

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة سعيدة د. مولاي الطاهر

كلية التكنولوجيا

قسم: الإعلام الآلي



Mémoire de Master

Spécialité : Réseaux Informatique et Systèmes Répartis

Thème

Évaluation des performances des réseaux mobiles

Présenté par :

Djefel ikram

Hachemi melek

Dirigé par :

Dr. Yahlali Mbarka



Année universitaire 2022-2023

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tiens à exprimer nos sincères remerciements à Dieu, à toute personne ayant contribué de façon directe ou indirecte afin que nous puissions achever ce projet de fin d'étude. Nous remercions profondément Madame YAHLALI pour son encadrement de qualité, les efforts qu'elle a fourni en essayant de perfectionner notre travail, pour son aide et ses conseils précieux et sa sympathie. Nos remerciements sont également destinés aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner notre travail. Enfin, nous remerciant nos familles et particulièrement nos parents de nous avoir soutenu et d'avoir tout mis en œuvre pour que nous puissions atteindre un stade avancé de réussite. Nous ne seront jamais assez reconnaissant envers eux.

Dédicaces

Dédié à ma mère et ma sœur Souhila.

Je souhaite dédier ce projet de fin d'études à ma mère, celle qui a toujours été ma plus grande source de soutien et d'inspiration. Tes encouragements constants, ton amour inconditionnel et tes sacrifices ont été les piliers de ma réussite académique.

À ma mère, ma sœur Souhila, ainsi qu'à mes frères Oussama et Abdou, je tiens à vous dédier ces mots empreints de reconnaissance et d'affection. Votre présence inconditionnelle et votre soutien constant ont été des piliers essentiels tout au long de ma vie. Ma mère, tu es le roc sur lequel je me suis appuyée avec gratitude et admiration. Souhila, ma sœur chérie, ta bienveillance et ton amour inébranlable ont illuminé mes jours. Oussama et Abdou, mes frères chéris, votre soutien indéfectible a été une source de force et d'inspiration. Je suis profondément fière d'avoir des êtres aussi exceptionnels que vous dans ma vie. Cette dédicace est le témoignage de toute ma gratitude et de tout mon amour pour vous. Merci d'être les piliers de ma vie et de m'avoir apporté votre soutien inconditionnel.

Ikram

Dédié à mes parents, Aimen, Yacine, mon chéri, ma tante Friha, Hayam et Houda. Je souhaite dédier ce projet de fin d'études à mes parents, mes plus grands soutiens et sources d'inspiration. À mes frères, Aimen et Yacine, merci d'avoir été à mes côtés tout au long de ce parcours.

À mon chéri, ta patience, ton soutien et tes mots d'encouragement ont été essentiels pour moi. Merci d'avoir été à mes côtés et d'avoir cru en moi pendant ce projet de fin d'études.

À ma tante Friha, merci pour votre soutien et vos conseils précieux. Votre présence bienveillante et votre sagesse ont été d'une grande valeur pour moi pendant cette étape importante de ma vie.

À mes cousines Hayam et Houda, merci d'avoir partagé cette aventure avec moi. Votre amitié, votre soutien inconditionnel et nos moments de complicité ont rendu ce parcours plus joyeux et significatif.

Melek

Abstract

Nowadays, mobile networks are increasingly being used. The data rates achieved by these networks allow for the execution of complex applications that require performance adaptation based on quality-of-service criteria such as packet loss, throughput, and latency. Several research works have been conducted to provide quality of service support for mobile networks.

This final year project offers an in-depth evaluation of the performance of LTE networks using the NS3 simulator. It provides insights into mobile networks, QoS parameters, and performance indicators, while demonstrating the practical application of performance evaluation through simulations in a specific LTE/EPC scenario. The obtained results contribute to a better understanding of LTE network performance and guide decisions for optimization and improvement of mobile networks.

Keywords: 4G, fourth generation, LTE, quality of service, QoS, NS3 simulator, mobile telephony, mobile networks

Résumé

De nos jours, les réseaux mobiles sont de plus en plus utilisés. Les débits atteints par ces réseaux permettent d'exécuter des applications complexes nécessitant une adaptation de la performance en fonction des critères de qualité de service tels que les pertes de paquets, le débit et le délai. Plusieurs travaux de recherche ont été réalisés pour fournir un support de qualité de service aux réseaux mobiles.

Ce projet de fin d'études offre une évaluation approfondie des performances des réseaux LTE en utilisant le simulateur NS3. Il fournit des informations sur les réseaux mobiles, les paramètres de la QoS et les indicateurs de performance, tout en démontrant l'application pratique de l'évaluation des performances à travers des simulations dans un scénario LTE/EPC spécifique. Les résultats obtenus permettent d'obtenir une meilleure compréhension des performances des réseaux LTE et de guider les décisions d'optimisation et d'amélioration des réseaux mobiles.

Mots clé : 4G, quatrième génération, LTE, qualité de service, QoS, NS3 simulateur, téléphonie mobile, réseaux mobiles.

المُلخَص

في الوقت الحاضر، يتم استخدام شبكات الهاتف المحمول بشكل متزايد. تتيح النواتج التي حققتها هذه الشبكات تشغيل التطبيقات المعقدة التي تتطلب تكيف الأداء بناءً على معايير جودة الخدمة مثل فقدان الحزمة والإنتاجية والتأخير. تم إجراء العديد من الأعمال البحثية لتوفير دعم جودة الخدمة لشبكات المحمول.

يقدم مشروع التخرج هذا تقيماً متعمقاً لأداء شبكات LTE باستخدام محاكي NS3. يوفر معلومات حول شبكات الهاتف المحمول ومعلومات جودة الخدمة ومؤشرات الأداء، بينما يوضح التطبيق العملي لتقييم الأداء من خلال عمليات المحاكاة في سيناريو محدد لتكنولوجيا LTE / EPC. توفر النتائج التي تم الحصول عليها فهماً أفضل لأداء شبكات LTE وتوجيه القرارات لتحسين شبكات المحمول وتحسينها.

الكلمات الرئيسية: 4 G، الجيل الرابع، LTE، جودة الخدمة، QoS، محاكي NS3، الهاتف المحمول، شبكات المحمول.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACES	II
ABSTRACT.....	III
RESUME.....	IV
المخلص.....	V
TABLE DES MATIERES	VI
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES SYMBOLES & ABREVIATIONS	X
INTRODUCTION GENERALE	12
CHAPITRE 1.GENERALITES SUR LES RESEAUX MOBILES	13
1.1 INTRODUCTION :.....	14
1.2 LES RESEAUX MOBILES :.....	14
1.2.1 LES GENERATIONS DE RESEAUX MOBILES :	14
1.2.1.1 LA PREMIERE GENERATION DES RESEAUX (1G) :	14
1.2.1.2 LA DEUXIEME GENERATION DES RESEAUX (2G) :	15
1.2.1.3 LA TROISIEME GENERATION L'UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM) :.....	17
1.2.1.4 LA QUATRIEME GENERATION LTE (LONG TERM EVOLUTION) :.....	18
1.2.1.5 LA CINQUIEME GENERATION DES TELEPHONES MOBILES 5G :.....	21
1.3 CONCLUSION :.....	24
CHAPITRE 2.LES PARAMETRES DE LA QUALITE DE SERVICE ET L'EVALUATION DE PERFORMANCE.....	25
2.1 INTRODUCTION :.....	26
2.2 L'EVALUATION DE PERFORMANCE :	26
2.2.1 LES ETAPES D'EVALUATION DE PERFORMANCE :	26
2.2.2 LES TECHNIQUES D'EVALUATION DE PERFORMANCE :	27
2.2.2.1 MESURES DIRECTES :.....	27
2.2.2.2 LA MODELISATION :.....	27
2.3 LA QUALITE DE SERVICE :.....	28
2.3.1 LES PARAMETRES DE LA QOS :	28
2.3.2 INDICATEURS CLES DE PERFORMANCE :.....	30
2.3.3 LES CLASSES DE SERVICES (COS) :.....	30
2.3.4 DEGRES DE LA QOS :.....	31

2.3.5	MODELES DE QUALITE DE SERVICE :	31
2.3.6	PASSERELLE ENTRE L'EVALUATION DE PERFORMANCE ET LA QOS :	32
2.4	LES PERFORMANCES DE RESEAU LTE :	33
2.4.1	LES SERVICES LTE :	33
2.5	L'EVALUATION DE PERFORMANCE DE RESEAU LTE :	34
2.6	CONCLUSION :	35
 CHAPITRE 3. SIMULATION ET L'INTERPRETATION DE RESULTAT		37
3.1	INTRODUCTION	37
3.2	L'OUTIL DE SIMULATION UTILISE :	37
3.3	LE MODELE NS-3 LTE :	37
3.4	LES OUTILS COMPLEMENTAIRES POUR LE CALCUL DES RESULTATS :	38
3.5	ARCHITECTURE DE TEST :	38
3.6	MODÈLE DE SIMULATION DE BASE POUR LTE NS3 :	38
3.7	DESCRIPTION DE LA TOPOLOGIE SIMULEE :	42
3.7.1	LES PARAMETRES DE SIMULATION :	43
3.8	PARAMETRES DE PERFORMANCES :	43
3.9	DEROULEMENT DE LA SIMULATION :	44
3.10	LES RESULTATS OBTENUES :	45
3.10.1	LA DISCUSSION DE RESULTAT :	46
3.10.1.1	L'INFLUENCE DE L'AUGMENTATION DE LA BANDE PASSANTE (BANDWIDTH) :	46
3.10.2	L'INFLUENCE DE L'AUGMENTATION DE NOMBRES D'UTILISATEURS :	48
3.10.3	L'INFLUENCE DE LA DISTANCE :	50
3.10.4	CONCLUSION :	54
 CONCLUSION GENERALE		55
 ANNEXE.....		57
 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		67

Liste des figures

FIGURE 1.1 ARCHITECTURE DU RESEAU GSM	15
FIGURE 1.2 L'ARCHITECTURE DU RESEAU GPRS.	16
FIGURE 1.3 PRESENTE L'ARCHITECTURE DU RESEAU UMTS.	17
LE RESEAU UMTS REPOSE SUR DEUX MODES	18
FIGURE 1.4 L'ARCHITECTURE DU RESEAU LTE.	19
FIGURE 1.5 L'EVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE LTE	20
FIGURE 1.6 L'ARCHITECTURE DU RESEAU 5G.	22
FIGURE 2.1 PROCESSUS D'EVALUATION DE PERFORMANCE	26
FIGURE 2.2 TECHNIQUE D'EVALUATION DE PERFORMANCE	27
FIGURE 2.3 LA QUALITE DANS LES SERVICES	32
FIGURE 3.1 LA REALISATION D'UNE SIMULATION DANS NS3.....	38
FIGURE 3.2 TOPOLOGIE LTE-EPC SIMULE.....	43
FIGURE 3.3 AFFICHAGE DE RESULTAT DE SIMULATION.	44
FIGURE 3.4 VARIATION DU DEBIT MOYEN EN FONCTION DE LA BANDE PASSANTE.....	46
FIGURE 3.5 VARIATION DU TAUX DE PERTE DE PAQUET EN FONCTION DE LA BANDE PASSANTE... ..	47
FIGURE 3.6 VARIATION DU LA GUIGE EN FONCTION DE LA BANDE PASSANTE	47
FIGURE 3.7 VARIATION DU DELAI EN FONCTION DE LA BANDE PASSANTE.....	48
FIGURE 3.8 VARIATION DE TAUX DE PERTE DE PAQUETS EN FONCTION DE NOMBRE UTILISATEUR.....	48
FIGURE 3.9 VARIATION DE DEBIT MOYEN EN FONCTION DE NOMBRE D'UTILISATEUR.....	49

FIGURE 3.10 VARIATION DE DELAI EN FONCTION DE NOMBRE UTILISATEUR.	49
FIGURE 3.11 VARIATION DE LA GUIGE EN FONCTION DE NOMBRE UTILISATEUR.	50
FIGURE 3.12 VARIATION DE DEBIT MOYEN EN FONCTION DE DISTANCE.	50
FIGURE 3.13 VARIATION DE TAUX DE PERTE DE PAQUET EN FONCTION DE DISTANCE.	51
FIGURE 3.14 VARIATION DE LA GUIGE EN FONCTION DE LA DISTANCE.....	52
FIGURE 3.15 VARIATION DE DELAI EN FONCTION DE DISTANCE	52

Liste des Symboles & Abréviations

1G : 1ère Génération

2G : 2ème Génération

3G : 3ème Génération

4G : 4ème Génération

5G: 5ème Génération

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

AUC: AUthentication Center

BSC: Base Station Controller

BSS: Base Station Sub-system

BTS: Base Transceiver Station

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution

eNodeB: evolved NodeB

EPS: Evolved Packet System

EPC: Evolved Packet Core

E-UTRA: Evolved-Universal Terrestrial Radio Access

eUTRAN: evolved UTRAN

FDD: Frequency Division Duplexing

GGSN: Gateway GPRS Support Node

GMSC: Gateway MSC

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile Communication

HLR: Home Location Register

HSS: Home Subscriber Service

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IMEI: International Mobile Equipment Identity

IMS: IP Multimedia Sub-system

IMSI: International Mobile Subscriber Identity

IP: Internet Protocol

IPv6: IP version 6

LMT: Latvijas Mobilais Telefons

LTE: Long Term Evolution

MIMO: Multi Input Multi Output

MME: Mobility Management Entity

MMS: Multimedia Messaging Service

MS: Mobile Station

MSC: Mobile Switching Centre

MTS: Mobile Tele System

NMC: Network and Management Centre

NS-3: Network Simulator 3

NSS: Network Sub System

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OMC: Operations and Maintenance Center

OSS: Operation Sub-System

PAPR: Peak-to-Average Power Ratio

PCRF: Policy and Charging Rules Function

PCU: Packet Control Unit

PDN: GW Packet Data Network Gate-Way

PDP: Packet Data Protocol

PGW: Packet Switch-GetWay

PLMN: Public Land Mobile Network

QoS : Qualité de Service

QoS: Quality of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

RSVP: Resource ReSerVation Protocol

RNC: Radio Network Controller

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services

RTC: Réseau Téléphonique Commuté

RTCP: Real-time Transport Control Protocol

S-GW: Serving-Get Way

SGSN: Serving GPRS Support Node

SMS: Short Message Service

TCP: Transmission Control Protocol

TDD: Time-Division Duplex

UDP : User Datagram Protocol

UE : Terminal Mobile

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

VLR: Visitor Location Register

VoIP: Voice over IP

VSF-OFCDM: Variable Spreading Factor Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux de télécommunication jouent un rôle important dans le monde. Afin de répondre de manière optimale aux besoins et aux intérêts des clients, les opérateurs doivent être en mesure de fournir des services de qualité au meilleur prix possible. Le nombre d'utilisateurs de réseaux mobiles est en augmentation et ils ont des attentes croissantes en termes de fiabilité et de vitesse de transmission des données. Afin de répondre à ces exigences, les normes sont constamment améliorées. Cela permet aux opérateurs de proposer de nouveaux services à leurs clients [1].

Ces réseaux mobiles remontent aux années 1980 avec l'introduction de la première génération (1G) qui se limite principalement aux appels vocaux. Après plusieurs années, cette génération a été abandonnée avec l'avènement de la deuxième génération (2G). Les réseaux 2G ont marqué une avancée significative en termes de fiabilité et de capacité. Ensuite, la troisième génération (3G) est apparue avec des réseaux tels que l'UMTS, ouvrant la voie aux applications multimédias telles que la diffusion de vidéos et la visiophonie. En 2010, la quatrième génération (4G) est arrivée, avec des réseaux tels que le LTE, marquant une avancée majeure dans les capacités des réseaux mobiles. Actuellement, nous sommes à l'ère de la cinquième génération (5G) de réseaux mobiles. Les réseaux 5G permettent des vitesses de transmission de données ultra-rapides, une latence réduite et une capacité réseau améliorée. Ils sont conçus pour prendre en charge des applications avancées telles que la réalité virtuelle, la télémédecine, les voitures autonomes et l'Internet des objets. [2]

L'évaluation de la performance de différentes générations de réseaux mobiles revêt une importance cruciale dans le domaine des télécommunications. Elle permet de mesurer et de comparer les performances des différentes générations de réseaux, telles que le réseau LTE, le réseau 5G et les générations ultérieures. Cette évaluation se déroule à différents niveaux, à savoir le niveau du réseau, le niveau de l'utilisateur et le niveau de l'application. Elle permet aux opérateurs de prendre des décisions stratégiques éclairées, d'investir dans les bonnes technologies et d'optimiser les performances pour offrir une meilleure expérience utilisateur. Cela contribue à l'évolution des réseaux mobiles, à l'innovation technologique et à la satisfaction des utilisateurs. [3]

Dans ce contexte notre objectif est d'évaluer les performances des réseaux mobiles, d'analyser et de mesurer la qualité et l'efficacité des services fournis aux utilisateurs sur les réseaux mobiles en général. Cette évaluation vise à évaluer divers aspects, tels que la couverture du réseau, le débit de données, le temps de réponse, la capacité du réseau à gérer un trafic élevé

Ce mémoire ne se limitera pas seulement à l'examen théorique des réseaux mobiles, mais comprendra également des études de cas pratiques, des simulations et des expérimentations afin de mieux comprendre les concepts et d'appréhender les problématiques réelles auxquelles sont confrontés les opérateurs de réseaux mobiles.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre nous décrirons les différentes générations des réseaux mobiles et leur évolution.

Le deuxième chapitre consiste à donner une étude détaillée sur différents paramètres de Qualité de Service et l'évaluation de performance de réseau d'une façon générale et en particulier les paramètres relatifs aux LTE et LTE-EPC.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les outils de simulation utilisés ainsi que les différents résultats obtenus et leurs interprétations

Chapitre 1. Généralités sur les réseaux mobiles

1.1 INTRODUCTION :

Les réseaux mobiles offrent des avantages indéniables par rapport aux réseaux câblés, en permettant aux utilisateurs de rester connectés tout en se déplaçant dans une zone géographique donnée et en offrant un environnement plus flexible, depuis les années 1970, l'industrie de la télécommunication mobile a connu une croissance fulgurante, passant de la première génération de réseaux mobiles « 1G » était analogique et limitée aux appels vocaux. Les années 1980 et 1990 ont vu l'essor des réseaux « 2G », qui ont introduit la numérisation des signaux et la possibilité d'envoyer des messages texte, ainsi que l'utilisation de la commutation de paquets pour permettre la transmission de donnée. Au début des années 2000, les réseaux 3G ont été introduits, offrant des vitesses de données plus rapides et la possibilité d'accéder à Internet à partir de téléphones mobiles. [4]

La demande croissante pour cette technologie a conduit à l'évolution vers d'autres générations de réseaux « 4G » et « 5G » qui ont connu une évolution remarquable, Les réseaux 4G, introduits dans les années 2010, ont amélioré encore la vitesse et la fiabilité des connexions de données. Tant que la cinquième génération de réseaux mobiles « 5G » est en cours de déploiement dans le monde entier depuis 2019. Les réseaux « 5G » sont conçus pour offrir des vitesses de données encore plus rapides, une latence plus faible et une capacité accrue pour prendre en charge de nouveaux cas d'utilisation et une bande passante de plus en plus large. [4]

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.

1.2 LES RESEAUX MOBILES :

Par définition, un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui fonctionne grâce à des fréquences formant un spectre hertzien. Ce réseau permet à des millions d'utilisateurs de téléphoner en même temps tout en étant en mouvement, sans aucune contrainte d'immobilité. [5]

1.2.1 LES GENERATIONS DE RESEAUX MOBILES :

Avant de décrire l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il est pertinent de retracer l'évolution de ces techniques. Cela nous permet de comprendre le point de départ et de mieux appréhender notre position actuelle.

1.2.1.1 LA PREMIERE GENERATION DES RESEAUX (1G) :

Première génération de technologie sans fil cellulaire, est apparue dans les années 1980 avec les premiers téléphones mobiles. Elle correspond à des normes de télécommunications analogiques, La 1G permettait uniquement des échanges vocaux, dans le cadre d'appels téléphoniques. Elle offrait un débit d'environ 2,4 kilobits par seconde (kbps). [6]

1.2.1.2 LA DEUXIEME GENERATION DES RESEAUX (2G) :

Le réseau 2G est appelé aussi GSM déployé en des années 1990, Il s'appuyait sur la transmission numérique qui permet de sécuriser les données, il a une amélioration de la qualité sonore avec la possibilité d'émettre des SMS et MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, c'est pourquoi de nouvelles technologies ont été développées pour augmenter le débit, ainsi ce réseau a connu trois améliorations successives : réseau 2G, réseau GPRS (2.5G), et réseau EDGE (évolution du GPRS 2.75 G). [7]

➤ L'ARCHITECTURE DU RESEAU GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION) :

Le GSM est une norme numérique pour la téléphonie mobile. Son objectif est de répondre à la demande croissante de communications sans fil mobiles,

Le GSM est structuré en 3 grandes parties : Le sous-système radio-BSS, le sous-système d'acheminement-NSS et le sous-système d'exploitation et de maintenance-OSS, La figure 1.1 présente l'architecture du réseau GSM.

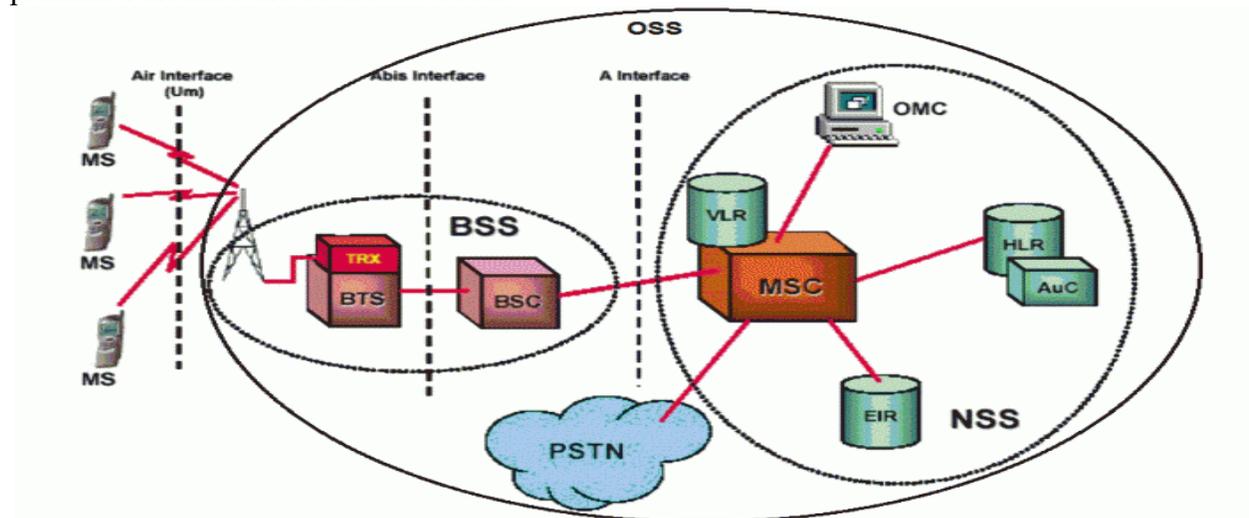


Figure 1.1 Architecture du réseau GSM [7]

➤ LE RESEAU GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE) :

Le réseau GPRS (2.5G) est une technologie de téléphonie mobile de Deuxième génération améliorée (2.5G) qui a été introduite pour améliorer la capacité de transmission de données des réseaux mobiles GSM. GPRS permet aux utilisateurs de transférer des données en utilisant des paquets de données, plutôt que des circuits dédiés, comme c'était le cas avec les technologies de téléphonie mobile 2G précédentes. La figure 1.2 présente l'architecture du réseau GPRS. [7]

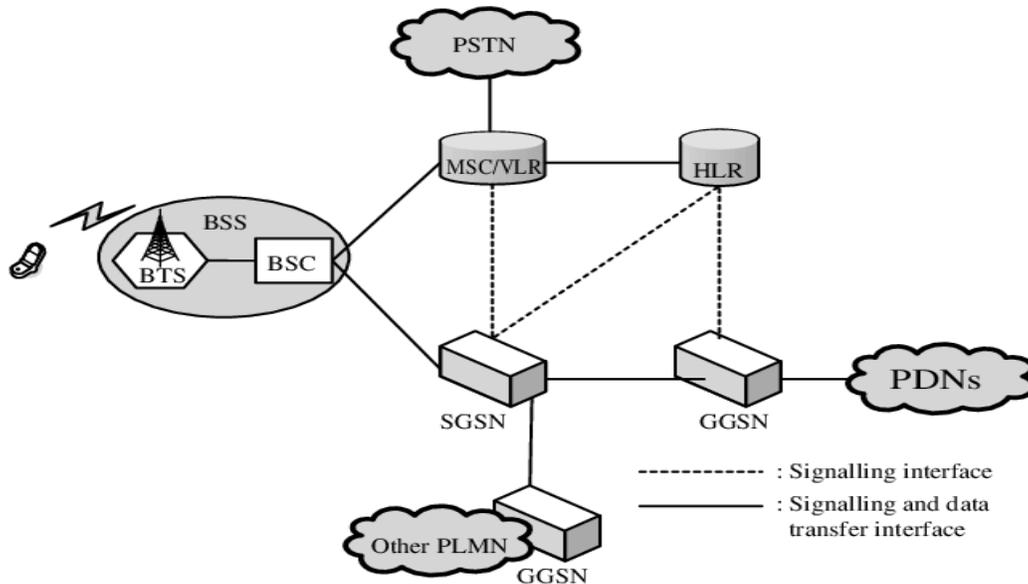


Figure 1.2 L'architecture du réseau GPRS. [7]

- **LE SGSN (SERVING GPRS SUPPORT NODE) :**

SGSN le responsable de la gestion des communications entre les terminaux mobiles et le réseau de données. Le SGSN est connecté aux BSS via des liaisons de contrôle d'accès radio (RAN). Il est également connecté aux autres nœuds du réseau de données mobile, qui sert de point d'entrée et de sortie du réseau de données mobile vers les réseaux de données externes, tels qu'Internet. [8]

- **LE GGSN (GATEWAY GPRS SUPPORT NODE) :**

GGSN Le responsable de la connectivité entre les réseaux de données mobiles et les réseaux externes, le GGSN est situé dans le réseau de données mobile et est connecté à le SGSN via des liaisons IP. Il est également connecté aux réseaux de données externes, et est responsable de l'acheminement des paquets de données entre ces réseaux et les terminaux mobiles. [8]

➤ **LE TYPE DE TRANSMISSION DANS LE RESEAU GPRS :**

Le réseau GPRS utilise la commutation de paquets pour la transmission des données. Contrairement aux réseaux de téléphonie mobile traditionnels qui utilisent la commutation de circuit pour établir une connexion permanente entre les utilisateurs, le GPRS utilise la commutation de paquets pour transmettre les données en temps réel de manière plus efficace. Les données sont transmises via le BSS (BTS + BSC) au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire. [4]

1.2.1.3 LA TROISIEME GENERATION L'UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM) :

La norme la plus couramment utilisée pour les réseaux l'UMTS est(3G), l'UMTS utilise la technologie de la commutation de paquets pour la transmission de données, similaire à celle utilisée dans les réseaux GPRS et EDGE. Cependant, l'UMTS utilise une bande de fréquence plus large pour transmettre les données, ce qui permet une transmission de données plus rapide et une meilleure qualité de voix et de données. [9]

➤ ARCHITECTURE DE RESEAU UMTS :

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS pour assurer la commutation et le routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Le réseau UMTS vient ainsi compléter les fonctionnalités déjà offertes par les réseaux précédentes en apportant des fonctionnalités multimédia supplémentaires. Il est divisé en deux parties principales : le domaine circuit pour les communications vocales en temps réel et le domaine paquet pour les communications de données. La figure1.3 présente l'architecture du réseau UMTS.

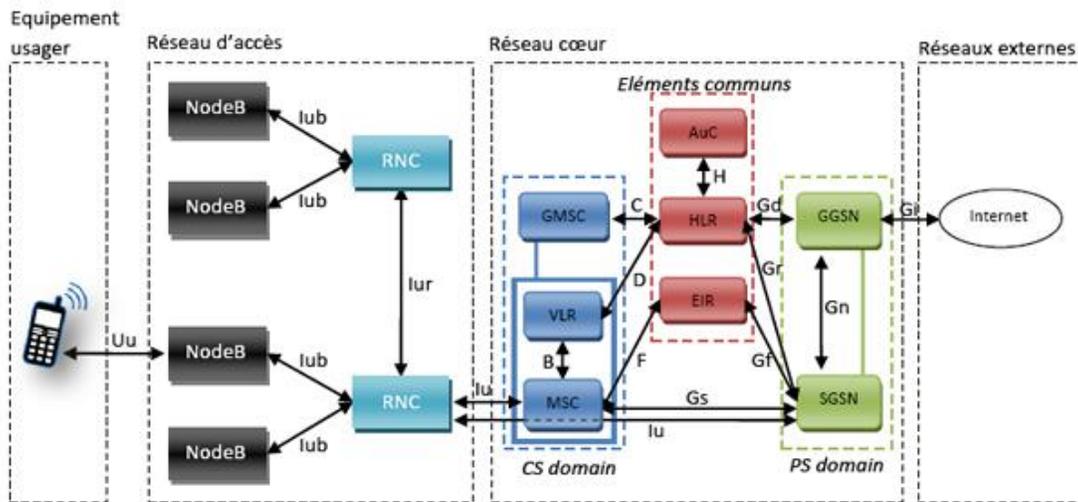


Figure 1.3 Présente l'architecture du réseau UMTS. [9]

Le réseau UMTS repose sur deux modes [10] :

1. Le domaine circuit :

Il est chargé de la gestion des communications vocales en temps réel et utilise le protocole de signalisation SS7 (Signaling System7) pour établir les connexions entre les différents éléments du réseau. Il est composé des éléments suivants :

- MSC : il assure la commutation des appels vocaux entre les réseaux mobiles et fixes.
- GMSC : il permet de relier le réseau mobile à un réseau téléphonique commuté (RTC) pour acheminer les appels vers des téléphones fixes.
- HLR : il contient les informations sur les abonnés du réseau mobile, notamment leur numéro de téléphone et leur localisation.

2. Le domaine paquet :

Il est chargé de la gestion des communications de données et utilise le protocole IP (Internet Protocol) pour acheminer les paquets de données entre les différents éléments du réseau. Il est composé à SGSN et GGSN.

1.2.1.4 LA QUATRIEME GENERATION LTE (LONG TERM EVOLUTION) :

Les services de communication mobiles suivent une évolution similaire à celle des services fixes, avec une transition accélérée vers un accès à très haut débit. Cette transition est rendue possible grâce aux réseaux LTE, qui répondent aux demandes croissantes des utilisateurs en termes de qualité des services et de capacité de trafic.

Les fréquences utilisées dans le LTE sont spécifiquement dédiées au déploiement de réseaux mobiles à très haut débit, afin de fournir aux consommateurs une capacité et une qualité de services supérieures par rapport aux offres actuelles d'internet mobile. Grâce à la technologie LTE, les utilisateurs bénéficient de débits atteignant plusieurs dizaines de Mbit/s, ce qui est considérablement supérieur aux performances des technologies actuellement déployées. De plus, le LTE permet également de réduire les latences, favorisant ainsi une meilleure interactivité lors des communications et des échanges de données. Ces améliorations de débit et de latence contribuent à offrir une expérience utilisateur plus fluide et réactive sur les appareils mobiles. [11]

➤ **L'ARCHITECTURE LTE :**

Le réseau LTE est constitué de deux parties : une partie radio (eUTRAN) et un cœur de réseau « EPC » (Evolved Packet Core).

Elle est composée de plusieurs éléments fonctionnels, notamment [11]:

1. La station de base LTE (eNodeB) : elle est responsable de la transmission des signaux radio entre les terminaux mobiles et le réseau.
2. Le réseau de cœur LTE (Evolved Packet Core, EPC) : il est responsable de la gestion des données et du trafic entre les terminaux mobiles et les réseaux externes.
3. Les terminaux mobiles (UE) : ce sont les dispositifs utilisés par les utilisateurs pour accéder au réseau LTE.
4. Le serveur multimédia (MME) : il est responsable de l'authentification des utilisateurs, de la gestion de la mobilité et de la signalisation de contrôle entre l'eNodeB et l'EPC.
5. Le serveur de passerelle de données (SGW) : il est responsable de la gestion des flux de données entre l'eNodeB et l'EPC.
6. Le serveur de passerelle de contrôle (PGW) : il est responsable de la gestion des connexions avec les réseaux externes et de la gestion du trafic Internet. La figure 1.4 présente l'architecture du réseau LTE.

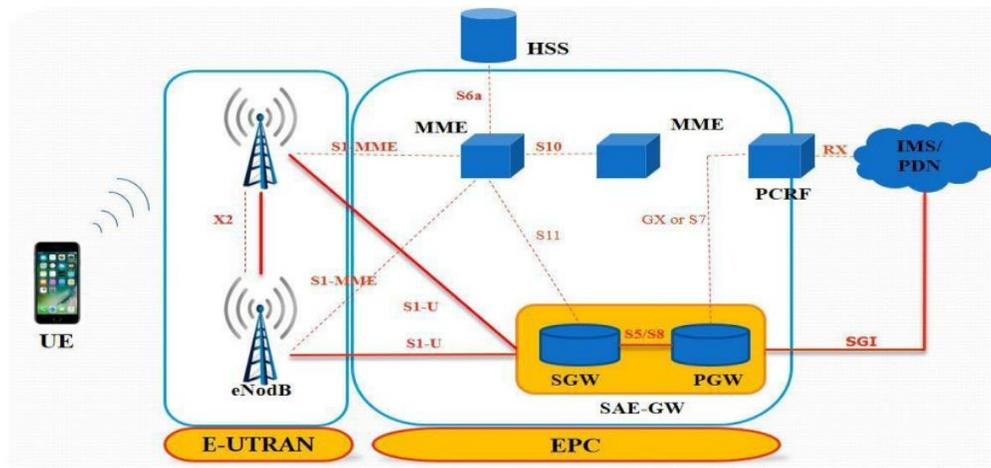


Figure 1.4 L'architecture du réseau LTE. [11]

➤ L'ÉVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE LTE :

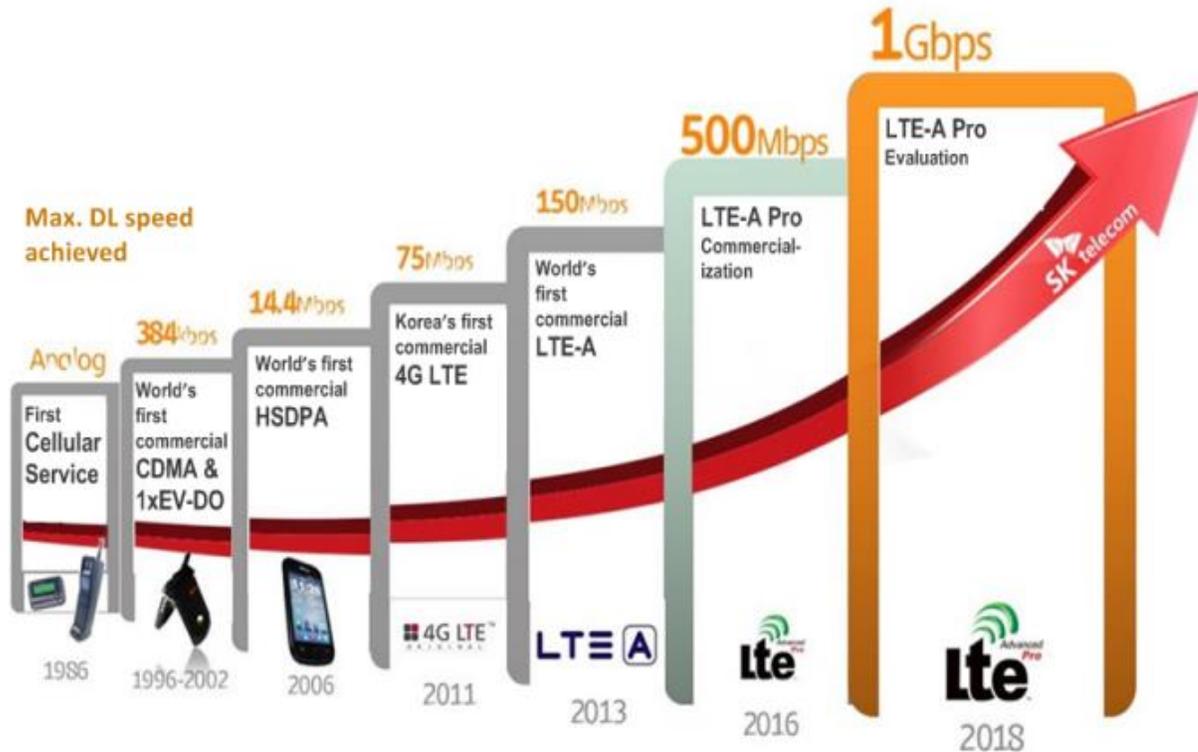


Figure 1.5 L'évolution de la technologie LTE

La technologie LTE a connu une évolution significative depuis son introduction en tant que norme de réseau mobile haut débit de quatrième génération (4G) dans les années 2000. Voici quelques-unes des évolutions importantes de la technologie LTE :

1. **LTE-Advanced** : Le LTE-Advanced est une évolution majeure du LTE qui offre des vitesses de données plus rapides, une meilleure couverture et une capacité réseau accrue. Les améliorations comprennent l'agrégation de porteuses, la modulation d'amplitude en quadrature (QAM) à 256 bits et la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) avancée.
2. **LTE-Advanced Pro** : Le LTE-Advanced Pro est une extension de la technologie LTE-Advanced avec des fonctionnalités supplémentaires telles que la transmission de voix sur LTE (VoLTE), la liaison descendante de catégorie 16 (jusqu'à 1 Gbps) et la liaison montante de catégorie 13 (jusqu'à 150 Mbps).
3. **LTE-M** : Le LTE-M (Machine-to-Machine) est une variante de la technologie LTE conçue pour les communications entre machines et les objets connectés. Il offre des

connexions à faible consommation d'énergie et une couverture étendue pour prendre en charge les appareils IoT (Internet of Things) à longue durée de vie.

4. **NB-IoT** : Le Narrowband IoT (NB-IoT) est une autre variante de la technologie LTE conçue pour les communications de l'IoT. Il offre une faible consommation d'énergie, une couverture étendue et une connectivité stable pour les appareils IoT à faible débit de données.
5. **5G** : La cinquième génération de réseaux mobiles (5G) est la dernière évolution de la technologie LTE. Elle offre des vitesses de données ultra-rapides, une latence ultra-faible, une capacité réseau accrue et des fonctionnalités avancées telles que le réseau privé 5G et le slicing de réseau.

1.2.1.5 LA CINQUIEME GENERATION DES TELEPHONES MOBILES 5G :

La cinquième génération de téléphonie mobile, également connue sous le nom de 5G, est la prochaine étape de l'évolution des réseaux mobiles. La 5G est conçue pour offrir des performances améliorées par rapport aux réseaux 4G actuels, notamment une vitesse de connexion plus rapide, une latence plus faible et une capacité accrue pour connecter un grand nombre d'appareils simultanément.

La 5G utilise de nouvelles technologies telles que le Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output), le beamforming et le network slicing pour améliorer les performances du réseau. [5]

- **MIMO** : le Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) Plus important encore, c'est le nom de l'antenne utilisée pour le réseau 5G. Bien qu'ils travaillent sur un principe similaire à la 4G, le MIMO utilise plusieurs antennes pour transmettre et recevoir des signaux radio, ce qui permet une communication simultanée avec plusieurs utilisateurs.
- **Le beamforming** : permet de diriger le signal radio directement vers le périphérique de l'utilisateur, améliorant ainsi la qualité et la fiabilité du signal.
- **Le network slicing** : permet de diviser le réseau en plusieurs tranches virtuelles pour fournir des services personnalisés et adaptés aux besoins de chaque utilisateur. [5]

➤ L'ARCHITECTURE DE LA CINQUIEME GENERATION DE RESEAU MOBILE 5G :

La structure de la 5G est principalement constituée de trois niveaux horizontaux : « l'activation de services innovants », « la plate-forme d'activation » et « la radio hyper-connectée ». Ces niveaux seront expliqués en détail dans cette section.

1. **L'activation de services innovants** : comprend des services 5G novateurs. Grâce aux capacités d'infrastructure différenciées de la 5G, ces services seront en mesure d'offrir une expérience utilisateur hautement fiable et immersive. Le streaming vidéo en ultra-haute définition deviendra particulièrement dominant, offrant des expériences utilisateur virtuelles telles que le streaming vidéo multi-view et même les hologrammes. De plus, la bande passante suffisante et la grande fiabilité offerte par la 5G faciliteront l'émergence

de services de contrôle de robots à distance et de services d'Internet des objets (IoT) qui seront essentiels à la mission.

2. La plate-forme d'activation : est La couche intermédiaire de la 5G, elle est responsable de créer des valeurs centrées sur le service pour soutenir la couche supérieure de « service innovant », en transformant de manière appropriée les éléments mécaniques et disjoints des réseaux sous-jacents en une infrastructure orientée services. Pour atteindre cet objectif, la plate-forme d'activation utilise deux activateurs clés : la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et le réseau SDN (Software Defined Networking). Ces technologies de virtualisation de l'infrastructure et des services permettent d'offrir toujours plus de souplesse, d'intelligence et d'ouverture, ce qui en fait l'avenir des télécommunications.
3. La radio hyper-connectée : La couche inférieure est capable de fournir une grande quantité de données à la couche "Enabling Platform" de manière transparente et très efficace. En raison des exigences strictes de transmission de données et de latence, cette couche comprendra non seulement les technologies de réseau radio existantes, mais aussi de nouvelles technologies de réseau radio. Pour répondre à ces exigences, il est nécessaire de développer une gamme de technologies qui amélioreront le fractionnement des cellules, l'efficacité spectrale, la bande passante de la fréquence du canal et l'efficacité globale du fonctionnement du réseau. [12]

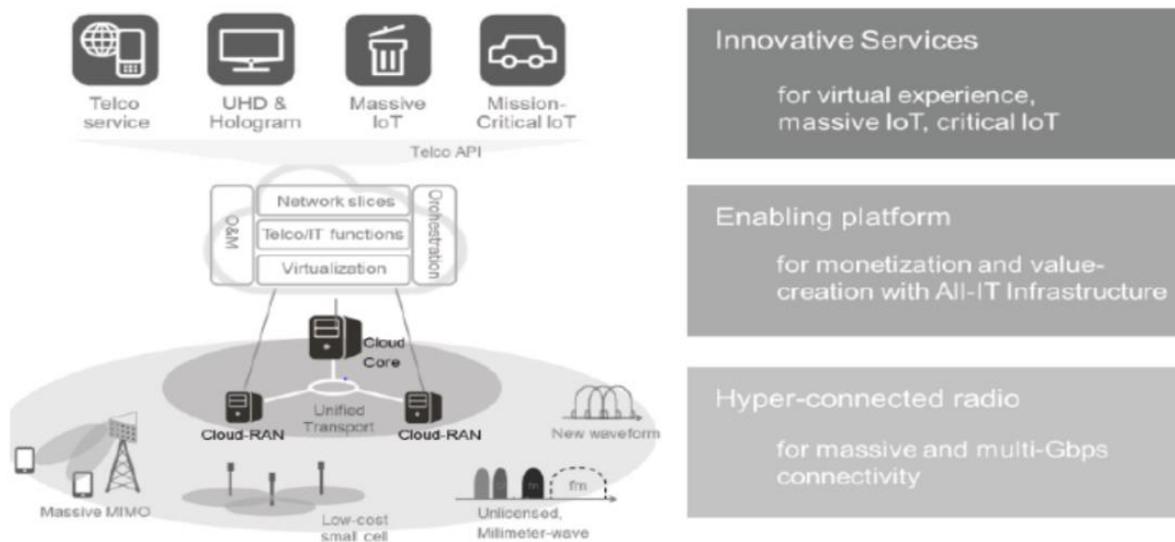


Figure 1.6 L'architecture du réseau 5G. [12]

- ❖ Les organismes de recherche étudient actuellement plusieurs technologies, parfois concurrentes, qui incluent notamment :

➤ **RESEAU CENTRAL 5G (5GC) :**

5G Core Network (5GC) occupe un rôle clé dans la réalisation du plein potentiel des services 5G également appelé cœur de réseau 5G, est l'élément central de l'architecture de réseau 5G. Il est responsable de la gestion de la connectivité entre les appareils 5G et les réseaux externes, ainsi que de la fourniture de services 5G avancés [12]. Le réseau central 5G est conçu pour prendre en charge des milliards d'appareils connectés et des volumes de données massifs, grâce à l'utilisation de technologies telles que la virtualisation, le cloud computing et la segmentation de réseau.

1.3 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.

Ainsi, la mise en place du réseau GSM et son évolution vers le réseau GPRS sont les deux étapes les plus importantes dans l'évolution de la téléphonie mobile, car l'architecture de base des réseaux des générations suivantes n'a pas été trop modifiée. De nouveaux équipements sont ajoutés pour l'introduction de l'UMTS ensuite le LTE dans le but de remédier aux différents problèmes liés aux débits fournis, la latence et la complexité du réseau.

Dans le chapitre qui suit nous allons nous expliquer les performances de technologie, et finalement étudier en profondeur la QOS et d'expliquer ses paramètres et ses degrés.

**Chapitre 2. Les paramètres de la
qualité de service et l'évaluation
de performance**

2.1 INTRODUCTION :

Les réseaux mobiles sont devenus une partie essentielle de nos vies, Les opérateurs de réseaux mobiles s'efforcent de fournir des services de haute qualité à leurs clients, en garantissant des performances optimales et une expérience utilisateur satisfaisante. Pour cela, les performances du réseau mobile doivent être mesurées et évaluées en utilisant des paramètres spécifiques. Ces derniers sont des mesures clés qui permettent de déterminer la qualité du service fourni par le réseau. [13]

Les paramètres de performances peuvent inclure la vitesse de transmission des données, la latence, la qualité des appels vocaux, la couverture réseau, la capacité du réseau, la fiabilité, la sécurité et bien d'autres encore. Une analyse régulière de ces paramètres est essentielle pour identifier les problèmes de performance du réseau, les corriger rapidement et fournir une expérience utilisateur de haute qualité.

En général, le but des recherches est d'évaluer les performances de la norme standard IEEE 802.11¹ en termes de qualité de service (QoS : Quality of Service) pour répondre aux besoins des utilisateurs. [14]

Ce chapitre permet de présenter les différents concepts liés à l'évaluation de performance et la qualité de service d'une façon générale et particulièrement les performances de technologie LTE.

2.2 L'EVALUATION DE PERFORMANCE :

L'évaluation de performances est un processus qui permet de mesurer, d'évaluer et d'analyser les résultats et les réalisations d'une entité afin de déterminer son efficacité et de prendre des décisions éclairées pour améliorer ses performances. [15]

2.2.1 LES ETAPES D'EVALUATION DE PERFORMANCE :

L'évaluation de performance d'un système se résume en trois étapes [15]:

- **Etape1** : Comprendre le fonctionnement du système.
- **Etape2** : Elaborer un modèle plus fidèle aux caractéristiques et fonctionnements du système.
- **Etape3** : Evaluer les performances du système selon le formalisme du modèle.

L'évaluation de performance d'un système peut être schématisée de la façon suivante :

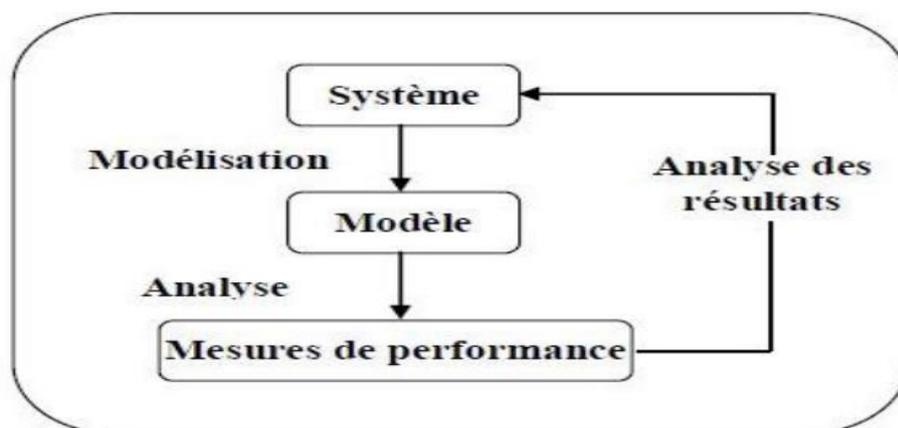


Figure 2.1 Processus d'évaluation de performance [15]

¹ IEEE 802.11 est un ensemble de normes concernant les réseaux sans fil locaux (le Wi-Fi). Il a été mis au point par le groupe de travail 11 du comité de normalisation LAN/MAN de l'IEEE (IEEE 802)

Ce schéma se décompose en une étape de modélisation permettant de passer du système au modèle, et une étape d'analyse de performance du modèle.

2.2.2 LES TECHNIQUES D'EVALUATION DE PERFORMANCE :

Les différentes techniques d'évaluation de performance d'un système sont schématisées dans la figure 2.2. Elles peuvent être classées en trois grandes catégories : l'obtention des mesures directes sur le système (par la détermination des valeurs directes des critères de performance), les méthodes analytiques et la simulation. [15]

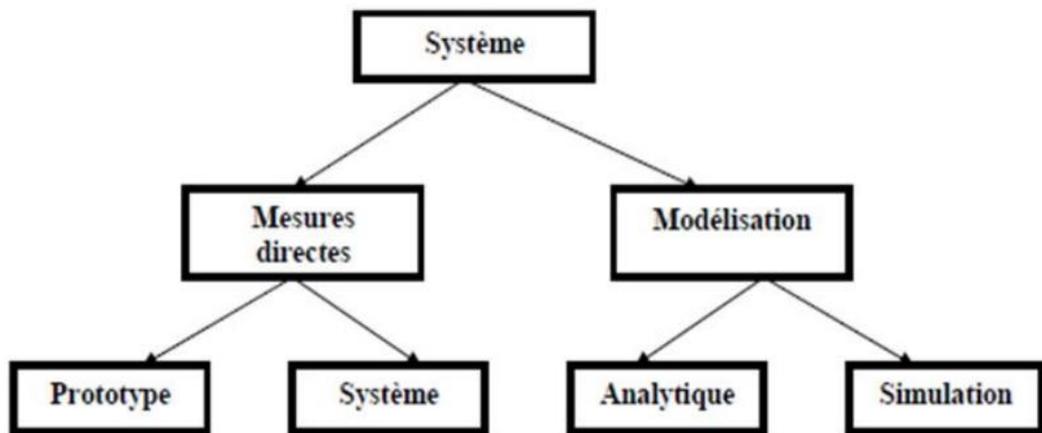


Figure 2.2 Technique d'évaluation de performance [15]

2.2.2.1 MESURES DIRECTES :

La méthode des mesures directes est la seule technique qui peut offrir " l'image réelle ", l'état d'un système réel, en tenant compte de toutes les caractéristiques de celui-ci. Elle a cependant plusieurs inconvénients. En effet les caractéristiques du système sont extrêmement variables et imprévisibles et par conséquent, les données obtenues à un moment donné sur le système ne permettent pas toujours de prévoir le comportement du système dans d'autres conditions. [16]

On ne peut pas utiliser cette première technique lorsqu'une partie du système ou bien le système dans son intégralité n'existe pas encore.

2.2.2.2 LA MODELISATION :

La modélisation vise à simplifier la description des parties du système que l'on souhaite analyser, en utilisant une représentation abstraite et compréhensible pour faciliter l'étude et l'analyse.

Le processus de la modélisation consiste à décomposer le système à étudier en plusieurs tâches, dans le but de simplifier son analyse. Ce symbolisme de représentation s'appuie également sur des outils théoriques et mathématiques. [17]

La modélisation peut être divisée en deux méthodes : Simulation et Les méthodes analytiques.

➤ LES METHODES ANALYTIQUES :

Permettent de dériver les paramètres de performance en fonction des paramètres temporels du modèle, tout en utilisant des solutions sous forme de formules mathématiques prédéfinies.

Ces méthodes sont très efficaces et beaucoup plus rapides que la simulation, mais la solution n'existe que pour une classe très restreinte des systèmes. [17]

Les méthodes analytiques pour l'évaluation de performance impliquent la détermination d'équations analytiques, suivie d'une résolution numérique. [18]

➤ LA SIMULATION :

La simulation est une méthode qui consiste à reproduire le comportement d'un système réel en créant un modèle informatique qui représente ses caractéristiques et son comportement. Cette méthode permet d'observer et d'analyser le système dans un environnement contrôlé et de tester différents scénarios en modifiant les paramètres du modèle. La simulation peut être utilisée dans de nombreux domaines, tels que l'ingénierie, la recherche scientifique, la gestion d'entreprise, la finance, la médecine, etc. Elle permet de prévoir les résultats de différentes actions et d'aider à prendre des décisions éclairées en réduisant les risques et les coûts associés aux expérimentations réelles. [19]

2.3 LA QUALITE DE SERVICE :

La qualité de service (QDS) ou Quality of Service (QoS) est en effet la capacité d'assurer une transmission efficace et fiable d'un certain nombre de paquets de données entre un émetteur et un récepteur. Elle englobe plusieurs aspects qui contribuent à une expérience utilisateur satisfaisante, tels que la disponibilité, le débit, les délais de transmission, la gigue (variation des délais), le taux de perte de paquets, etc. [20]

2.3.1 LES PARAMETRES DE LA QOS :

Les paramètres de qualité de service (QoS) sont des mesures utilisées pour évaluer la performance et la fiabilité des services de télécommunication, y compris les réseaux mobiles. Les paramètres du QoS associés à un flux de données sont principalement [21]:

- ✓ **Le débit (en anglais throughput) :** Il s'agit de la vitesse de transfert des données entre un appareil et le réseau. Un débit élevé permet de télécharger et de charger des données plus rapidement, ce qui se traduit par une expérience utilisateur améliorée. Il existe deux modes de disponibilité de le débit, en fonction du type de besoin exprimé par l'application :

1. **Le mode "Burst" :** est un mode immédiat qui est préféré par les applications de transfert de fichiers Ce mode fournit un débit immédiat pour permettre des transferts de fichiers plus rapides, mais il peut ne pas être adapté pour les applications interactives ou les applications audio/vidéo qui nécessitent un débit constant.

2. **Le mode "Stream"** : est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives.
- ✓ **La latence** : également appelé délai de transit est le temps qu'il faut pour qu'un paquet de données parte d'un point du réseau et atteigne sa destination, elle exprimait en millisecondes (ms) et mesure donc le délai entre l'envoi d'un paquet et la réception de la réponse correspondante.
 - ✓ **Priorité des paquets** : pour décider entre les modes "Burst" et "Streaming" et mettre en place une gestion du trafic, il est possible d'utiliser deux mécanismes : le contrôle de débit TCP (Transmission Control Protocol) et la gestion des files d'attente personnalisées.
 1. **Le contrôle de débit TCP (Transmission Control Protocol)** : Le contrôle de débit TCP est un mécanisme qui permet de réguler le débit des applications utilisant le protocole TCP en fonction des conditions de charge du réseau et du niveau de priorité des applications.
 2. **La gestion des files d'attente personnalisées** : Ce mécanisme consiste à affecter les flux entrants à des files d'attente spécifiques en fonction de critères de classification et de priorisation. Chaque file d'attente peut avoir des paramètres de gestion de file d'attente différents, tels que la taille de la file, la politique de gestion des files d'attente et le débit alloué.
 - ✓ **La Gigue (En anglais Jitter)** : Exprimée en (ms), Il s'agit de la variation de la latence dans le temps. Une gigue élevée peut entraîner des perturbations dans les flux de données en temps réel, provoquant des retards ou des sauts dans la transmission.
 - ✓ **Le taux de perte de paquets (en anglais packet loss)** : elle correspond à la non-délivrance d'un paquet de données, la plupart du temps due à un encombrement du réseau ; il représente la probabilité maximale de perte de données ou de paquets. Ce paramètre est sans unité il doit être maintenu aussi proche que possible de zéro pour assurer une QoS de qualité supérieure. Un taux de perte égal à zéro signifie une excellente QoS, tandis qu'un taux de perte élevé peut entraîner une dégradation significative de la qualité de service. [22]
 - ✓ **Capacité du réseau** : La capacité du réseau mobile est un paramètre qui mesure la quantité de trafic de données qu'un réseau mobile peut traiter simultanément. Plus précisément, ce paramètre représente le nombre maximum d'utilisateurs et de dispositifs connectés qui peuvent utiliser le réseau en même temps, sans que cela n'entraîne une congestion du réseau et une dégradation de la qualité de service. La capacité du réseau mobile dépend de plusieurs facteurs tels que la bande passante disponible, la qualité du signal, la capacité de traitement des stations de base, la charge de trafic, le type d'infrastructure réseau et les algorithmes utilisés pour gérer le trafic.
 - ✓ **Couverture du réseau** : La couverture fait référence à l'étendue géographique dans laquelle le réseau mobile est disponible. Une bonne couverture assure une connectivité dans différentes zones, y compris les zones rurales et les zones urbaines. La couverture du réseau mobile dépend de plusieurs facteurs tels que la densité des stations de base, la qualité du signal, la topologie de la zone couverte, les obstacles physiques tels que les bâtiments et les montagnes, et la propagation des ondes radio dans l'environnement.

Ces paramètres sont généralement mesurés et surveillés par les fournisseurs de services de télécommunications pour évaluer la performance de leur réseau mobile et garantir une expérience utilisateur de qualité.

Les opérateurs de réseaux mobiles utilisent des outils de surveillance pour collecter des données en temps réel sur les performances de leur réseau. Ils utilisent ensuite ces données pour identifier les zones à problèmes et mettre en œuvre des mesures correctives pour améliorer la performance du réseau.

2.3.2 INDICATEURS CLES DE PERFORMANCE :

Pour garantir une QoS acceptable, s'ajoutent à ces paramètres les indicateurs clés de performance (KPI en anglais : Key Performance Indicateurs) [22] :

- La disponibilité est la capacité à savoir si le réseau est présent ou non, en effet c'est le rapport entre le temps de bon fonctionnement du service vu par l'utilisateur et le temps total d'ouverture du service ; le pourcentage obtenu donne une idée de la disponibilité du réseau. Cela implique une couverture efficace des populations et une disponibilité continue, qui dépend fortement d'une source d'énergie fiable.
- L'accessibilité, quant à elle, se réfère à la capacité des utilisateurs à accéder au réseau une fois qu'il est présent. Les opérateurs et les régulateurs suivent de près ce KPI.
- La continuité est également essentielle car les interruptions d'appels ou de connexions sont très désagréables pour les utilisateurs. Le taux de coupures d'appels (CDR) est donc un KPI important, tout comme le taux de succès des connexions (CSSR).
- L'intégrité est un aspect crucial car la qualité des informations ne doit pas être altérée ou modifiée.
- La durée d'interruption de service qui complète la disponibilité. Le MTTR « Mean Time To Repair » pour l'ensemble de la chaîne de service peut être également calculé sur la base des MTTR des éléments qui la constituent.

2.3.3 LES CLASSES DE SERVICES (COS) :

Les paramètres de performances sont ensuite regroupés entre eux en fonction des besoins des applications et des services. Ces groupes forment alors des Classes de Services (Class of Services : Cos). Les requêtes de QoS des applications ou des services seront toujours affectées à une classe de service donnée. A chaque classe, correspond un ensemble de paramètres de QoS avec des objectifs quantifiés. Chaque opérateur définit également ses propres classes de services avec des objectifs quantifiés différents. Il est très complexe de synthétiser les différentes propositions. En effet, même le nombre de classes de services est sujet à des débats intenses dans les instances de standardisations. [23]

Une classification des principales applications est fournie afin de faciliter la lecture de ce mémoire :

- ✓ **La voix :** Le domaine de la voix regroupe les applications de communication conversationnelles telles que la voix, la visioconférence, etc. Ces applications ont une forte exigence en termes de délai et de gigue, ce qui signifie que les données doivent être transmises avec une faible latence et une variation minimale du délai de transmission. Bien que le taux de perte de données soit également important pour ces applications, il n'est pas possible de retransmettre les données perdues. En outre, le débit requis pour la transmission de la voix est relativement faible.
- ✓ **Vidéo :** Le domaine de la vidéo regroupe toutes les applications multimédias, qu'elles soient diffusées ou non, telles que la Vidéo à la demande (VoD) et la télévision sur IP (IPTV). Ces

applications ont une forte exigence en termes de taux de perte de données et de débit. Bien que le délai et la gigue soient également des considérations importantes, ils sont moins critiques que le taux de perte et le débit.

- ✓ **Donnée :** En ce qui concerne la classe de Données, elle englobe toutes les applications de transfert de données qui ont pour principale exigence un taux de perte de données nul, et qui tolèrent un délai et une gigue quelconques. Bien qu'un débit garanti soit une caractéristique de cette classe, il n'est pas nécessairement une exigence stricte.
- ✓ **Défaut :** On utilise le terme « Défaut » pour désigner toutes les applications qui ne requièrent pas de garantie de qualité de service (QoS). Ce mode de transport est souvent appelé « Best-Effort » en anglais et est utilisé par le protocole IP.

2.3.4 DEGRES DE LA QOS :

Les trois principaux degrés de Qualité de Service (trois niveaux de services), du plus fiable au plus lâche, sont les suivants :

- ✓ **Le service garanti ou premium :** Il vise à émuler une liaison spécialisée : malgré un multiplexage des paquets sur le médium, le lien propose les mêmes garanties que s'il était basé sur une ligne indépendante. Des pertes de paquets ou une certaine gigue peuvent néanmoins être acceptées en fonction du contrat négocié. Au niveau technologies, le service garanti se retrouve avec le GS d'IntServ, l'EF de DiffServ et le CBR de l'ATM que nous détaillerons plus loin. [14]
- ✓ **Le service « mieux que Best-Effort » :** Le service "mieux que Best-Effort" est un niveau de service de qualité de réseau qui est supérieur au service standard "Best-Effort". Contrairement au service Best-Effort qui ne garantit aucune qualité de service, le service "mieux que Best-Effort" peut offrir des garanties de bande passante, de latence et de fiabilité pour des applications critiques telles que la voix sur IP ou la vidéoconférence. Ce type de service est souvent utilisé dans les réseaux d'entreprise ou les réseaux de télécommunications pour offrir une qualité de service supérieure à leurs clients ou utilisateurs.
- ✓ **Le service Best-Effort :** est un niveau de service de base dans les réseaux de communication qui ne garantit pas de qualité de service particulière. Dans ce mode de fonctionnement, les paquets sont transmis sur le réseau dans l'ordre dans lequel ils sont reçus, sans priorisation ni garantie de délai de livraison. Le réseau traite simplement les paquets dès que la bande passante est disponible, sans se soucier de leur importance relative ou de la qualité de service souhaitée par l'utilisateur. Cela peut entraîner des pertes de paquets, des retards de livraison et une qualité de service inférieure pour les applications sensibles au temps, telles que la voix sur IP ou la vidéoconférence. Le service Best-Effort est largement utilisé pour les applications non critiques telles que l'accès à Internet ou le courrier électronique.

2.3.5 MODELES DE QUALITE DE SERVICE :

Aujourd'hui, les efforts visant à améliorer la qualité de service pour les applications multimédia dans les réseaux mobiles reposent sur plusieurs aspects, notamment les modèles de qualité de service et l'introduction de la différenciation de service au niveau de la couche MAC. Ces travaux s'inspirent des avancées réalisées dans les réseaux filaires, en intégrant notamment des aspects tels que [24]:

- L'adaptation de la puissance d'émission en maximisant cette puissance pour les trafics prioritaires.
- Le partage de charge entre les différents nœuds du réseau.
- L'économie de batterie en essayant de trouver le chemin le plus court afin d'économiser l'énergie consommée.

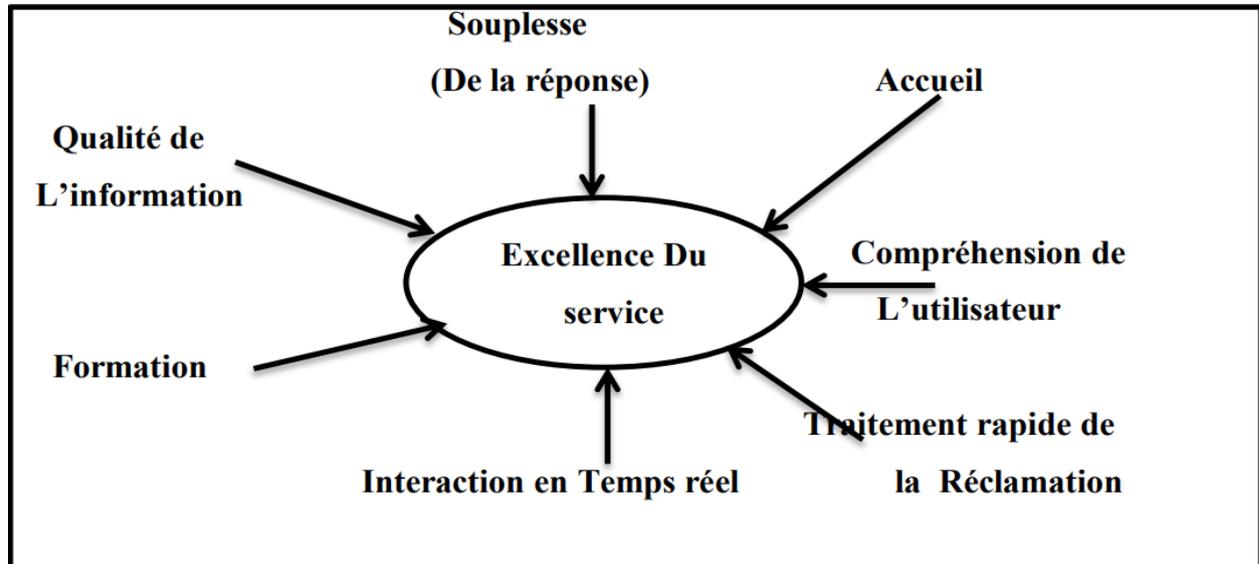


Figure 2.3 la qualité dans les services [25]

2.3.6 PASSERELLE ENTRE L'EVALUATION DE PERFORMANCE ET LA QOS :

L'évaluation de performance et la qualité sont deux domaines étroitement liés dans les systèmes informatiques. En effet, la qualité de service (QoS) est souvent mesurée en termes de performance, et les indicateurs de performance sont souvent utilisés pour évaluer la QoS.

Par exemple, dans le cas des réseaux de télécommunication, la qualité de service est souvent évaluée en termes de débit, de temps de latence, de taux d'erreur et d'autres paramètres de performance similaires. De même, dans les applications logicielles, la qualité est souvent évaluée en termes de temps de réponse, de temps de traitement, de consommation de mémoire et d'autres mesures de performance. [25]

La simulation et la modélisation sont des outils importants pour évaluer à la fois la performance et la qualité des systèmes informatiques. En utilisant ces outils, les ingénieurs peuvent créer des modèles représentant les systèmes qu'ils conçoivent, et évaluer leur comportement sous différentes conditions. Ils peuvent ainsi identifier les goulots d'étranglement et les problèmes de performance, et concevoir des solutions pour améliorer la qualité et la performance. La notion d'évaluation de performance peut être subdivisée en deux parties distinctes : l'évaluation de la performance fonctionnelle et l'évaluation de la performance non fonctionnelle.

- L'évaluation de la performance fonctionnelle : est liée aux besoins opérationnels de l'entreprise, c'est-à-dire à la capacité d'un logiciel à répondre aux exigences fonctionnelles spécifiées. Un logiciel est considéré comme satisfaisant les exigences fonctionnelles s'il fournit les résultats attendus et remplit les tâches pour lesquelles il a été créé.

- L'évaluation de la performance non fonctionnelle, quant à elle, concerne les exigences de qualité qui permettent un fonctionnement optimal du logiciel. Cela inclut des aspects tels que le temps de réponse, la sécurité, la portabilité, le coût de développement et d'exploitation, etc.

En résumé, l'évaluation de performance et la qualité sont des domaines étroitement liés dans les systèmes informatiques, les outils de simulation et de la modélisation sont essentiels pour évaluer à la fois la performance et la qualité.

2.4 LES PERFORMANCES DE RESEAU LTE :

2.4.1 LES SERVICES LTE :

Les services LTE (Long Term Evolution) sont une norme de téléphonie mobile utilisée pour les réseaux de communication sans fil. LTE est considéré comme une technologie de quatrième génération (4G) et offre des vitesses de données élevées, une latence réduite et une meilleure qualité de service par rapport aux technologies précédentes. [3]

Voici quelques-uns des services offerts par LTE :

- **Internet haut débit mobile** : LTE permet aux utilisateurs d'accéder à Internet à des vitesses beaucoup plus rapides que les technologies de génération précédentes. Cela permet de naviguer sur le Web, de diffuser des vidéos en continu, de télécharger des fichiers rapidement et de profiter d'une expérience Internet globalement améliorée sur les appareils mobiles.
- **Voix sur LTE (VoLTE)** : LTE prend en charge la voix sur IP (VoIP), ce qui signifie que les appels vocaux peuvent être acheminés via le réseau de données LTE. La technologie VoLTE offre une qualité audio supérieure à celle des appels vocaux traditionnels et permet une commutation transparente entre les appels voix et les applications de données, sans interrompre la connexion Internet.
- **Vidéo haute définition** : Grâce à sa bande passante élevée, LTE permet la diffusion de vidéos en haute définition (HD) sur les appareils mobiles. Les utilisateurs peuvent regarder des vidéos en streaming avec une résolution élevée et une expérience de visionnage fluide.
- **Jeux en ligne et réalité virtuelle (RV)** : Les services LTE offrent des performances suffisamment rapides et une latence réduite pour prendre en charge les jeux en ligne, y compris les jeux multi-joueurs en temps réel. Les utilisateurs peuvent également profiter de la réalité virtuelle et augmentée grâce à la bande passante élevée de LTE.
- **Objets connectés (Internet des objets - IoT)** : LTE fournit une connectivité pour les appareils de l'Internet des objets, tels que les capteurs, les appareils domotiques, les véhicules connectés, etc. Cela permet la collecte et le transfert de données à partir de ces appareils, facilitant ainsi l'automatisation et la gestion intelligente des objets connectés.
- **Sécurité renforcée** : LTE offre une sécurité renforcée par rapport aux technologies de génération précédentes, ce qui rend les communications plus sûres et moins vulnérables aux attaques et aux interceptions.
- **Services d'urgence** : LTE fournit des fonctionnalités avancées pour les services d'urgence, tels que les appels d'urgence prioritaires, la localisation précise des appelants et la transmission de données vitales en temps réel.

2.5 L'EVALUATION DE PERFORMANCE DE RESEAU LTE :

Les réseaux LTE Sont des réseaux de communication mobile qui offrent des performances améliorées par rapport aux technologies précédentes, voici quelques aspects couramment évalués lors de l'évaluation d'un réseau LTE [3] :

- ✓ **La capacité de réseau** : Avec l'émergence de nouvelles applications, les réseaux doivent être capables de prendre en charge un grand nombre d'utilisateurs simultanés par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs puissent être pris en charge simultanément par cellule en état actif, tandis qu'un nombre encore plus élevé d'utilisateurs devrait être possible en état de veille.
- ✓ **Les débits** : la technologie LTE ont inclus des améliorations significatives en termes de débit. Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants :
 - Une vitesse de téléchargement (voie descendante) d'au moins 100 Mbit/s pour une largeur de bande de 20 MHz.
 - Une vitesse de téléversement (voie montante) d'au moins 50 Mbit/s pour une largeur de bande de 20 MHz.
 - Il est important de noter que ces débits cibles doivent être atteignables par au moins 95 % des utilisateurs de la cellule. Cela signifie que la majorité des utilisateurs doivent être en mesure de profiter de ces vitesses élevées dans des conditions normales d'utilisation.
- ✓ **la latence** : dans un réseau LTE On distingue deux types de latence : la latence du plan de contrôle et la latence du plan usager.
 - **Latence du plan de contrôle** : L'objectif est d'améliorer la latence du plan de contrôle en atteignant un temps de transition inférieur à 100 ms. La latence du plan de contrôle concerne les opérations de signalisation et de contrôle nécessaires pour établir et gérer les connexions dans le réseau.
 - **Latence du plan usager** : La latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP à l'intérieur du réseau d'accès. Dans le cas du LTE, l'objectif est d'atteindre une latence du plan usager inférieure à 5 ms. Cela se réfère au temps nécessaire pour qu'un paquet de données traverse le réseau LTE, de l'appareil de l'utilisateur jusqu'à sa destination ou vice versa. Réduire la latence dans les deux plans est essentiel pour offrir des performances réactives dans les applications en temps réel, telles que les jeux en ligne, les appels vidéo ou les services de voix sur IP. Une latence réduite améliore également l'expérience globale de l'utilisateur en réduisant les délais de réponse et en permettant des interactions plus fluides avec les services.

2.6 CONCLUSION :

Pour mesurer les performances d'un système, la modélisation et la simulation sont des outils essentiels pour évaluer les temps moyens d'attente, les temps de réponse et d'autres mesures pertinentes. La qualité de service et l'évaluation de performance jouent un rôle essentiel dans le déploiement et l'exploitation des réseaux LTE. Ces aspects permettent de garantir une expérience utilisateur optimale en offrant des vitesses élevées, une connectivité fiable, des appels de qualité, une disponibilité du réseau et une gestion efficace du trafic.

Le chapitre suivant, sera consacré au calcul des performances de notre modèle ainsi qu'à l'interprétation des résultats obtenus par la simulation.

Chapitre 3. Simulation et l'interprétation de résultat

3.1 INTRODUCTION

Pour les réseaux sans fil, la simulation permet de tester à moindre coût les nouveaux protocoles de routage ainsi que d'anticiper les problèmes qui pourront se poser dans le futur afin d'implémenter la technologie la plus adaptée aux besoins. [14]

La quatrième génération des réseaux mobiles, communément appelée 4G LTE (Long Term Evolution), a révolutionné la connectivité sans fil en offrant des débits de données plus rapides, une latence réduite et une capacité accrue. Pour évaluer les performances de cette technologie et analyser son comportement dans des scénarios de déploiement réalistes, la simulation devient un outil précieux. Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur l'utilisation de NS-3 (Network Simulator 3) comme plateforme de simulation pour l'évaluation des performances de la technologie 4G LTE.

Le calcul des résultats de simulation et leur interprétation jouent un rôle crucial dans la compréhension des performances du réseau 4G LTE simulé. Tout au long de ce chapitre, nous explorerons les différentes étapes impliquées dans ce processus, en mettant l'accent sur l'utilisation de NS-3 pour mener des expériences et recueillir des données pertinentes.

En conclusion, ce chapitre fournira aux lecteurs une compréhension approfondie du processus de calcul et d'interprétation des résultats d'évaluation de performances de la technologie 4G LTE à l'aide de NS-3. En acquérant ces connaissances, les chercheurs et les professionnels seront en mesure de mener des études précises et fiables pour améliorer la conception, le déploiement et l'optimisation des réseaux 4G LTE.

En outre, le NS-3 dispose d'un support complet sur la définition et l'analyse des scénarios des réseaux à simuler. Le NS-3 dispose aussi d'une documentation officielle complète ainsi que d'un riche comité d'utilisateur. [20]

3.2 L'OUTIL DE SIMULATION UTILISE :

Pour effectuer notre étude expérimentale nous avons utilisé NS-3 (Network Simulator 3). Le choix s'est porté sur ns3 raison de son module de simulation LTE. Et pour la simple raison que ce simulateur possède des scripts dont nous pouvons les utiliser n'importe quand contrairement aux autres simulateurs, par exemple le simulateur OPNET est un simulateur qui n'est pas gratuit donc c'est impossible de l'utiliser ou de travailler avec ce type de simulateur.

NS-3 est un logiciel qui met à disposition des utilisateurs des outils de simulation pour étudier le comportement de réseaux de communication. Le module de simulation LTE de NS-3 permet de modéliser les caractéristiques de la technologie LTE et de simuler son fonctionnement pour évaluer ses performances.

3.3 LE MODELE NS-3 LTE :

Le modèle NS-3 LTE est une application pour concevoir, simuler et tester les réseaux LTE dans un environnement sophistiqué. De plus, cette bibliothèque comprend Evolved Packet Core (EPC) pour améliorer les performances du réseau malgré la taille du réseau. Pour cela, il prend en charge l'évolutivité du réseau dans les aspects suivants.

- ✓ Différents équipements utilisateur (UE) vont de 100 à quelques milliers
- ✓ Différents appareils eNodeB vont de 10 à quelques centaines

Le terme LTE signifie Long Term Evolution, qui est une technique efficace qui améliore les performances extrêmes d'un réseau, en particulier dans les limites de l'air. Il est largement utilisé pour les communications cellulaires. Il est également utilisé dans les réseaux mobiles pour améliorer la vitesse de transmission des données et permettre une navigation rapide. Comparé à ses réseaux de génération précédente comme la 2G et la 3G, le LTE peut être implémenté dans la 4G et dans l'avenir de l'Internet, le réseau 5G.

3.4 LES OUTILS COMPLEMENTAIRES POUR LE CALCUL DES RESULTATS :

➤ Gnuplot :

Est un programme polyvalent qui permet de tracer des courbes en 2D ou en 3D. Il est largement utilisé et disponible sur de nombreuses plates-formes. Il fonctionne de manière interactive par l'intermédiaire de commandes simples. Les instructions se transmettent soit en les tapant directement à l'invite soit à partir d'un fichier de commande UNIX ou LINUX (batch).

Une des caractéristiques de Gnuplot est sa capacité à tracer des fonctions mathématiques prédéfinies. Il dispose d'un ensemble étendu de fonctions mathématiques intégrées qui peuvent être utilisées dans les expressions pour générer des courbes complexes, il bénéficie d'une aide interactive en ligne (help).

3.5 ARCHITECTURE DE TEST :

La simulation avec NS-3 débute par la modélisation du test à effectuer. Une fois celle-ci réalisée, le système modélisé est transformé en script utilisé pour sa transmission au simulateur. La simulation peut y être alors exécutée afin d'en extraire les résultats comme le montre la Figure 3.5 [20]

Le script est réalisé à partir de deux langages : le C++ ou le Python.

Pour des considérations de flexibilité, notre choix s'est porté sur le langage C++.

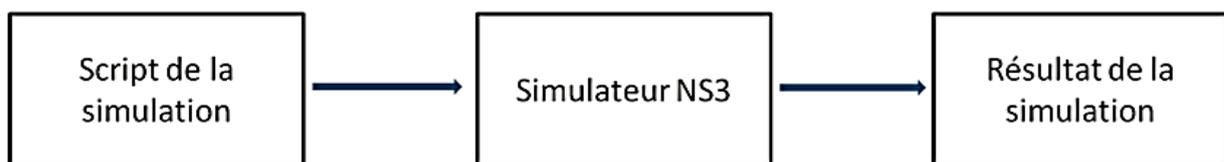


Figure 3.1 La réalisation d'une simulation dans NS3 [20]

3.6 MODÈLE DE SIMULATION DE BASE POUR LTE NS3 :

Voici le programme de simulation minimal nécessaire pour effectuer une simulation LTE uniquement (sans EPC).

➤ Recapitulative initial :

```

#include <ns3/core-module.h>
#include <ns3/network-module.h>
#include <ns3/mobility-module.h>
#include <ns3/lte-module.h>

using namespace ns3;

int main(int argc, char *argv[])
{

```

```
// the rest of the simulation program follows
```

Cette partie du code est la structure de base d'un programme NS-3 qui importe quatre modules de la bibliothèque NS-3 (Network Simulator 3) : `core-module.h`, `network-module.h`, `mobility-module.h`, et `lte-module.h`.

En utilisant la directive `using namespace ns3;`, toutes les classes et fonctions définies dans ces modules sont importées dans l'espace de noms `ns3`, ce qui permet d'y accéder directement sans spécifier le nom de l'espace de noms.

La fonction `main()` est la fonction principale du programme. Elle est appelée au démarrage de l'exécution et est le point d'entrée du programme. Elle prend deux paramètres : `argc`, qui représente le nombre d'arguments de la ligne de commande, et `argv`, qui est un tableau de chaînes de caractères contenant les arguments.

➤ Création d'un objet LteHelper :

```
Ptr<LteHelper> lteHelper = CreateObject<LteHelper>();
```

Cette ligne est pour but de création d'un pointeur `Ptr` vers un objet de la classe `LteHelper` dans le cadre de la bibliothèque NS-3.

`LteHelper` est une classe qui fournit des fonctionnalités pour configurer et gérer les simulations de réseaux LTE (Long-Term Evolution). Elle permet de créer et de configurer des éléments tels que les stations de base (eNodeB), les utilisateurs (UE), les canaux de communication, les planificateurs de ressources et les modèles de mobilité.

La fonction `CreateObject<T>()` est utilisée pour créer une instance d'un objet de la classe spécifiée (`LteHelper` dans ce cas). Elle retourne un pointeur `Ptr` vers cet objet nouvellement créé.

➤ Création des objets Node pour les eNB et les UE :

```
NodeContainer enbNodes;
enbNodes.Create(1);
NodeContainer ueNodes;
ueNodes.Create(2);
```

Ces lignes ont pour but de créer des conteneurs de nœuds (`NodeContainer`) pour les stations de base (eNodeB) et les utilisateurs (UE) dans notre simulation NS-3.

La classe `NodeContainer` est utilisée pour regrouper un ensemble de nœuds dans NS-3. Dans ce contexte, un nœud représente une entité dans le réseau, telle qu'une station de base, un utilisateur ou un routeur.

Notez qu'à ce stade, les instances de nœud ci-dessus n'ont toujours pas de pile de protocole LTE installée ; ce ne sont que des nœuds vides.

➤ Configuration de modèle Mobility pour tous les nœuds :

```
MobilityHelper mobility;
mobility.SetMobilityModel("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
mobility.Install(enbNodes);
mobility.SetMobilityModel("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
```

```
mobility.Install(ueNodes);
```

Ces lignes utilisent la classe `MobilityHelper` pour configurer les modèles de mobilité des nœuds dans notre simulation NS-3.

La classe `MobilityHelper` est utilisée pour configurer la mobilité des nœuds dans NS-3. Elle permet de définir différents modèles de mobilité pour les nœuds, tels que le modèle de mobilité constante, le modèle de mobilité aléatoire, le modèle de mobilité basé sur la trace, etc. Ce qui précède placera tous les nœuds aux coordonnées (0,0,0).

➤ **Installation d'une pile de protocoles LTE sur les eNB :**

```
NetDeviceContainer enbDevs;
enbDevs = lteHelper->InstallEnbDevice(enbNodes);
```

Ces deux lignes créent un conteneur de périphériques réseau (`NetDeviceContainer`) pour les stations de base (eNodeB), en utilisant la méthode `InstallEnbDevice()` de la classe `LteHelper`.

La classe `NetDeviceContainer` est utilisée pour regrouper un ensemble de périphériques réseau dans NS-3. Un périphérique réseau représente l'interface réseau d'un nœud dans la simulation.

➤ **Installation d'une pile de protocole LTE sur les UE :**

```
NetDeviceContainer ueDevs;
ueDevs = lteHelper->InstallUeDevice(ueNodes);
```

Ces deux lignes pour la création d'un conteneur de périphériques réseau (`NetDeviceContainer`) pour les utilisateurs (UE), en utilisant la méthode `InstallUeDevice()` de la classe `LteHelper`.

➤ **Attachement de chaque UE à un eNB. Cela configurera chaque UE en fonction de la configuration eNB et créera une connexion RRC entre eux :**

```
lteHelper->Attach(ueDevs, enbDevs.Get(0));
```

➤ **L'activation d'un support radio de données entre chaque UE et l'eNB auquel il est rattaché :**

```
enum EpsBearer::Qci q = EpsBearer::GBR_CONV_VOICE;
EpsBearer bearer(q);
lteHelper->ActivateDataRadioBearer(ueDevs, bearer);
```

Ces lignes déclarent une variable énumérée (`enum`) `q` de type `EpsBearer::Qci` et initialisent sa valeur à `EpsBearer::GBR_CONV_VOICE`. Ensuite, un objet `EpsBearer` est créé en utilisant la valeur de `q`. Enfin, la méthode `ActivateDataRadioBearer()` de l'objet `lteHelper` est appelée pour activer le support de transport de données radio (`DataRadioBearer`) pour les périphériques réseau des utilisateurs (`ueDevs`) en utilisant l'objet `bearer` créé précédemment.

Cette méthode activera également deux générateurs de trafic à saturation pour ce support, un en liaison montante et un en liaison descendante.

➤ **Configuration de l'heure d'arrêt :**

```
 Simulator::Stop(Seconds(0.005));
```

Ceci est nécessaire sinon la simulation durera éternellement, car (entre autres) l'événement de début de sous-trame est planifié à plusieurs reprises, et le planificateur du simulateur ns-3 ne manquera donc jamais d'événements.

➤ **Exécution de la simulation :**

```
 Simulator::Run();
```

➤ **Nettoyage et sortie :**

```
 Simulator::Destroy();
return 0;
}
```

Ces lignes sont utilisées pour terminer l'exécution de la simulation et quitter le programme.

La méthode statique Destroy() de la classe Simulator est utilisée pour libérer les ressources utilisées par le simulateur NS-3. Cela inclut la suppression des objets, la libération de la mémoire et d'autres tâches de nettoyage nécessaires à la fin de la simulation.

- ✚ Nous avons également fourni la liste des paramètres de configuration utilisés pour évaluer le réseau simulé. Les paramètres ci-dessous sont utilisés pour décrire comment le modèle LTE est conçu au moment de la simulation.

➤ **PARAMÈTRES DE CONFIGURATION DE LA SIMULATION POUR LE MODÈLE NS3 LTE :**

Dans ce qui suit, nous résumons brièvement comment le faire en utilisant des fichiers d'entrée avec le ConfigStore ns-3. Tout d'abord, on doit mettre les éléments suivants dans notre programme de simulation, juste après le démarrage de main() :

```
 CommandLine cmd(__FILE__);
cmd.Parse(argc, argv);
ConfigStore inputConfig;
inputConfig.ConfigureDefaults();
// parse again so you can override default values from the command line
cmd.Parse(argc, argv);
```

Pour que ce qui précède fonctionne, on doit également assurer l'inclusion de "ns3/config-store.h". puis on crée maintenant un fichier texte nommé (par exemple) input-defaults.txt en spécifiant les nouvelles valeurs par défaut que vous souhaitez utiliser pour certains attributs :

```
 default ns3::LteHelper::Scheduler "ns3::PffMacScheduler"
default ns3::LteHelper::PathlossModel "ns3::FriisSpectrumPropagationLossModel"
default ns3::LteEnbNetDevice::UIBandwidth "25"
```

```
default ns3::LteEnbNetDevice::DlBandwidth "25"
default ns3::LteEnbNetDevice::DlEarfcn "100"
default ns3::LteEnbNetDevice::UlEarfcn "18100"
default ns3::LteUePhy::TxPower "10"
default ns3::LteUePhy::NoiseFigure "9"
default ns3::LteEnbPhy::TxPower "30"
default ns3::LteEnbPhy::NoiseFigure "5"
```

- En supposant que notre programme de simulation s'appelle src/lte/examples/lte-sim-with-input, on peut maintenant transmettre ces paramètres au programme de simulation de la manière suivante :

```
./ns3 run src/lte/examples/lte-sim-with-input
--command-template="%s --ns3::ConfigStore::Filename=input-defaults.txt
--ns3::ConfigStore::Mode=Load --ns3::ConfigStore::FileFormat=RawText"
```

De plus, on peut générer un modèle de fichier d'entrée avec la commande suivante :

```
./ns3 run src/lte/examples/lte-sim-with-input
--command-template="%s --ns3::ConfigStore::Filename=input-defaults.txt
--ns3::ConfigStore::Mode=Save --ns3::ConfigStore::FileFormat=RawText"
```

3.7 DESCRIPTION DE LA TOPOLOGIE SIMULEE :

La topologie LTE-EPC que nous avons réalisé est composé de trois eNodeBs, un serveur, un remote host et 10 d'utilisateurs.

- Les eNodeBs sont les stations de base LTE qui assurent la connectivité radio avec les utilisateurs. Ils sont répartis dans la topologie pour couvrir une zone étendue et offrir une couverture réseau étendue.
- Le serveur représente l'architecture Centrale EPC, comprenant des entités telles que le Serving Gateway (SGW), le Packet Data Network Gateway (PGW), le Mobility Management Entity (MME) et le Home Subscriber Server (HSS). Ces entités assurent le routage des paquets de données, la gestion de la mobilité des utilisateurs et la fourniture de services d'authentification et d'autorisation.
- Le remote host est un nœud externe connecté au réseau LTE via le PGW, permettant la communication avec les utilisateurs LTE.
- La topologie inclut également un nombre d'utilisateurs, représentant une population d'utilisateurs LTE variée et active. Ces utilisateurs se connectent aux eNodeBs pour accéder aux services de données et échanger des informations via le réseau LTE-EPC.

En combinant ces éléments comme montre la figure 3.1, la topologie permet de simuler un environnement réaliste avec une infrastructure LTE-EPC complète, permettant d'évaluer les performances du réseau, la gestion de la mobilité, la qualité de service et d'autres aspects clés du système de communication LTE.

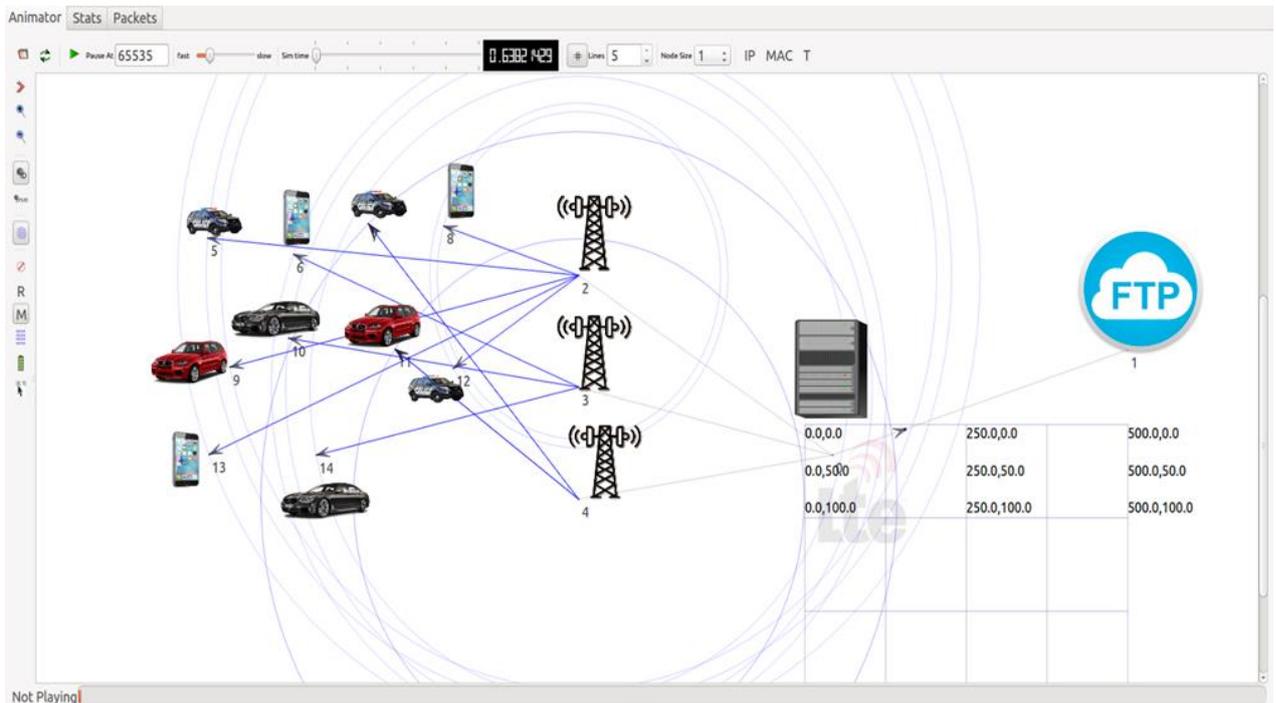


Figure 3.2 Topologie LTE-EPC simulé.

3.7.1 LES PARAMETRES DE SIMULATION :

Les paramètres de simulation sont synthétisés dans le tableau Suivant :

PARAMETRE	SIGNIFICATION	TYEPE DE VALEUR
Nbr enodeB	Nombre d’ENodeB	Cst [3]
Simtime	Durée totale de la simulation	Cst [10s]
Nbr UE	Nombre d’utilisateur	Var [10/20/30/40/50/60]
Speed	Vitesse	Cst [50.0m/s]
DataRate	La bande passante	Var [100/150/200/250/300]
DeltaX	La distance	Var [200/300/400/500]

Tableau 3.1. Les paramètres de simulation

3.8 PARAMETRES DE PERFORMANCES :

Au cours de notre simulation nous avons réalisé une évaluation sur les paramètres suivant :

- **Le débit (Throughput) :** un débit élevé permet de télécharger et de charger des données plus rapidement, ce qui se traduit par une expérience utilisateur améliorée, Il peut être

mesuré en bits par seconde (bps), kilobits par seconde (kbps), mégabits par seconde (Mbps) ou gigabits par seconde (Gbps).

- **Le délai (Delay)** : un délai de transit élevé peut entraîner une diminution de la qualité de service, en particulier pour les applications en temps réel comme la voix sur IP ou la vidéoconférence.
- **Le taux de pertes des paquets (Packets loss)** : la perte de paquets peut avoir un impact sur la qualité de service dans les réseaux de communication. Elle peut entraîner une dégradation des performances, une augmentation de la latence et une diminution du débit de transmission.
- **La Gigue (Jitter)** : est mesurée en termes d'écart de temps ou de variation de la latence. Elle peut avoir un impact négatif sur la qualité de service dans les réseaux de communication], Une gigue élevée peut entraîner des problèmes tels que des délais excessifs, des interruptions de flux et une dégradation de la qualité audio/vidéo.

3.9 DEROULEMENT DE LA SIMULATION :

Avec le module LTE-EPC de NS-3, nous avons pu créer des scénarios de réseau LTE-EPC et configurer des paramètres spécifiques tels que la gestion des ressources radio, la planification des ressources et le contrôle de l'allocation de la bande passante. Il prend également en charge la gestion des classes de services pour reproduire les différents niveaux de QoS requis dans les réseaux LTE.

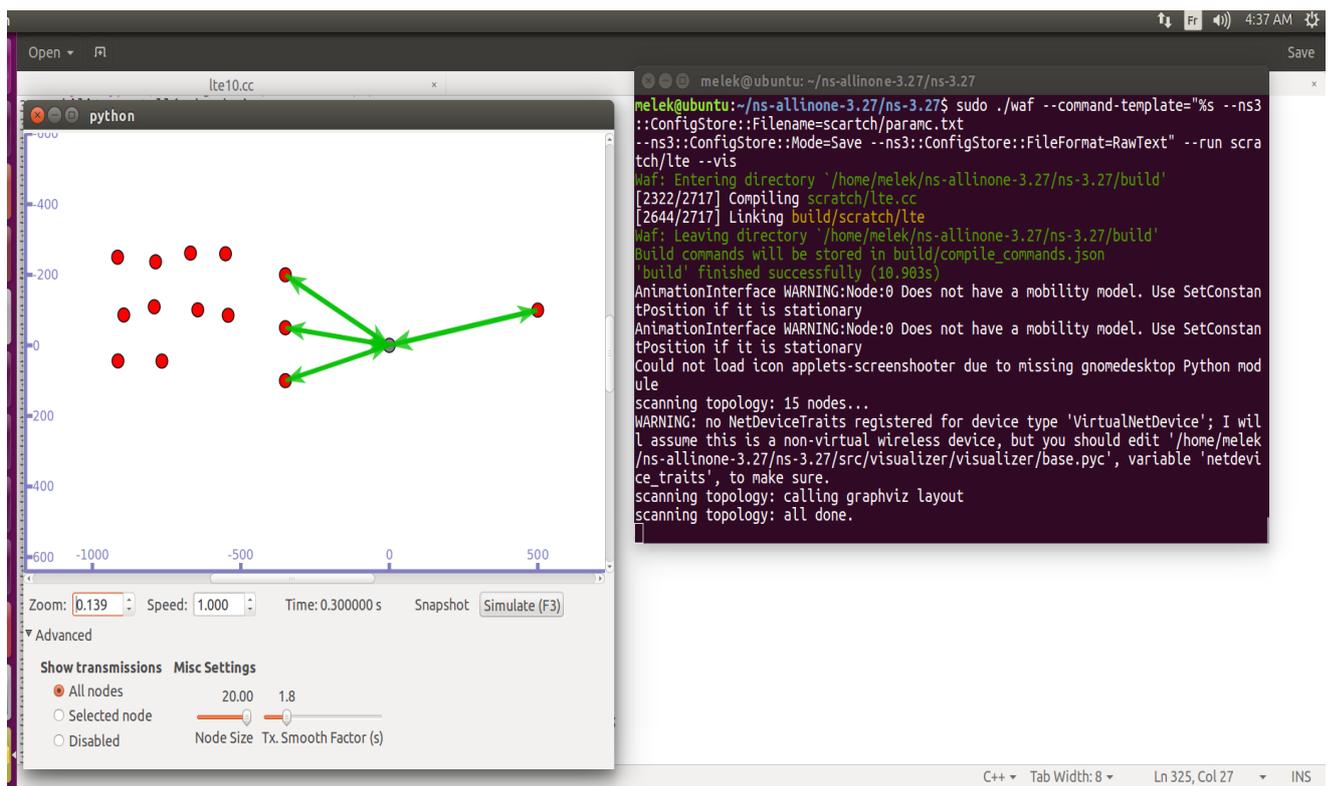


Figure 3.3 Affichage de résultat de simulation.

3.10 LES RESULTATS OBTENUES :

Dans notre étude, nous avons réalisé une évaluation approfondie des performances d'un réseau 4G LTE-EPC. Notre scénario de test comprenait 3 eNodeB et 10 utilisateurs, et nous avons analysé les métriques clés de performance telles que le taux de pertes des paquets, le débit moyen, le délai et la latence de transit. De plus, nous avons examiné l'impact de plusieurs paramètres, notamment le nombre d'utilisateurs, la distance entre les utilisateurs et les ENodeB, ainsi que l'augmentation de la bande passante.

Le code ci-dessous présente les instructions qui permettent de calculer les indices de performance cité précédemment :

```

464 //Ptr<Ipv4FlowClassifier> classifier = DynamicCast<Ipv4FlowClassifier> (classifier->GetClassifier ());
465 monitor->CheckForLostPackets ();
466 Ptr<Ipv4FlowClassifier> classifier = DynamicCast<Ipv4FlowClassifier> (flowmon.GetClassifier ());
467 int a=0;
468 float AvgThroughput = 0;
469 Time Jitter;
470 Time Delay;
471 std::map<FlowId, FlowMonitor::FlowStats> stats = monitor->GetFlowStats ();
472 // std::map<FlowId, FlowMonitor::FlowStats> stats = flowmonHelper->GetFlowStats ();
473
474 for (std::map<FlowId, FlowMonitor::FlowStats>::const_iterator iter = stats.begin (); iter != stats.end (); ++iter)
475 {
476     Ipv4FlowClassifier::FiveTuple t = classifier->FindFlow (iter->first);
477
478     NS_LOG_UNCOND("----Flow ID:" <<iter->first);
479     NS_LOG_UNCOND("Src Addr" <<t.sourceAddress << "Dst Addr " << t.destinationAddress);
480     NS_LOG_UNCOND("Sent Packets=" <<iter->second.txPackets);
481     NS_LOG_UNCOND("Received Packets =" <<iter->second.rxPackets);
482     NS_LOG_UNCOND("Lost Packets =" <<iter->second.txPackets-iter->second.rxPackets);
483     NS_LOG_UNCOND("Packet delivery ratio =" <<iter->second.rxPackets*100/iter->second.txPackets << "%");
484     NS_LOG_UNCOND("Packet loss ratio =" << (iter->second.txPackets-iter->second.rxPackets)*100/iter->second.txPackets << "%");
485     NS_LOG_UNCOND("Delay =" <<iter->second.delaySum);
486     NS_LOG_UNCOND("Jitter =" <<iter->second.jitterSum);
487     NS_LOG_UNCOND("Throughput =" <<iter->second.rxBytes * 8.0/(iter->second.timeLastRxPacket.GetSeconds()-iter->second.timeFirstTxPacket.GetSeconds())/1024<<"Kbps");
488
489     SentPackets = SentPackets +(iter->second.txPackets);
490     ReceivedPackets = ReceivedPackets + (iter->second.rxPackets);
491     LostPackets = LostPackets + (iter->second.txPackets-iter->second.rxPackets);
492     AvgThroughput = AvgThroughput + (iter->second.rxBytes * 8.0/(iter->second.timeLastRxPacket.GetSeconds()-iter->second.timeFirstTxPacket.GetSeconds())/1024);
493     Delay = Delay + (iter->second.delaySum);
494     Jitter = Jitter + (iter->second.jitterSum);
495     a = a + 1;
496 }
497 }
100

```

3.10.1 LA DISCUSSION DE RESULTAT :

Nous présenterons en détail les résultats de notre étude, en mettant en évidence les tendances et les observations clés. Nous discuterons également des implications de ces résultats et des recommandations pour améliorer la performance du réseau 4G LTE-EPC.

3.10.1.1 L'INFLUENCE DE L'AUGMENTATION DE LA BANDE PASSANTE (BANDWIDTH) :

➤ DEBIT MOYEN :

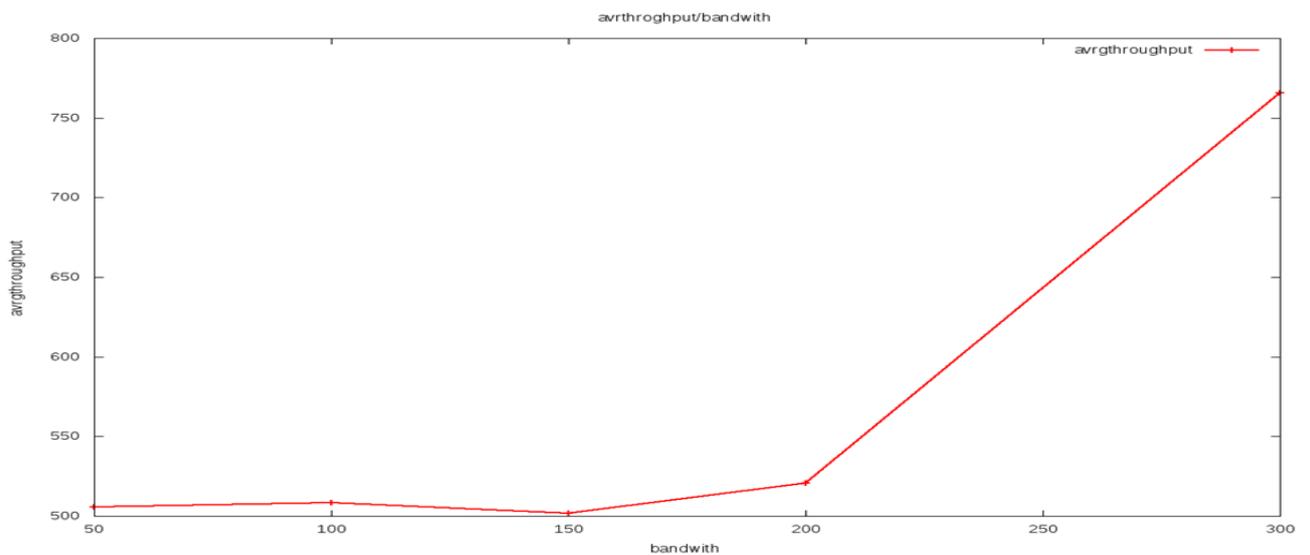


Figure 3.4 Variation du débit moyen en fonction de la bande passante

Ce graphe représente la relation entre l'average throughput (débit moyen) et l'augmentation de la bande passante dans notre scenario.

Le graphe montre une tendance ascendante, ce qui signifie que l'average throughput augmente à mesure que la bande passante augmente. Cela indique que plus la bande passante est élevée, plus le réseau est capable de fournir un débit moyen élevé aux utilisateurs. Cela leur permet de bénéficier de débits plus rapides et une meilleure expérience de connectivité.

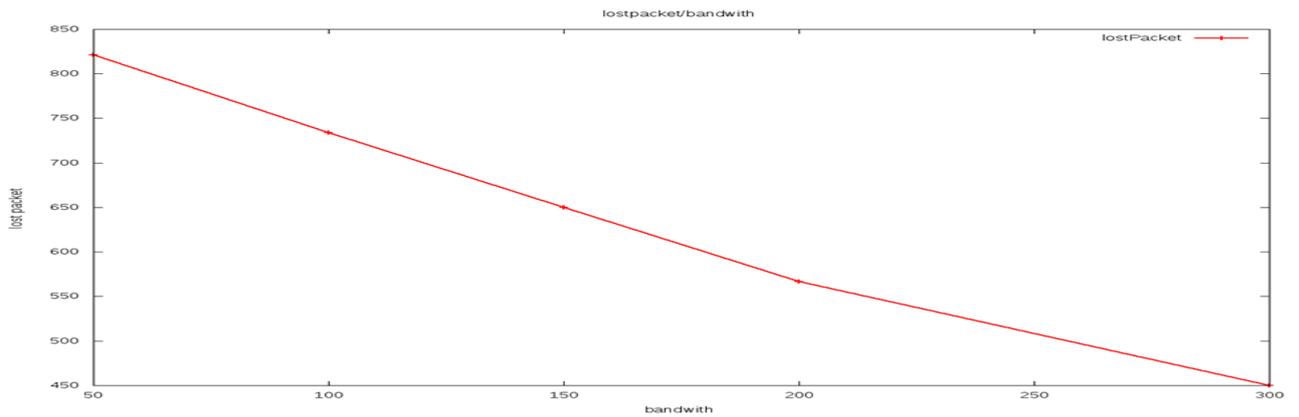
➤ TAUX DE PERTE DE PAQUET :

Figure 3.5 Variation du taux de perte de paquet en fonction de la bande passante

Dans le graphe "Loss Packets" en fonction de l'augmentation de la bande passante, on observe que lorsque la bande passante augmente, le taux de pertes de paquets diminue. Plus précisément, on remarque que le taux de pertes de paquets diminue de 840 à 450 lorsque la bande passante augmente.

Cela signifie que l'augmentation de la bande passante a un impact positif sur la fiabilité du réseau. Un taux de pertes de paquets plus faible indique une meilleure qualité de transmission des données. Les pertes de paquets peuvent se produire en raison de problèmes de congestion du réseau, de problèmes de connectivité ou de limitations de la bande passante. En augmentant la bande passante, on augmente la capacité du réseau à traiter un plus grand nombre de paquets, réduisant ainsi les pertes de paquets.

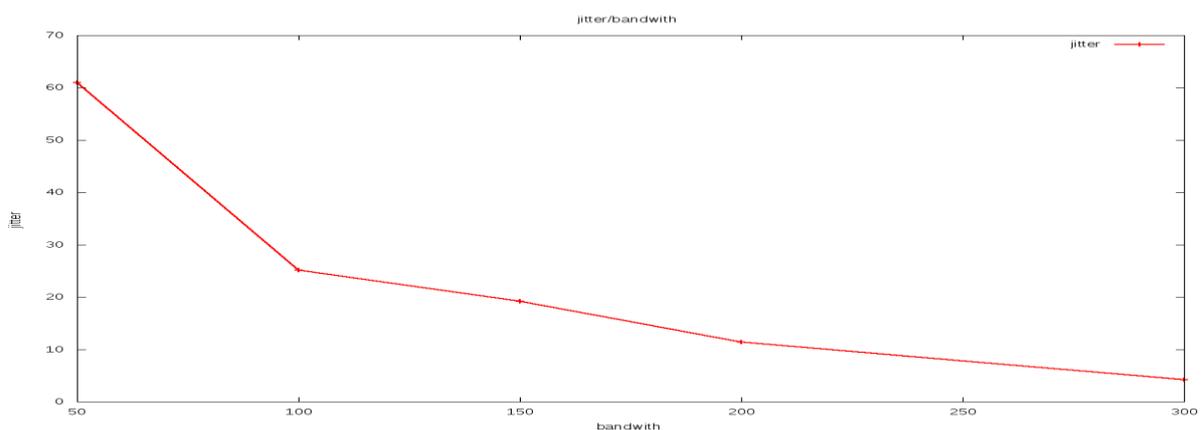
➤ LA GUIGE (JITTRE) :

Figure 3.6 Variation du la Guige en fonction de la bande passante

Le jitter fait référence à la variation de la latence (ou délai) entre l'envoi et la réception des paquets de données. Un jitter élevé signifie que la latence varie considérablement, ce qui peut entraîner des retards dans la transmission des paquets et une qualité de service médiocre.

Lorsque le jitter diminue de 64 à environ 9 avec l'augmentation de la bande passante, cela indique une amélioration de la stabilité de la transmission des paquets. Un jitter plus faible signifie que la latence entre l'envoi et la réception des paquets est plus stable et prévisible, ce qui contribue à une meilleure qualité de service.

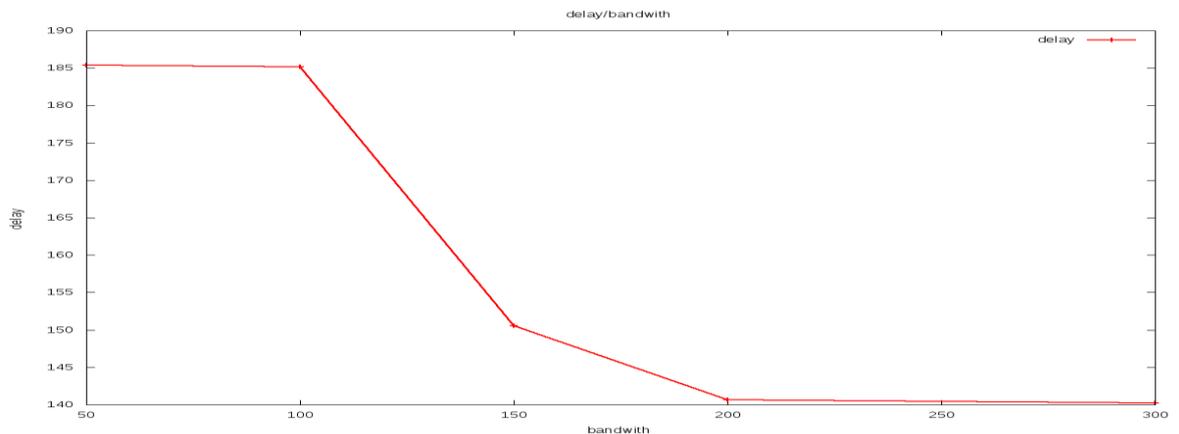
➤ LE DELAI :

Figure 3.7 Variation du délai en fonction de la bande passante.

D'après ce graphe on remarque que le délai diminue de 186 à 140 lorsque la bande passante augmente. Cela indique une réduction du temps de transmission et de propagation des paquets de données.

Un délai plus court est bénéfique car il permet une communication plus rapide et réactive entre les différents nœuds du réseau. Cela peut se traduire par une meilleure qualité de service pour les utilisateurs, notamment des temps de réponse plus courts pour les applications en temps réel, une expérience utilisateur améliorée et des délais de transfert de données réduits.

3.10.2 L'INFLUENCE DE L'AUGMENTATION DE NOMBRES D'UTILISATEURS :

Dans cette section nous allons explorer l'influence de cette augmentation sur différents aspects du réseau, tels que le débit, le taux de perte de paquets, le délai et la qualité globale du service.

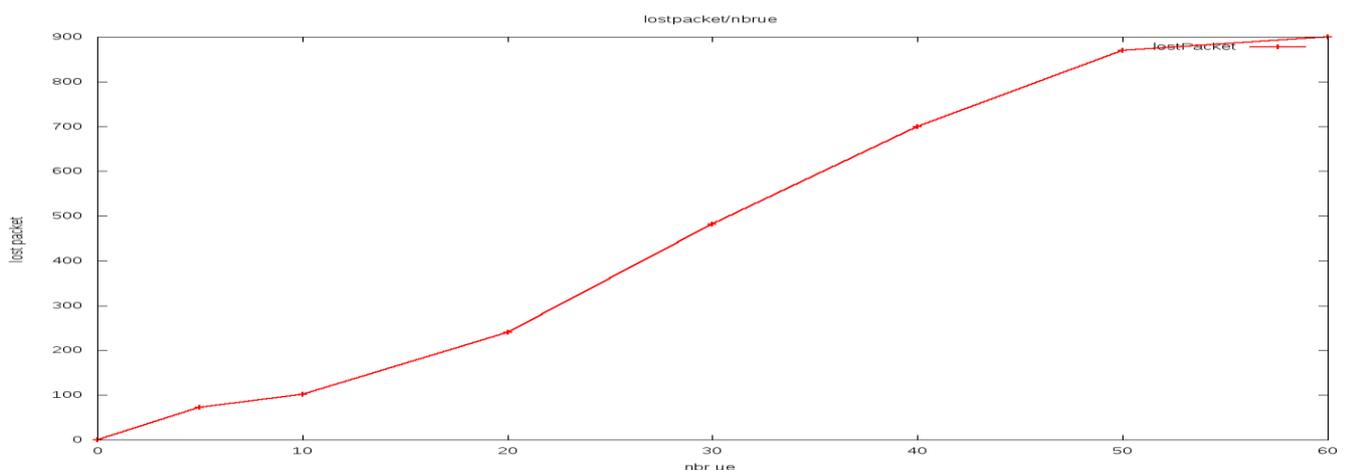
➤ TAUX DE PERTE DE PAQUETS :

Figure 3.8 Variation de taux de perte de paquets en fonction du nombre utilisateur.

Lorsque le nombre d'utilisateurs augmente, la demande en termes de capacité du réseau augmente également. Cela peut entraîner une saturation des ressources et une congestion du réseau, ce qui peut augmenter le taux de perte de paquets. Plus il y a d'utilisateurs actifs dans le réseau, plus il y a de chances de congestion et de pertes de paquets. Par conséquent, on peut s'attendre à une augmentation du taux de perte de paquets à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente.

➤ **LE DEBIT MOYEN :**

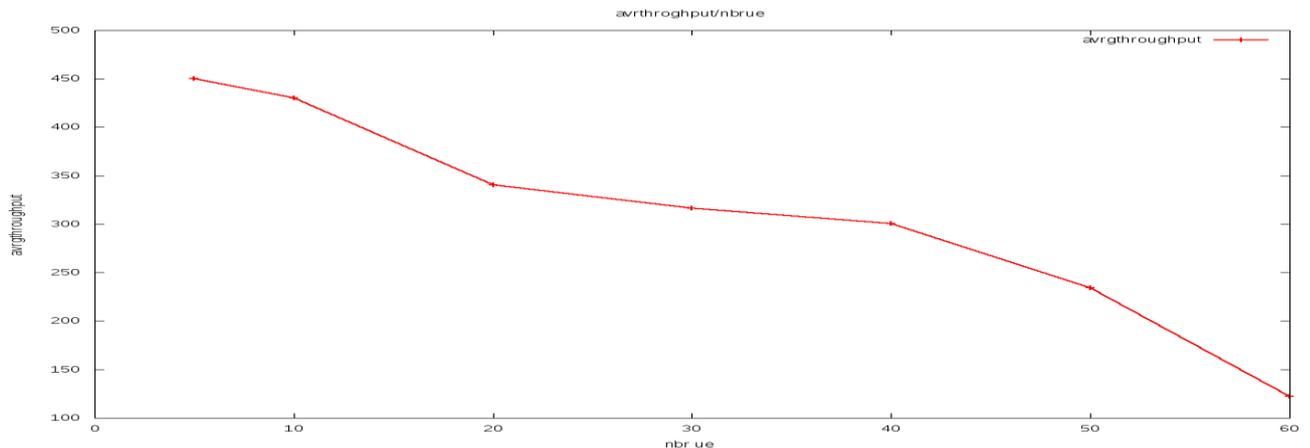


Figure 3.9 Variation de débit moyen en fonction de nombre d'utilisateur.

Le débit moyen par utilisateur peut diminuer à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. Avec une capacité de réseau fixe, l'augmentation du nombre d'utilisateurs signifie que chaque utilisateur a moins de bande passante disponible pour ses communications. Cela peut entraîner une diminution du débit moyen par utilisateur, car les ressources du réseau sont partagées entre un plus grand nombre d'utilisateurs.

➤ **LE DELAI :**

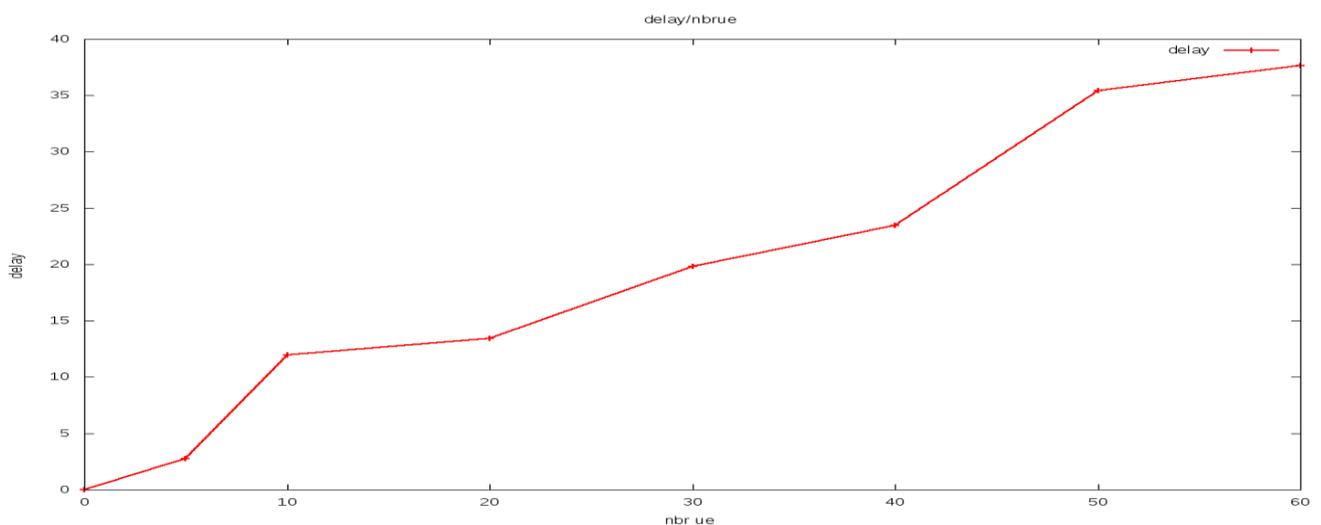


Figure 3.10 Variation de délai en fonction de nombre utilisateur.

L'augmentation du nombre d'utilisateurs peut entraîner aussi une augmentation du délai de transmission. Lorsque le réseau est congestionné en raison d'une charge élevée, les paquets peuvent subir des retards supplémentaires avant d'être transmis et reçus par les utilisateurs. Cela peut entraîner une augmentation du délai de transmission, ce qui peut avoir un impact sur les applications en temps réel qui nécessitent une latence minimale.

➤ LA GUIGE :

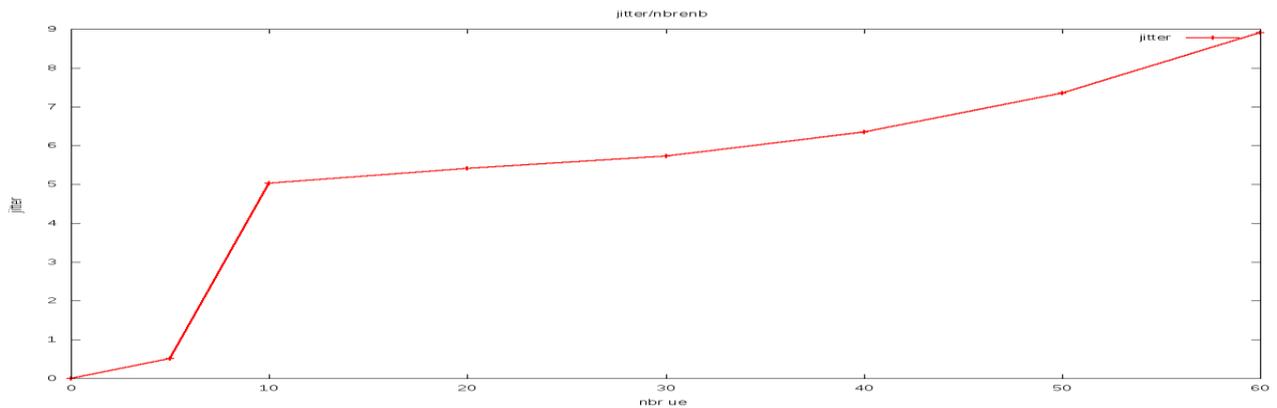


Figure 3.11 Variation de la Guige en fonction de nombre utilisateur.

Le jitter, peut également être influencé par l'augmentation du nombre d'utilisateurs. Une augmentation du nombre d'utilisateurs peut entraîner une congestion accrue et une saturation des ressources, ce qui peut provoquer des variations plus importantes dans les délais de transmission des paquets. Et cela peut se traduire par une augmentation du jitter, ce qui peut être préjudiciable aux applications sensibles à la latence et nécessitant une transmission régulière des données.

3.10.3 L'INFLUENCE DE LA DISTANCE :

➤ LE DEBIT MOYEN :

La distance entre les eNodeB et les utilisateurs peut également affecter le débit moyen. À mesure que la distance augmente, l'affaiblissement du signal peut entraîner une diminution de la qualité du signal reçu par les utilisateurs. Cela peut se traduire par une réduction du débit disponible pour chaque utilisateur, ce qui entraîne un débit moyen inférieur dans l'ensemble du réseau.

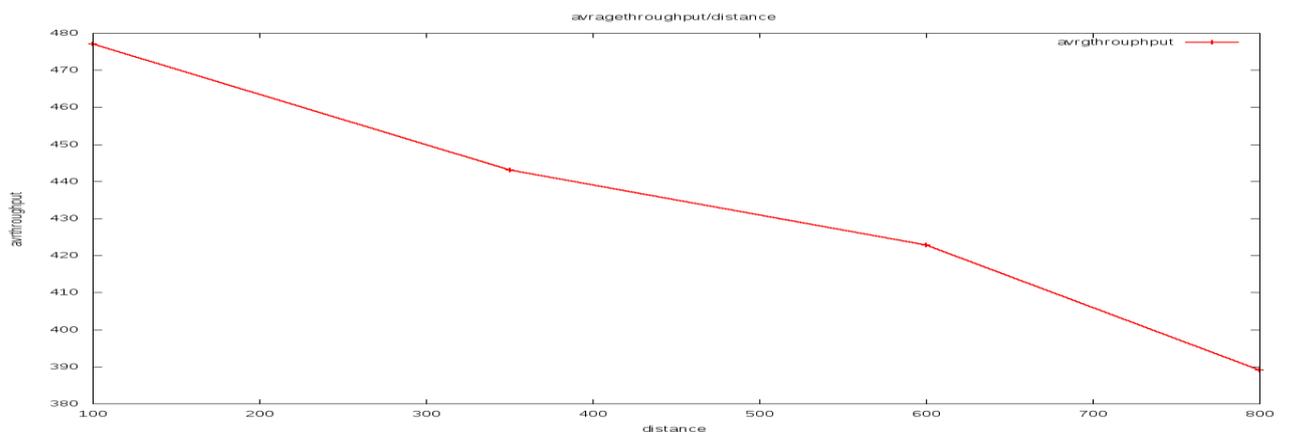


Figure 3.12 Variation de débit moyen en fonction de distance.

➤ **TAUX PERTE DE PAQUET :**

Le graphe montrera une tendance croissante du taux de pertes des paquets à mesure que la distance entre les enodeB et les utilisateurs augmente. Cela signifie que plus la distance est grande, plus le taux de pertes des paquets est élevé.

L'influence de ce facteur sur les performances du réseau LTE peut être significative. Une distance plus grande entre les enodeB et les utilisateurs peut entraîner une diminution de la qualité du signal et une augmentation de l'atténuation du signal. Cela peut entraîner une détérioration de la connectivité et une augmentation des pertes de paquets.

Les pertes de paquets peuvent avoir un impact négatif sur les performances du réseau LTE, car elles peuvent entraîner une diminution du débit de données, une augmentation de la latence et une dégradation de la qualité de service. Cela peut affecter la fiabilité des applications et des services utilisant le réseau LTE, tels que la transmission de données en temps réel, la voix sur IP (VoIP) ou la diffusion de vidéos.

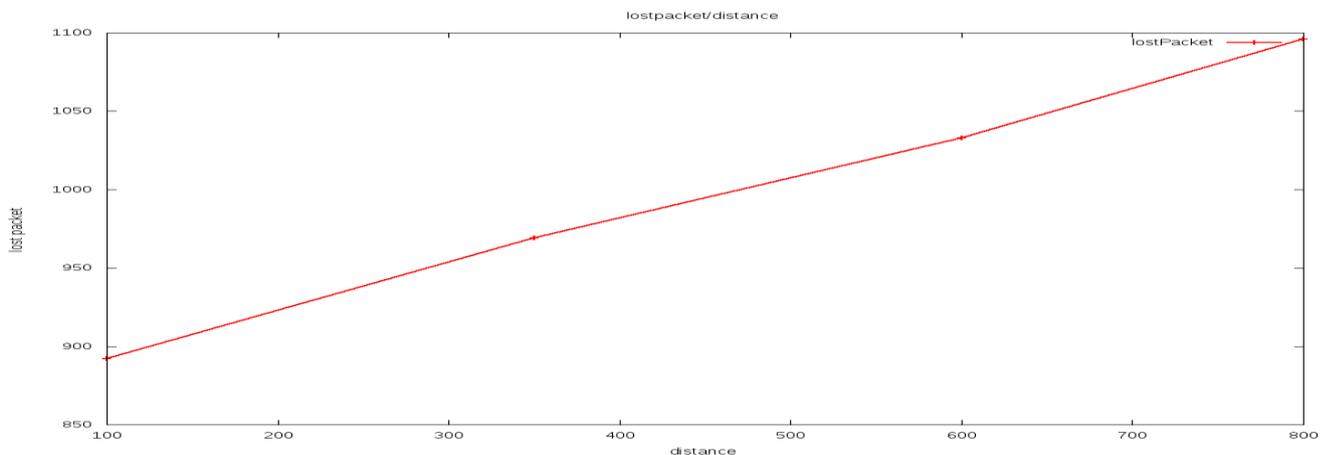


Figure 3.13 Variation de taux de perte de paquet en fonction de distance.

➤ **LE GUIGE :**

Le graphe montrera une tendance croissante de la gigue à mesure que la distance entre les enodeB et les UE augmente. Cela signifie que plus la distance est grande, plus la variation de la latence des paquets sera importante.

L'augmentation de la gigue peut avoir un impact négatif sur les performances du réseau LTE. Une gigue élevée peut entraîner des retards et des variations dans la livraison des paquets, ce qui peut affecter la qualité de service perçue par les utilisateurs. Par exemple, dans des applications en temps réel telles que la voix sur IP (VoIP) ou la vidéo en streaming.

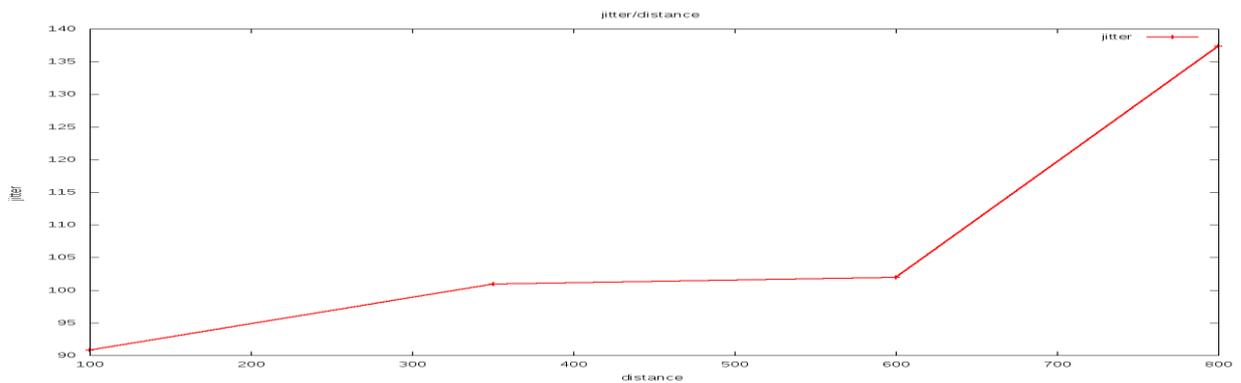


Figure 3.14 Variation de la Guige en fonction de la distance.

➤ LE DELAI :

De manière similaire au jitter, la distance entre les enodeb et les utilisateurs peut entraîner une augmentation du délai de transmission. Les signaux doivent parcourir une distance supplémentaire, ce qui peut entraîner des délais supplémentaires dans la transmission des paquets. Cela peut être particulièrement problématique pour les applications en temps réel qui nécessitent une latence minimale.

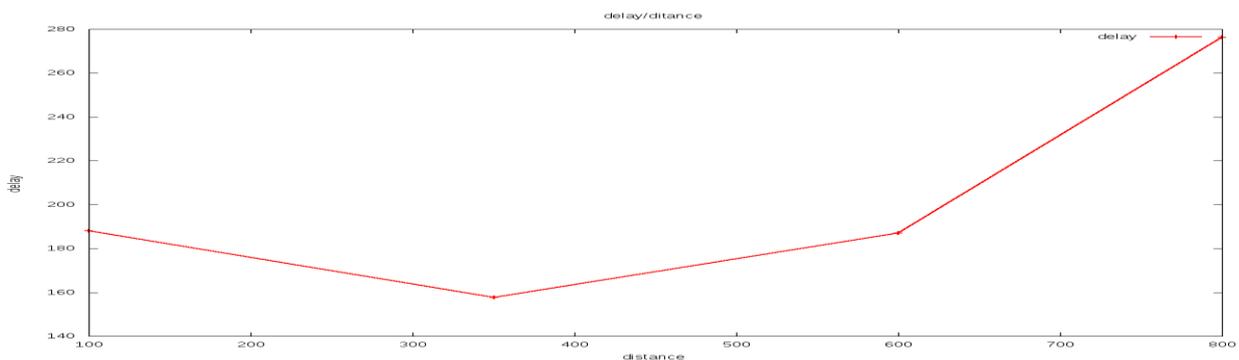


Figure 3.15 Variation de délai en fonction de distance

En conclusion, nous avons étudié l'influence de plusieurs facteurs sur les performances d'un réseau LTE EPC avec 10 utilisateurs et 3 enodeb. Voici les principales conclusions :

1. **La distance entre l'utilisateur et l'enodeb :** Nous avons constaté que l'augmentation de la distance entre l'utilisateur et l'enodeb a un impact sur les paramètres évalués. Une distance plus grande peut entraîner une augmentation du taux de perte de paquets, une diminution du débit moyen, une augmentation du jitter et un délai de transmission plus long. Pour améliorer ces performances, il est recommandé de minimiser la distance entre les utilisateurs et les enodeb en les déployant stratégiquement.
2. **L'augmentation de la bande passante :** Nous avons observé que l'augmentation de la bande passante peut avoir un effet positif sur les performances du réseau. Un débit plus élevé permet de réduire le taux de perte de paquets, d'améliorer le débit moyen et de réduire le délai de transmission. Pour obtenir de meilleures performances, il est recommandé d'opter pour une bande passante adéquate, qui se situe généralement entre 100 et 300 Mb/s pour un réseau LTE EPC pour satisfaire les besoins des utilisateurs.
3. **Augmentation du nombre d'utilisateurs :** L'augmentation du nombre d'utilisateurs dans le réseau peut entraîner une augmentation du taux de perte de paquets, une diminution du débit

moyen, une augmentation du jitter et un délai de transmission plus long. Pour améliorer les performances dans ce cas, il est important de dimensionner le réseau en conséquence, en augmentant la capacité des enodeb et en optimisant l'allocation des ressources pour répondre à la demande croissante des utilisateurs.

En résumé, notre étude met en évidence l'importance de différents paramètres tels que le nombre d'utilisateurs, la distance entre les utilisateurs et les enodeb, et l'augmentation de la bande passante sur les performances d'un réseau LTE-EPC.

Pour améliorer ces performances, il est recommandé de gérer efficacement les ressources du réseau, d'optimiser la répartition des utilisateurs et d'augmenter la bande passante lorsque cela est nécessaire. Cela permettra d'offrir une meilleure qualité de service, une expérience utilisateur améliorée et une connectivité plus fiable dans un environnement 4G LTE-EP.

3.10.4 CONCLUSION :

En conclusion, ce chapitre a fourni les outils et les connaissances nécessaires pour évaluer les performances d'un réseau LTE EPC et prendre des mesures pour améliorer sa qualité. En comprenant les calculs des paramètres et en interprétant les résultats, il est possible d'optimiser les performances du réseau et d'offrir une expérience utilisateur satisfaisante. Il est important de noter que l'amélioration des performances du réseau est un processus continu qui nécessite une surveillance constante et des ajustements réguliers pour s'adapter aux besoins changeants des utilisateurs et aux évolutions technologiques.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE :

En conclusion, ce projet de fin d'études s'est concentré sur l'évaluation des performances des réseaux mobiles, plus particulièrement la technologie LTE 4G. Au cours de ce travail, nous avons abordé différentes facettes des réseaux mobiles, en commençant par les notions générales dans le premier chapitre.

Dans le deuxième chapitre, nous avons examiné de près les paramètres de performance spécifiques aux réseaux mobiles, en mettant l'accent sur la technologie LTE 4G. Nous avons exploré des indicateurs tels que le taux de pertes de paquets, les débits, le délai et le jitter, qui sont essentiels pour évaluer la qualité de service offerte par ces réseaux.

Dans le troisième chapitre, nous avons procédé au calcul des performances d'un réseau LTE EPC spécifique et à l'interprétation des résultats obtenus. Nous avons analysé le taux de pertes de paquets, les débits, le délai et le jitter pour évaluer l'efficacité et la fiabilité de ce réseau. Ces résultats nous ont permis de tirer des conclusions sur les performances du réseau et d'identifier d'éventuelles améliorations à apporter.

En menant cette étude approfondie sur l'évaluation des performances des réseaux mobiles LTE 4G, nous avons acquis une meilleure compréhension des facteurs qui influent sur la qualité de service offerte aux utilisateurs. Les résultats obtenus nous ont fourni des informations précieuses pour guider les décisions d'optimisation et d'amélioration des réseaux mobiles, contribuant ainsi à améliorer l'expérience des utilisateurs et à répondre à leurs besoins croissants en termes de connectivité et de performances.

En conclusion, ce projet a permis d'approfondir nos connaissances sur l'évaluation des performances des réseaux mobiles, en se concentrant sur la technologie LTE 4G. Il constitue une étape importante dans notre parcours académique, nous permettant d'appréhender les enjeux et les défis liés à ces réseaux en constante évolution. Nous espérons que les résultats obtenus contribueront à l'avancement de la recherche et du développement dans le domaine des réseaux mobiles, en offrant des perspectives prometteuses pour l'avenir de la connectivité sans fil.

Annexe

INSTALLATION DU SIMULATEUR NS3 :

La procédure d'installation de NS-3 comprend trois étapes : le téléchargement, la compilation et la validation, et peut être effectuée sur la plupart des systèmes d'exploitation, tels que Linux, Mac OS ou Windows.

Pour utiliser NS-3, l'utilisateur doit créer un script définissant la topologie de la simulation, les nœuds, le canal, les interfaces réseau, la configuration des protocoles et des applications, ainsi que les attributs choisis. Une fois le script terminé, il peut être exécuté et les résultats de la simulation analysés.

En effet, pour installer NS-3, il est nécessaire d'avoir une interface Linux. Il est possible d'installer Linux directement sur la machine ou d'utiliser une machine virtuelle comme VirtualBox ou VMware. Une option courante est d'utiliser Ubuntu comme interface Linux. Les étapes suivantes sont des commandes pour télécharger et installer les différents paquets utilisés dans Ubuntu.

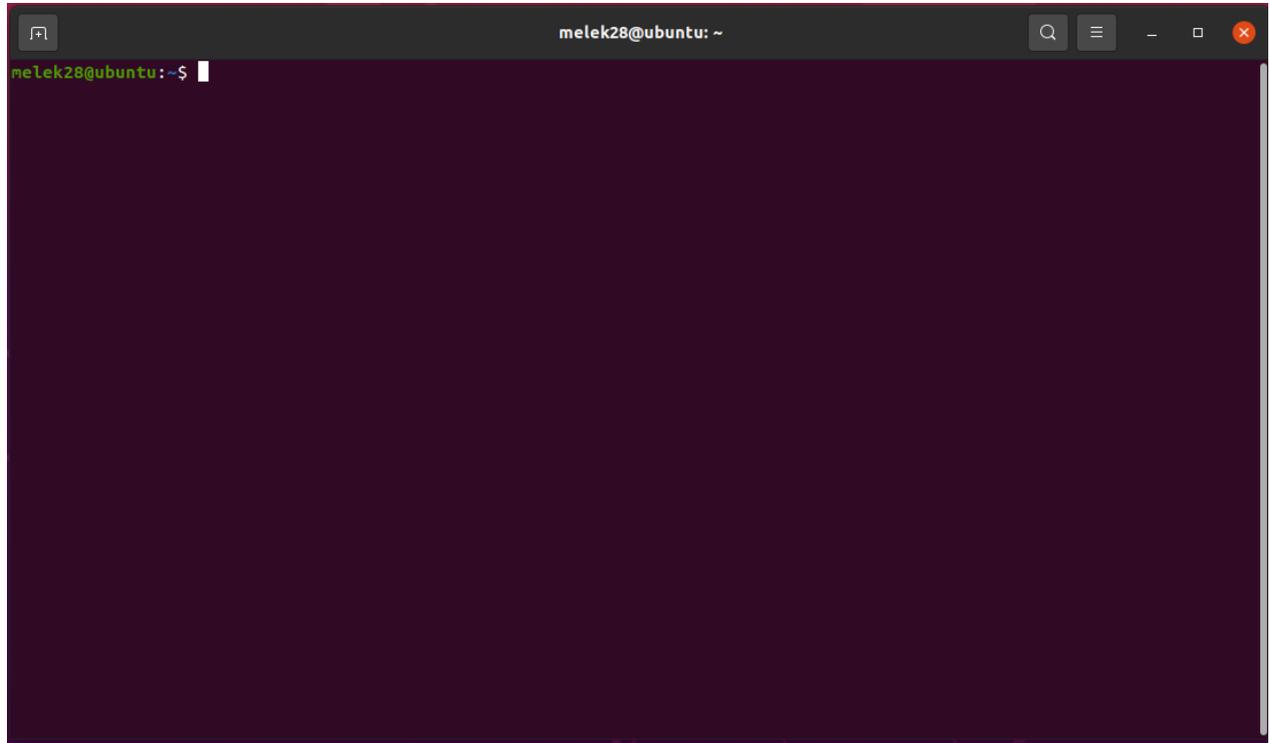
Voici une liste de packages à télécharger pour l'installation de NS-3 sur Ubuntu 20.04 :

- Build-essential: un méta-package qui inclut les paquets de base nécessaires pour la compilation des programmes.
- Python3-dev: contient les fichiers header pour la compilation des extensions Python.
- Python3-setuptools: un package qui fournit des outils pour la distribution et l'installation de packages Python.
- git: un système de contrôle de version distribué.
- gcc: le compilateur C.
- g++: le compilateur C++.
- Libgtk2.0-dev: les fichiers header pour la bibliothèque de GUI GTK+.
- Libboost-all-dev: une bibliothèque C++ qui fournit des fonctionnalités pour la programmation générique.
- Libopenmpi-dev: une bibliothèque pour la communication en parallèle.
- Libpcap-dev: une bibliothèque pour la capture de paquets en temps réel.
- Python3-click: une bibliothèque pour créer des interfaces de ligne de commande.
- Python3-pygraphviz: une bibliothèque pour la visualisation de graphes.
- Python3-gi: une bibliothèque pour l'interaction avec les bibliothèques GObject.
- python3-gi-cairo: une bibliothèque pour l'interaction avec la bibliothèque Cairo.
- Python3-pygoocanvas: une bibliothèque pour la visualisation de graphes.
- Python3-tk: une bibliothèque pour l'interface graphique Tkinter.
- Qt5-default: une bibliothèque pour l'interface graphique Qt.

LES ETAPES D'INSTALLATION :

- 1. ON DOIT ASSURER QUE NOUS SOMMES SUR LE REPERTOIRE PERSONNEL**

cd ~



- 2. PUIS EN METTRE A JOUR LE REFERENTIEL UBUNTU ET LES APPLICATIONS EXISTANTES**

sudo apt update

sudo apt -y upgrade

Annexe

```
melek28@ubuntu: ~  
melek28@ubuntu:~$ sudo apt update  
[sudo] password for melek28:  
Sorry, try again.  
[sudo] password for melek28:  
Sorry, try again.  
[sudo] password for melek28:  
Get:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease [114 kB]  
Hit:2 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease  
Get:3 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease [114 kB]  
Get:4 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/main amd64 DEP-11 Metadata [59.7 kB]  
Get:5 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/main amd64 c-n-f Metadata [12.8 kB]  
Get:6 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe amd64 DEP-11 Metadata [95.6 kB]  
Get:7 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports InRelease [108 kB]  
Get:8 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe amd64 c-n-f Metadata [17.7 kB]  
Get:9 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/multiverse amd64 DEP-11 Metadata [940 B]  
Get:10 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main amd64 Packages [2,545 kB]  
Get:11 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main Translation-en [430 kB]  
Get:12 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main amd64 DEP-11 Metadata [274 kB]  
Get:13 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main amd64 c-n-f Metadata [16.5 kB]  
Get:14 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe amd64 DEP-11 Metadata [409 kB]  
Get:15 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe amd64 c-n-f Metadata [24.3 kB]  
Get:16 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/multiverse amd64 DEP-11 Metadata [944 B]  
Get:17 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports/main amd64 DEP-11 Metadata [7,976 B]  
Get:18 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports/universe amd64 DEP-11 Metadata [30.5 kB]  
Fetched 4,262 kB in 4s (949 kB/s)  
Reading package lists... Done  
Building dependency tree  
Reading state information... Done  
7 packages can be upgraded. Run 'apt list --upgradable' to see them.  
melek28@ubuntu:~$
```

```
melek28@ubuntu: ~  
Get:15 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe amd64 c-n-f Metadata [24.3 kB]  
Get:16 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/multiverse amd64 DEP-11 Metadata [944 B]  
Get:17 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports/main amd64 DEP-11 Metadata [7,976 B]  
Get:18 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports/universe amd64 DEP-11 Metadata [30.5 kB]  
Fetched 4,262 kB in 4s (949 kB/s)  
Reading package lists... Done  
Building dependency tree  
Reading state information... Done  
7 packages can be upgraded. Run 'apt list --upgradable' to see them.  
melek28@ubuntu:~$ sudo apt -y upgrade  
Reading package lists... Done  
Building dependency tree  
Reading state information... Done  
Calculating upgrade... Done  
Get more security updates through Ubuntu Pro with 'esm-apps' enabled:  
  libmagickcore-6.q16-6-extra ipython3 imagemagick python2.7-minimal  
  libmagickwand-6.q16-6 libcgraph6 python2.7 python3-ipython liblab-gamut1  
  imagemagick-6.q16 libcdt5 libpathplan4 libgvpr2 libopenexr24  
  libmagickcore-6.q16-6 libpython2.7-minimal libgvc6 libpython2.7-stdlib  
  graphviz imagemagick-6-common  
Learn more about Ubuntu Pro at https://ubuntu.com/pro  
The following NEW packages will be installed:  
  linux-headers-5.15.0-72-generic linux-hwe-5.15-headers-5.15.0-72 linux-image-5.15.0-72-generic  
  linux-modules-5.15.0-72-generic linux-modules-extra-5.15.0-72-generic  
The following packages will be upgraded:  
  firefox firefox-locale-en libmysqlclient21 linux-firmware linux-generic-hwe-20.04 linux-headers-generic-hwe-20.04  
  linux-image-generic-hwe-20.04  
7 upgraded, 5 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.  
3 standard LTS security updates  
Need to get 241 MB/304 MB of archives.  
After this operation, 599 MB of additional disk space will be used.  
Get:1 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main amd64 linux-firmware all 1.187.39 [136 MB]  
25% [1 linux-firmware 13.7 MB/136 MB 10%] 1,046 kB/s 3min 37s
```

```
melek28@ubuntu: ~
I: /boot/vmlinuz.old is now a symlink to vmlinuz-5.15.0-71-generic
I: /boot/initrd.img.old is now a symlink to initrd.img-5.15.0-71-generic
I: /boot/vmlinuz is now a symlink to vmlinuz-5.15.0-72-generic
I: /boot/initrd.img is now a symlink to initrd.img-5.15.0-72-generic
Setting up linux-modules-5.15.0-72-generic (5.15.0-72.79~20.04.1) ...
Setting up linux-modules-extra-5.15.0-72-generic (5.15.0-72.79~20.04.1) ...
Setting up linux-image-generic-hwe-20.04 (5.15.0.72.79~20.04.33) ...
Setting up linux-generic-hwe-20.04 (5.15.0.72.79~20.04.33) ...
Processing triggers for desktop-file-utils (0.24-1ubuntu3) ...
Processing triggers for mime-support (3.64ubuntu1) ...
Processing triggers for hicolor-icon-theme (0.17-2) ...
Processing triggers for gnome-menus (3.36.0-1ubuntu1) ...
Processing triggers for libc-bin (2.31-0ubuntu9.9) ...
Processing triggers for man-db (2.9.1-1) ...
Processing triggers for linux-image-5.15.0-72-generic (5.15.0-72.79~20.04.1) ...
/etc/kernel/postinst.d/initramfs-tools:
update-initramfs: Generating /boot/initrd.img-5.15.0-72-generic
/etc/kernel/postinst.d/zz-update-grub:
Sourcing file `/etc/default/grub'
Sourcing file `/etc/default/grub.d/init-select.cfg'
Generating grub configuration file ...
Found linux image: /boot/vmlinuz-5.15.0-72-generic
Found initrd image: /boot/initrd.img-5.15.0-72-generic
Found linux image: /boot/vmlinuz-5.15.0-71-generic
Found initrd image: /boot/initrd.img-5.15.0-71-generic
Found linux image: /boot/vmlinuz-5.15.0-67-generic
Found initrd image: /boot/initrd.img-5.15.0-67-generic
Found memtest86+ image: /boot/memtest86+.elf
Found memtest86+ image: /boot/memtest86+.bin
done
melek28@ubuntu:~$
```

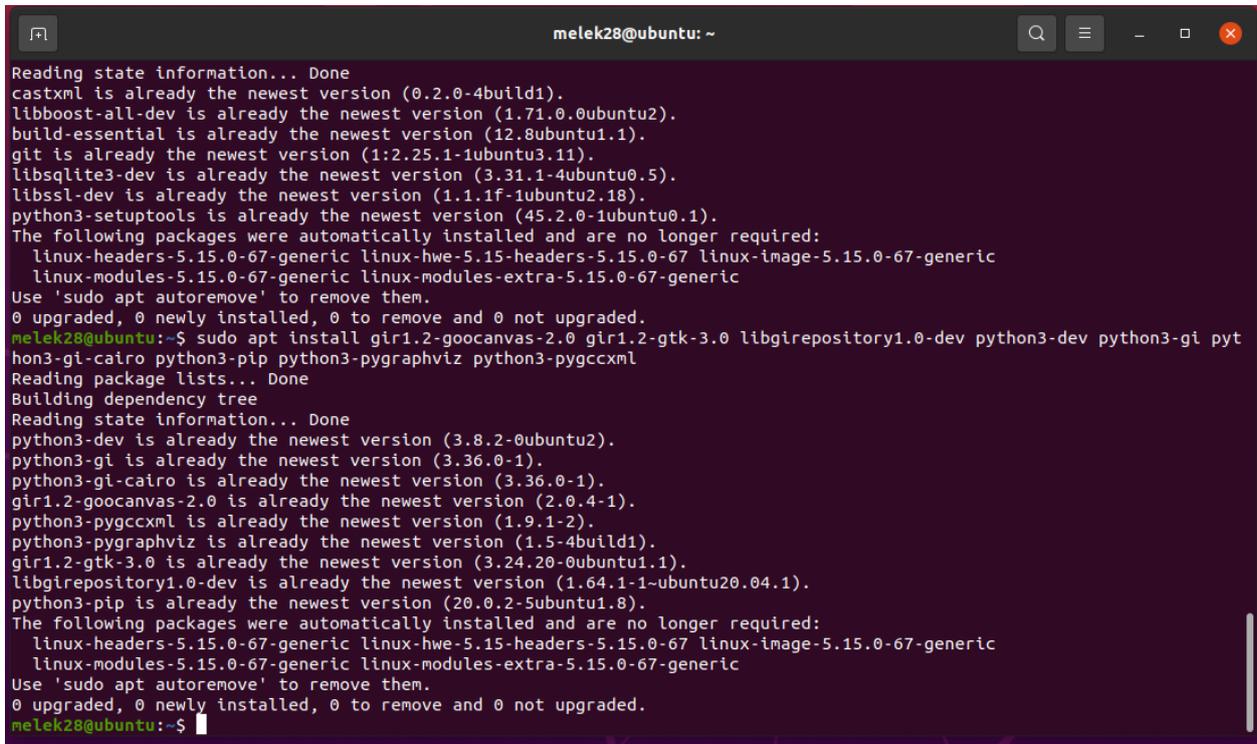
3. PUIS, ON INSTALLE LES DEPENDANCES PRINCIPALES POUR LA CONSTRUCTION ET LA COMPILATION :

sudo apt install build-essential libsqlite3-dev libboost-all-dev libssl-dev git python3-setuptools castxml

```
melek28@ubuntu: ~
/etc/kernel/postinst.d/initramfs-tools:
update-initramfs: Generating /boot/initrd.img-5.15.0-72-generic
/etc/kernel/postinst.d/zz-update-grub:
Sourcing file `/etc/default/grub'
Sourcing file `/etc/default/grub.d/init-select.cfg'
Generating grub configuration file ...
Found linux image: /boot/vmlinuz-5.15.0-72-generic
Found initrd image: /boot/initrd.img-5.15.0-72-generic
Found linux image: /boot/vmlinuz-5.15.0-71-generic
Found initrd image: /boot/initrd.img-5.15.0-71-generic
Found linux image: /boot/vmlinuz-5.15.0-67-generic
Found initrd image: /boot/initrd.img-5.15.0-67-generic
Found memtest86+ image: /boot/memtest86+.elf
Found memtest86+ image: /boot/memtest86+.bin
done
melek28@ubuntu:~$ sudo apt install build-essential libsqlite3-dev libboost-all-dev libssl-dev git python3-setuptools castxml
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
castxml is already the newest version (0.2.0-4build1).
libboost-all-dev is already the newest version (1.71.0.0ubuntu2).
build-essential is already the newest version (12.8ubuntu1.1).
git is already the newest version (1:2.25.1-1ubuntu3.11).
libsqlite3-dev is already the newest version (3.31.1-4ubuntu0.5).
libssl-dev is already the newest version (1.1.1f-1ubuntu2.18).
python3-setuptools is already the newest version (45.2.0-1ubuntu0.1).
The following packages were automatically installed and are no longer required:
 linux-headers-5.15.0-67-generic linux-hwe-5.15-headers-5.15.0-67 linux-image-5.15.0-67-generic
 linux-modules-5.15.0-67-generic linux-modules-extra-5.15.0-67-generic
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
melek28@ubuntu:~$
```

4. APRES ON INSTALLE LES DEPENDANCES POUR LES LIAISONS PYTHON NS-3

```
sudo apt install gir1.2-goocanvas-2.0 gir1.2-gtk-3.0 libgirepository1.0-dev python3-dev
python3-gi python3-gi-cairo python3-pip python3-pygraphviz python3-pygccxml
```



```
melek28@ubuntu: ~
Reading state information... Done
castxml is already the newest version (0.2.0-4build1).
libboost-all-dev is already the newest version (1.71.0.0ubuntu2).
build-essential is already the newest version (12.8ubuntu1.1).
git is already the newest version (1:2.25.1-1ubuntu3.11).
libsqlite3-dev is already the newest version (3.31.1-4ubuntu0.5).
libssl-dev is already the newest version (1.1.1f-1ubuntu2.18).
python3-setuptools is already the newest version (45.2.0-1ubuntu0.1).
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  linux-headers-5.15.0-67-generic linux-hwe-5.15-headers-5.15.0-67 linux-image-5.15.0-67-generic
  linux-modules-5.15.0-67-generic linux-modules-extra-5.15.0-67-generic
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
melek28@ubuntu:~$ sudo apt install gir1.2-goocanvas-2.0 gir1.2-gtk-3.0 libgirepository1.0-dev python3-dev python3-gi py
thon3-gi-cairo python3-pip python3-pygraphviz python3-pygccxml
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
python3-dev is already the newest version (3.8.2-0ubuntu2).
python3-gi is already the newest version (3.36.0-1).
python3-gi-cairo is already the newest version (3.36.0-1).
gir1.2-goocanvas-2.0 is already the newest version (2.0.4-1).
python3-pygccxml is already the newest version (1.9.1-2).
python3-pygraphviz is already the newest version (1.5-4build1).
gir1.2-gtk-3.0 is already the newest version (3.24.20-0ubuntu1.1).
libgirepository1.0-dev is already the newest version (1.64.1-1-ubuntu20.04.1).
python3-pip is already the newest version (20.0.2-5ubuntu1.8).
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  linux-headers-5.15.0-67-generic linux-hwe-5.15-headers-5.15.0-67 linux-image-5.15.0-67-generic
  linux-modules-5.15.0-67-generic linux-modules-extra-5.15.0-67-generic
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
melek28@ubuntu:~$
```

5. ON INSTALLE LES DEPENDANCES POUR NS-3 :

```
sudo apt install g++ pkg-config sqlite3 qt5-default mercurial ipython3 openmpi-bin openmpi-
common openmpi-doc libopenmpi-dev autoconf cvs bzip2 unrar gdb valgrind uncrustify doxygen
graphviz imagemagick python3-sphinx dia tcpdump libxml2 libxml2-dev cmake libc6-dev libc6-
dev-i386 libclang-6.0-dev llvm-6.0-dev automake
```

```
melek28@ubuntu: ~
python3-sphinx is already the newest version (1.8.5-7ubuntu3).
bzip2 is already the newest version (2.7.0+bzip2+bzip).
cvs is already the newest version (2:1.12.13+real-27build1).
dita is already the newest version (0.97.3+git20160930-9).
doxygen is already the newest version (1.8.17-0ubuntu2).
graphviz is already the newest version (2.42.2-3build2).
ipython3 is already the newest version (7.13.0-1).
libclang-6.0-dev is already the newest version (1:6.0.1-14).
libopenmpi-dev is already the newest version (4.0.3-0ubuntu1).
llvm-6.0-dev is already the newest version (1:6.0.1-14).
mercurial is already the newest version (5.3.1-1ubuntu1).
openmpi-bin is already the newest version (4.0.3-0ubuntu1).
openmpi-common is already the newest version (4.0.3-0ubuntu1).
openmpi-doc is already the newest version (4.0.3-0ubuntu1).
uncrustify is already the newest version (0.69.0+dfsg1-1build1).
unrar is already the newest version (1:5.6.6-2build1).
cmake is already the newest version (3.16.3-1ubuntu1.20.04.1).
gdb is already the newest version (9.2-0ubuntu1~20.04.1).
libc6-dev is already the newest version (2.31-0ubuntu9.9).
libc6-dev-i386 is already the newest version (2.31-0ubuntu9.9).
libxml2 is already the newest version (2.9.10+dfsg-5ubuntu0.20.04.6).
libxml2-dev is already the newest version (2.9.10+dfsg-5ubuntu0.20.04.6).
sqlite3 is already the newest version (3.31.1-4ubuntu0.5).
tcpdump is already the newest version (4.9.3-4ubuntu0.2).
valgrind is already the newest version (1:3.15.0-1ubuntu9.1).
imagemagick is already the newest version (8:6.9.10.23+dfsg-2.1ubuntu11.7).
qt5-default is already the newest version (5.12.8+dfsg-0ubuntu2.1).
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  linux-headers-5.15.0-67-generic linux-hwe-5.15-headers-5.15.0-67 linux-image-5.15.0-67-generic
  linux-modules-5.15.0-67-generic linux-modules-extra-5.15.0-67-generic
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
melek28@ubuntu:~$
```

6. ON INSTALLE DES PACKAGES PYTHON SUPPLEMENTAIRES

```
sudo su
cd
pip3 install kiwi
exit
cd
```

```
melek28@ubuntu: ~
openmpi-common is already the newest version (4.0.3-0ubuntu1).
openmpi-doc is already the newest version (4.0.3-0ubuntu1).
uncrustify is already the newest version (0.69.0+dfsg1-1build1).
unrar is already the newest version (1:5.6.6-2build1).
cmake is already the newest version (3.16.3-1ubuntu1.20.04.1).
gdb is already the newest version (9.2-0ubuntu1~20.04.1).
libc6-dev is already the newest version (2.31-0ubuntu9.9).
libc6-dev-i386 is already the newest version (2.31-0ubuntu9.9).
libxml2 is already the newest version (2.9.10+dfsg-5ubuntu0.20.04.6).
libxml2-dev is already the newest version (2.9.10+dfsg-5ubuntu0.20.04.6).
sqlite3 is already the newest version (3.31.1-4ubuntu0.5).
tcpdump is already the newest version (4.9.3-4ubuntu0.2).
valgrind is already the newest version (1:3.15.0-1ubuntu9.1).
imagemagick is already the newest version (8:6.9.10.23+dfsg-2.1ubuntu11.7).
qt5-default is already the newest version (5.12.8+dfsg-0ubuntu2.1).
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  linux-headers-5.15.0-67-generic linux-hwe-5.15-headers-5.15.0-67 linux-image-5.15.0-67-generic
  linux-modules-5.15.0-67-generic linux-modules-extra-5.15.0-67-generic
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
melek28@ubuntu:~$ sudo su
root@ubuntu:/home/melek28# cd
root@ubuntu:~# pip3 install kiwi
Requirement already satisfied: kiwi in /usr/local/lib/python3.8/dist-packages (9.24.60)
Requirement already satisfied: lxml in /usr/local/lib/python3.8/dist-packages (from kiwi) (4.9.2)
Requirement already satisfied: requests in /usr/lib/python3/dist-packages (from kiwi) (2.22.0)
Requirement already satisfied: PyYAML in /usr/lib/python3/dist-packages (from kiwi) (5.3.1)
Requirement already satisfied: pyxattr in /usr/local/lib/python3.8/dist-packages (from kiwi) (0.8.1)
Requirement already satisfied: simplejson in /usr/lib/python3/dist-packages (from kiwi) (3.16.0)
Requirement already satisfied: docopt<=0.6.2 in /usr/local/lib/python3.8/dist-packages (from kiwi) (0.6.2)
root@ubuntu:~# exit
melek28@ubuntu:~$ cd
```

7. ON TELECHARGE ET INSTALLE NS-3 ET NETANIM

7.1 Téléchargement depuis le serveur ns-3

```
wget -c https://www.nsnam.org/releases/ns-allinone-3.33.tar.bz2
```

7.2 Extrait tar.bz2

```
tar -xvjf ns-allinone-3.33.tar.bz2
```

7.3 Retour au dossier d'accueil

CD

7.4 Accède au répertoire ns-3 (pas le NS-3 tout en un)

```
cd ns-allinone-3.33/ns-3.33/
```

7.5 Configurer l'installation

```
./waf configure --enable-examples
```

7.6 Construire l'installation ns-3

```
./waf
```

7.7 Pour vérifier si l'installation a réussi

```
./waf --run hello-simulator
```

```
'configure' finished successfully (8.983s)
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/ns-3.33$ ./waf --run hello-simulator
Waf: Entering directory `/home/melek28/ns-allinone-3.33/ns-3.33/build'
Waf: Leaving directory `/home/melek28/ns-allinone-3.33/ns-3.33/build'
Build commands will be stored in build/compile_commands.json
'build' finished successfully (2.162s)
Hello Simulator
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/ns-3.33$
```

7.8 Accède au répertoire netanim.

```
cd ns-allinone-3.33/netanim-3.108/
```

7.9 Configure la construction

```
make clean
```

```
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/ns-3.33$ ./waf --run hello-simulator
Waf: Entering directory `/home/melek28/ns-allinone-3.33/ns-3.33/build'
Waf: Leaving directory `/home/melek28/ns-allinone-3.33/ns-3.33/build'
Build commands will be stored in build/compile_commands.json
'build' finished successfully (2.162s)
Hello Simulator
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/ns-3.33$ cd ..
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33$ cd ns-allinone-3.33/netanim-3.108/
bash: cd: ns-allinone-3.33/netanim-3.108/: No such file or directory
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33$ cd ..
melek28@ubuntu:~$ cd ns-allinone-3.33/netanim-3.108/
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/netanim-3.108$ make clean
rm -f qrc_resources.cpp qrc_qtpropertybrowser.cpp
rm -f moc_predefs.h
rm -f moc_animatorscene.cpp moc_animpacket.cpp moc_netanim.cpp moc_animatormode.cpp moc_statsmode.cpp moc_qtvariantprop
erty.cpp moc_qttreepropertybrowser.cpp moc_qtpropertymanager.cpp moc_qtpropertybrowserutils_p.cpp moc_qtpropertybrowser
.cpp moc_qtgroupboxpropertybrowser.cpp moc_qteditorfactory.cpp moc_qtbuttonpropertybrowser.cpp moc_animpropertybrowser.
cpp moc_filepathmanager.cpp moc_fileeditfactory.cpp moc_fileedit.cpp moc_packetsmode.cpp moc_table.cpp moc_qcustomplot.
cpp
rm -f qttreepropertybrowser.moc qtpropertymanager.moc qteditorfactory.moc
rm -f main.o log.o fatal-error.o fatal-impl.o logqt.o resizeableitem.o animnode.o animatorscene.o animpacket.o netanim.
o animatormode.o mode.o animxmlparser.o animatorview.o animlink.o animresource.o statsview.o statsmode.o routingxmlpars
er.o routingstatsscene.o interfacestatsscene.o flowmonxmlparser.o flowmonstatsscene.o textbubble.o qtvariantproperty.o
qttreepropertybrowser.o qtpropertymanager.o qtpropertybrowserutils.o qtpropertybrowser.o qtgroupboxpropertybrowser.o qt
editorfactory.o qtbuttonpropertybrowser.o animpropertybrowser.o filepathmanager.o fileeditfactory.o fileedit.o packetssm
ode.o packetsview.o packetsscene.o graphpacket.o table.o countertablesscene.o qcustomplot.o qrc_resources.o qrc_qtprope
rtybrowser.o moc_animatorscene.o moc_animpacket.o moc_netanim.o moc_animatormode.o moc_statsmode.o moc_qtpropertybrowse
rutils_p.o moc_animpropertybrowser.o moc_filepathmanager.o moc_fileeditfactory.o moc_fileedit.o moc_packetsmode.o moc_t
able.o moc_qcustomplot.o
rm -f *~ core *.core
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/netanim-3.108$
```

7.10 Compile le build

```
qmake NetAnim.pro
```

7.11 Construire l'installation de netanim

make

```

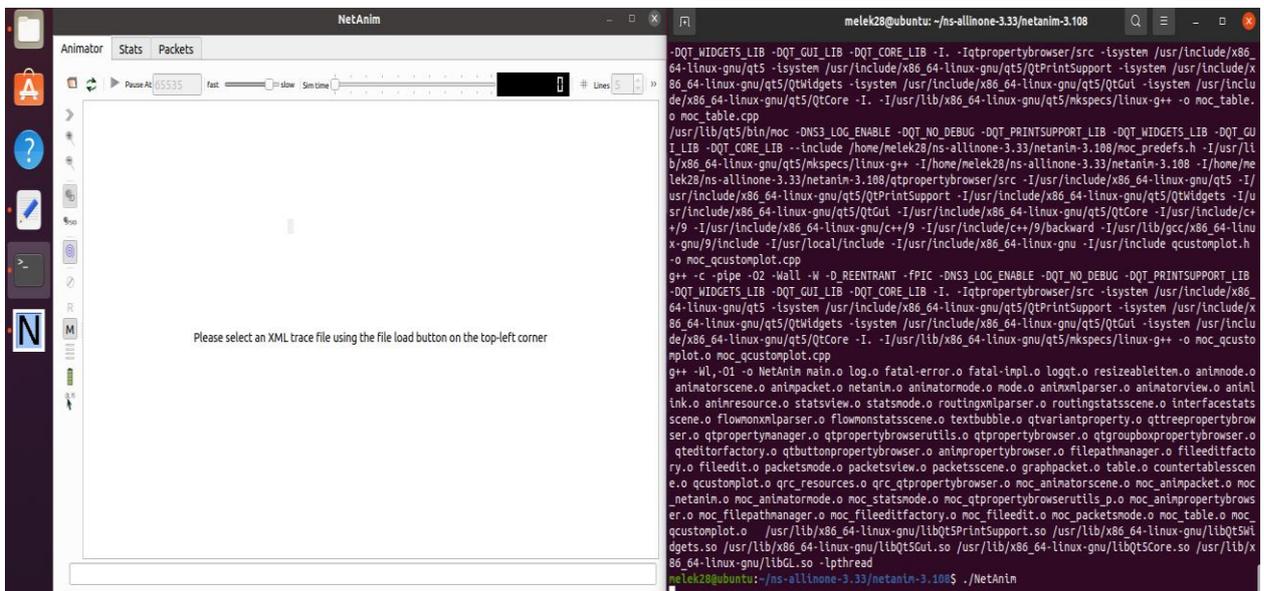
melek28@ubuntu: ~/ns-allinone-3.33/netanim-3.108
able.o moc_qcustomplot.o
rm -f *- core *.core
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/netanim-3.108$ qmake NetAnim.pro
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/netanim-3.108$ make
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o main.o main.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o log.o log.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o fatal-error.o fatal-error.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o fatal-impl.o fatal-impl.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o logqt.o logqt.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o resizeableitem.o resizeableitem.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o animmode.o animmode.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT

```

```
melek28@ubuntu: ~/ns-allinone-3.33/netanim-3.108
_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o moc_packetsmode.o moc_packetsmode.cpp
/usr/lib/qt5/bin/moc -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -include /home/melek28/ns-allinone-3.33/netanim-3.108/moc_predefs.h -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -I/home/melek28/ns-allinone-3.33/netanim-3.108 -I/home/melek28/ns-allinone-3.33/netanim-3.108/qtpropertybrowser/src -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I/usr/include/c++/9 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/c++/9 -I/usr/include/c++/9/backward -I/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/9/include -I/usr/local/include -I/usr/include/x86_64-linux-gnu -I/usr/include/table.h -o moc_table.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o moc_table.o moc_table.cpp
/usr/lib/qt5/bin/moc -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -include /home/melek28/ns-allinone-3.33/netanim-3.108/moc_predefs.h -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -I/home/melek28/ns-allinone-3.33/netanim-3.108 -I/home/melek28/ns-allinone-3.33/netanim-3.108/qtpropertybrowser/src -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I/usr/include/c++/9 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu/c++/9 -I/usr/include/c++/9/backward -I/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/9/include -I/usr/local/include -I/usr/include/x86_64-linux-gnu -I/usr/include/qcustomplot.h -o moc_qcustomplot.cpp
g++ -c -pipe -O2 -Wall -W -D_REENTRANT -fPIC -DNS3_LOG_ENABLE -DQT_NO_DEBUG -DQT_PRINTSUPPORT_LIB -DQT_WIDGETS_LIB -DQT_GUI_LIB -DQT_CORE_LIB -I. -Iqtpropertybrowser/src -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5 -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtPrintSupport -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtWidgets -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtGui -isystem /usr/include/x86_64-linux-gnu/qt5/QtCore -I. -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/mkspecs/linux-g++ -o moc_qcustomplot.o moc_qcustomplot.cpp
g++ -Wl,-O1 -o NetAnim main.o log.o fatal-error.o fatal-impl.o logqt.o resizeableitem.o animnode.o animatorscene.o animpacket.o netanim.o animatormode.o mode.o animxmlparser.o animatormode.o animlink.o animresource.o statsview.o statsnode.o routingxmlparser.o routingstatsscene.o interfacestatsscene.o flowmonxmlparser.o flowmonstatsscene.o textbubble.o qtvvariantproperty.o qttreepropertybrowser.o qtpropertymanager.o qtpropertybrowserutils.o qtpropertybrowser.o qtgroupboxpropertybrowser.o qteditorfactory.o qtbuttonpropertybrowser.o animpropertybrowser.o filepathmanager.o fileeditfactory.o fileedit.o packetsmode.o packetsview.o packetsscene.o graphpacket.o table.o countertablenesscene.o qcustomplot.o qrc_resources.o qrc_qtpropertybrowser.o moc_animatorscene.o moc_animpacket.o moc_netanim.o moc_animatormode.o moc_statsmode.o moc_qtpropertybrowserutils.p.o moc_animpropertybrowser.o moc_filepathmanager.o moc_fileeditfactory.o moc_fileedit.o moc_packetsmode.o moc_table.o moc_qcustomplot.o /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libQt5PrintSupport.so /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libQt5Widgets.so /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libQt5Gui.so /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libQt5Core.so /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libGL.so -lpthread
melek28@ubuntu:~/ns-allinone-3.33/netanim-3.108$
```

7.12 Pour exécuter NetAnim

./NetAnim



Note : on doit assurer que nous disposons des dépendances requises avant de commencer l'installation. Les dépendances courantes sont Python, GCC, GNU Make, etc. nous pouvons consulter la documentation officielle de NS-3 pour une liste complète des dépendances.

REFERENCIBIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Antonio, S.R.L, *DIMENSIONNEMENT ET OPTIMISATION DE LA COUVERTURE RADIO DU RESEAU 4G LTE.*
- [2] B.Riyad, *ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE) mémoire de MASTER*, université Abou bekr Belkaid Tlemcen, 2013.
- [3] Mr. MESSAOUDI Nacim, *Etudes des performances radio dans le réseau 4G*, 2017.
- [4] H. BOUCHENTOUF, *Etude des performances des réseaux 4G (LTE)*, 2013.
- [5] Bendahmane et R. Ghermoul, *Etude de méthodes de beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit pour des systèmes FBMC.*, 2018.
- [6] Mohamedioua, Isra Sid, Wissam, *Planification d'un réseau de télécommunications*, Université de Jijel, 2021.
- [7] GIRODON.S, *Réseaux GSM, GPRS et UMTS. Architecture évolutive pour une stratégie services*, 2002.
- [8] Anou Abderrahmane & Abridge Mourad, *Etude de Transmission pour les réseaux LTE/4G(Mobilis)*, Université SAAD DAHLAB de BLIDA , 2015-2016.
- [9] Isra MOHAMEDIOUA . Wissam SID , *Planification d'un Réseau de Télécommunications*, Université Mohammed Seddik BENYAHIA -Jijel-.
- [10] Hadji et Riyad., *ETUDE DES PERFORMANCES DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE)*, Université Tlemcen (Algérie), 2012-2013.
- [11] KHELIFI, *Planification et dimensionnement d'un réseau mobile 4G/LTE*, Université Akli Mouhand Oulhadj-Bouira, 2018.
- [12] Y. Marwa, *Architecture et transmission de l'information dans les réseaux radio-mobiles 5G*, Université 8Mai 1945 – Guelma, 2021.
- [13] Pluchart, J-J, *Les performances des réseaux d'accompagnement entrepreneurial. Vie & Sciences.*
- [14] DIREM Khaled, B.A, *Évaluation de performance et qualité de service des réseaux sans fil WLAN*, 2019.
- [15] CHAIB Hichem Slimane et SOUAR Aissa, *Conception et réalisation d'un environnement de simulation pour l'évaluation des performances d'applications logiceilles.*
- [16] Thomsen.A, *Update on simulation-based surgical training and assessment in ophthalmology: a systematic review.*

Références bibliographiques

- Ophthalmology*, 122(6): p. 1111-1130. e1, 2015.
- [17] Nakanishi.T, *The development of a road traffic simulation system in broad areas. Mathematics and computers in simulation*, 39(3-4): p. 207-212, 1995.
- [18] F. Martin, *Modélisation et évaluation de performances prévisionnelles d'architectures avioniques modulaires intégrées.*, École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace (Toulouse; 1972, 1999.
- [19] BraunschweigB, *La simulation sur micro-ordinateur: les modèles de dynamique des systèmes.*, Eyrolles., 1985.
- [20] Hamza, Y. and L. Redouane , *Étude des Performances des Réseaux 4G LTE*, Université Mouloud Mammeri., 2017.
- [21] Royer. A, *Evaluation de performances de réseaux de communication à l'aide de chaînes de Markov hybrides*, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2006.
- [22] Guendouz.C, and A. Bougheddou, *Etude et Simulation de la qualité de Service (QoS) D'un réseau d'accès fibre optique FTTH-GPON*, Université Ibn Khaldoun-Tiaret, 2022.
- [23] Dugeon.O, *Architectures des réseaux pour le contrôle de la QoS*, 2008.
- [24] Brahma.M, *Etude de la QoS dans les réseaux ad hoc: Intégration du concept de l'ingénierie du trafic*, Université de Haute Alsace des sciences et techniques, 2006.
- [25] Ziani, K. and D. Si Khelifa, *L'impact de la qualité des services sur la satisfaction des clients: Cas agence CPA de Tizi-Ouzou*, Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [26] Pluchart , *Les performances des réseaux d'accompagnement entrepreneurial. Vie & Sciences Économiques*, p. 93-113 , 2013.
- [27] Arrouye.Y, *Environnements de visualisation pour l'évaluation des performances des systèmes parallèles: étude, conception et réalisation*, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 1995.
- [28] Begin.T, *Modélisation et calibrage automatiques de systèmes. Paris 6*, 2008.
- [29] Hadji et Riyad *ÉTUDE DES PERFORMANCES DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE)*, Université Tlemcen (Algérie), 2012-2013 .

