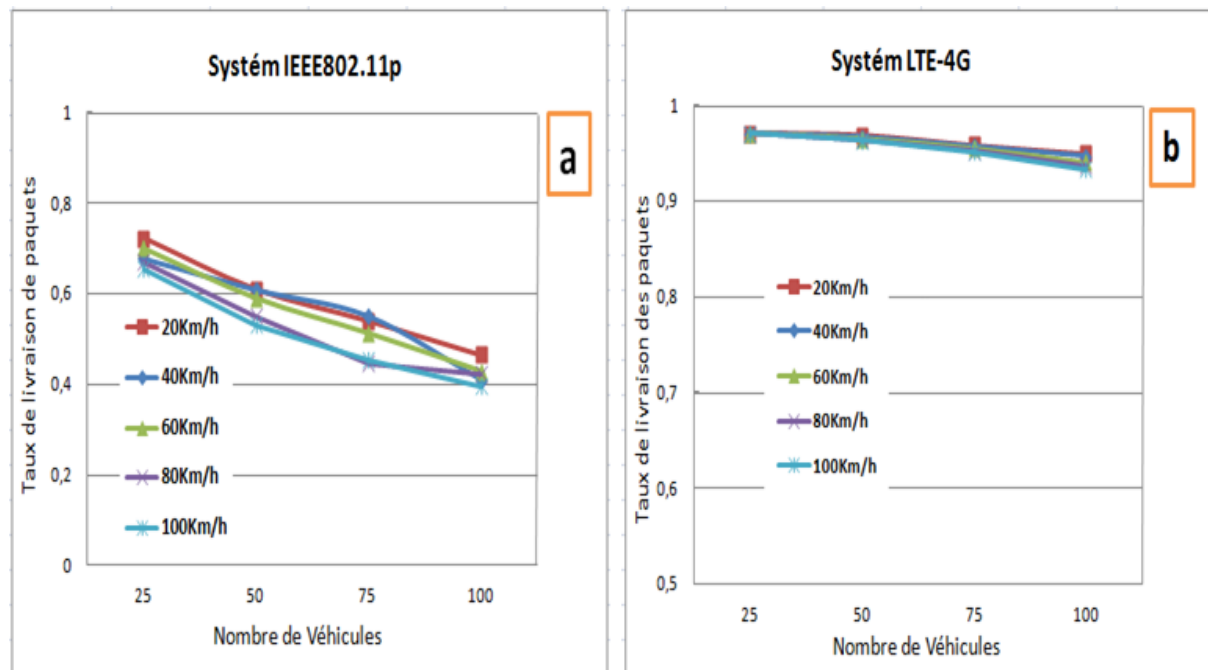


Figure 4.7 : Taux de livraison de paquets IEEE 802.11p et LTE-4G.

4.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué une comparaison entre deux normes de communication le système LTE-4G et IEEE 802.11p dans un environnement urbain.

Les résultats indiquent qu'IEEE 802.11p offre des performances acceptables pour les réseaux clairsemés (sparse network) avec un support de mobilité limité. D'un autre côté, le LTE offre de meilleurs résultats en termes de délai de bout-en-bout et en termes de taux livraisons des paquets et débit moyen.

Donc, on peut conclure que parmi les deux systèmes étudiés, LTE-4G répond le mieux au besoin des réseaux véhiculaires et particulièrement dans l'environnement urbain.

Conclusion Générale :

Le déploiement des systèmes de transport intelligent permettra de prévenir de nombreux accidents, de réduire les dégâts en cas de collision et de gérer les secours sur les routes.

Ces systèmes vont améliorer, de façon significative, le trajet des véhicules par l'accès instantané aux informations sur l'état des routes et aussi, leur permettre d'échanger entre eux des informations visant à rendre plus conviviale leurs trajets. Le fonctionnement de ces systèmes repose sur les réseaux véhiculaires sans fil.

L'objectif tracé pour ce mémoire était de faire une étude comparative entre les réseaux traditionnels VANET et les réseaux LTE.

Pour atteindre notre objectif, nous avons effectué un nombre important de simulation sous le simulateur réseau NS3, et comme modèle de mobilité nous avons utilisé Manhattan.

Le travail réalisé dans ce mémoire a permis d'analyser l'impact de la vitesse des véhicules dans les échanges de données.

Les résultats obtenus montrent que :

1. la communication des véhicules dans les réseaux VANETs est principalement liée à deux facteurs principaux : le nombre de véhicules sur la route et leurs vitesses de circulation
2. Les réseaux LTE offre de meilleurs résultats en termes de délai de bout-en-bout et en termes de taux livraisons des paquets et débit moyen.
3. LTE-4G répond le mieux aux besoins des réseaux véhiculaire et particulièrement en environnement urbain

Enfin, nous souhaitons que notre mémoire apportera une contribution aux étudiants de notre université qui désire s'initier au domaine de la recherche dans les réseaux LTE et VANETs.

Bibliographie

- [1] Vanet N.d.Scribd. <https://www.scribd.com/doc/155721324/vanet>, accessed May 29, 2018.
- [2] NAJA, Rola N.d.Contrôle Dynamique de La Méthode d'accès Dans Des Réseaux Véhiculaires: 5. - Recherche Google N.d, accessed May 18, 2018.
- [3] Accidents de la route N.d.World Health Organization. <http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>, accessed May 18, 2018.
- [4] Yassine, Meraihi 2011Routage Dans Les Réseaux Véhiculaires (VANET). PhD Thesis, Université M'hamed Bougara de Boumerdès.
- [5] Le nombre d'abonnés au téléphone mobile dans le monde N.d. « <https://www.journaldunet.com/ebusiness/internet-mobile/1009553-monde-le-nombre-d-abonnes-au-telephone-mobile/> », accessed May 18, 2018.
- [6] VIGNAL, Didier BARTHES-Jean-Christophe N.d.La population mondiale au 1er janvier 2018. ECONOMIE DURABLE. « <http://economiedurable.over-blog.com/2017/01/la-population-mondiale-au-1er-janvier-2018.html> », accessed May 18, 2018.
- [7] : TONYE.E et EWOUSSAOUA.L, « Planification Et ingénierie Des Réseau De Télécoms », mémoire pro 2 de télécommunication, Université de Yaounde I, 2011
- [8] GHASSEN.A.A, MAHAMOD.I et KASMIRAN.J, “Modeling and Performance Evaluation of LTE Networks with Different TCP Variants”, Académie mondiale des sciences, 2011.
- [9] URDAREANU.A, « Réseau de 4^{ème} Génération », Rapport bibliographique, Université de RENNES, 2007.
- [10]: SEIDE.G, « Planification d'un réseau de quatrième génération à Partir D'un Réseau De Troisième Génération », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise des sciences appliquées (génie informatique), Université de MONTREAL, 2011.

- [11]: YOUE.S.H et ALWIS, « Evaluation des Performances Des Techniques D'Accès OFDMA et SC-FDMA Dans La Technologie LTE », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Tlemcen, 2012.
- [12] BOUCHENTOUF.H et BOUDGHENE STAMBOULI Riyadh, «ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G - LTE», Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Tlemcen, 2013.
- [13] Mir Z.H., Filali F. (2014). LTE and IEEE 802.11p for Vehicular Networking: A Performance Evaluation, in EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2014:89, Janvier 2014.
- [14] Vinel A. (2012). 3GPP LTE versus IEEE 802.11p/WAVE: Which Technology is Able to Support Cooperative Vehicular Safety Applications?, IEEE Wireless Communications Letters, 1(2): 125-128, Février 2012
- [15] Remy G., Senouci S.M., Jan F., Gourhant Y. (2011). LTE4V2X: LTE for a Centralized VANET Organization, in Proc. of IEEE Globecom, Houston, Texas, Etats-Unis, Décembre 2011.
- [16] R.abdelatif., B.QadaMokhtare, (2015), Etude et simulation des protocoles de routage AODV et OLSR, University Ammare Thelidji, Laghouat
- [17] Tracing Vehicular Mobility in Ns-3 2017 Open Source For You.
<https://opensourceforu.com/2017/11/tracing-vehicular-mobility-ns-3/>, accessed May 18, 2018.
- [18] H, Sabrina « Evaluation des performances des protocoles de routage OLSR, AODV et GPSR pour les VANETs » site web : “<http://univ-bejaia.dz/dspace/123456789/7008>”.

Annexe A :

Etapes d'installation du NS3 :

A. Ressources

1. **Le Web** : Il existe plusieurs ressources importantes que tout utilisateur de NS-3 doit connaître. Le site principal est :
<http://www.nsnam.org> donnant accès à des informations de base sur le système NS-3.
2. **Mercurial** : Les systèmes complexes ont besoin d'un moyen pour gérer l'organisation et l'évolution du code. Il y'a plusieurs façons de réaliser cet exploit. Le projet NS-3 utilise Mercurial comme système de gestion de code source.
3. **Waf** : Une fois que nous avons le code téléchargé sur notre système local, nous aurons besoin de compiler cette source pour produire des programmes utilisables. Tout comme dans le cas de la gestion de code source, il existe nombreux outils pour remplir cette fonction. Récemment, ces systèmes ont été développés en utilisant le langage Python. Le système Waf qui est l'un des systèmes de construction de nouvelle génération à base de Python est utilisé sur le projet NS-3.
4. **Environnement de développement** : Les scripts dans NS-3 sont faits en C++ ou Python. La plupart des API NS-3 sont disponible en Python, mais les modèles sont écrits en C++ dans les deux cas.

Le système NS-3 utilise plusieurs composants de la GNU "toolchain" pour le développement. "toolchain" est l'ensemble des outils de programmation disponibles dans l'environnement déjà citer. NS-3 utilise gcc, binutils GNU, et gdb. Cependant, nous n'utilisons pas le GNU pour construire des outils système, ni make ni autotools. Nous utilisons Waf pour ces fonctions.

Typiquement, un utilisateur de NS-3 travaillera sous Linux ou un environnement Linux. Pour ceux qui travaillent sous Windows, ils existent des environnements qui simulent l'environnement

Linux à des degrés divers. Le projet NS-3 peut s'installer dans un environnement de machines virtuelles telles que virtualbox en installant une machine virtuelle Linux.

B. L'installation de NS-3

L'installation du simulateur NS-3 à Ubuntu/Debian se fait en trois étapes le téléchargement puis la construction qui se fait en deux étapes et avant ça l'utilisateur doit avoir un package pour pouvoir faire ces étapes correctement.

Dans ce qui suit, nous allons donner les commandes nécessaires pour notre travail.

Installation de package nécessaire pour travailler avec c++

➤ ***sudo apt-get install gcc g++***

Installation de package nécessaire pour travailler avec python

➤ ***sudo apt-get install python python-dev bzip2***

Débogage et Mercurial est nécessaire pour travailler avec NS-3

➤ ***sudo apt-get install gdb valgrind mercurial***

GNU Scientific Library (GSL) support pour les modèles d'erreur de WiFi

➤ ***sudo apt-get install gsl-bin libgsl0-dev libgsl0ldbl***

Network Simulation Cradle nécessite l'analyseur lexical flex et bison l'analyseur syntaxique

➤ ***sudo apt-get install flex bison lib-flex-dev***

Pour installer gcc- 3.4 pour certains Réseau Simulation Cradle

➤ ***sudo apt-get install g++-3.4 gcc-3.4***

Pour lire les traces de paquets pcap

➤ ***sudo apt-get install tcpdump wireshark***

Support de base de données pour les statistiques

➤ ***sudo apt-get install sqlite sqlite3 libsqlite3-dev***

La version XML de configuration

➤ ***sudo apt-get install libxml2 libxml2-dev***

Un système de configuration basé sur GTK

➤ ***sudo apt-get install libgtk2.0 libgtk2.0-dev***

Pour expérimenter avec des machines virtuelles et ns-3

- ***sudo apt-get install vtun lxc***

Support pour le programme de contrôle de style de code

- ***sudo apt-get install uncrustify***

Doxygen et la documentation en ligne

- ***sudo apt-get install doxygen graphviz imagemagick***
- ***sudo apt-get install texlive texlive-extra-utils texlive-latex-extra***

Le manuel NS-3 pyviz le visualiseur de Gustavo Carneiro

- ***sudo apt-get install python-pygraphviz python-kiwi
python-pygoocanvas libgoocanvas-dev***

Support pour le module d'OpenFlow

- ***sudo apt-get install libboost-signals-dev libboost-filesystem-dev***

Soutien pour l'émulation distribuée à base de MPI

- ***sudo apt-get install openmpi-bin openmpi-common
openmpi-doc libopenmpi-dev***

C. Construction NS-3 (avec build.py)

La première fois que nous générons le projet NS-3, nous devons le construire en utilisant l'environnement d'allinone. Allons dans le répertoire **ns-allinone-3.26/** et exécutons la commande «./**build.py**». Nous verrons beaucoup de messages de sortie du compilateur affichés. Finalement, nous devrions voir les mots magiques suivants :

Waf : Leaving directory

/path/ns-allinone-3.26/ns-3.26/build

build finished successfully.

Nous allons maintenant interagir directement avec waf et nous le faisons dans le répertoire NS-3.xx.

D. Construction (avec Waf)

Jusqu'à ce point, nous avons utilisé le script *build.py*, pour commencer à construire NS-3. Cet outil est utile pour la construction de NS-3 et en aidant les bibliothèques, maintenant il faut faire la construction proprement dite qui comprend les exemples et les tests. Donc, pour procéder, nous changerons notre répertoire de travail et nous allons à :

/path/ns-allinone-3.26/ns-3.26 NS-3 que nous avons déjà construit. Nous devons exécuter les commandes suivantes :

- *./waf clean*
- *./waf -d debug {enable-examples {enable-tests configure*

E. Exécution d'un script

Nous exécutons généralement les scripts sous le contrôle de Waf. Cela permet au système de s'assurer que les chemins de bibliothèques partagées sont correctement définis et que les bibliothèques sont disponibles au moment de l'exécution. Pour exécuter un programme, il suffit de copier le fichier source dans le dossier *scratch* qui existe dans le dossier *ns-3.26* et d'utiliser l'option *run* dans *Waf*.

Lançons le programme «*Hello*» en tapant la commande suivante :

- *./waf --run scratch/hello*