

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Télécommunication

Spécialité : Systèmes des Télécommunication

Par

- **HERRICHE Ymen**
- **BELFAR Nourlhouda**

Intitulé

**PLANIFICATION ET ROUTAGE OPTIMISES DANS LES RESEAUX A
ENVIRONNEMENT INTELLIGENT IOT /M2M**

Soutenu le : 02/07/2023

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. ATTIA Salim</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. AIDEL Salih</i>	<i>Professeur</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mlle. DJEHAICHE Rania</i>	<i>Doctorante</i>	<i>Co-Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. BEHIH Mohammed</i>	<i>MAA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2022/2023

Dédicace

Dédicace

Ce mémoire est le fruit de plusieurs mois de travail acharné et de persévérance. Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation

Nous sommes honorés de pouvoir dédier ce mémoire à des personnes qui ont été si importantes pour nous tout au long de notre parcours universitaire.

Tout d'abord, Nous tenons à remercier notre seigneur, nos parents, nos frère et sœurs pour leur amour et leur soutien inconditionnel. Vous êtes les piliers de nos vies et nous sommes fière de vous avoir comme parents.

Nous ne pouvons pas non plus oublier de remercier nos amis, **RANIYA, OUISSAM, MARWA, NADA, ASMA** et **NASSERIN** qui ont été une source de joie et de soutien tout au long de notre parcours.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers notre encadrant, **M. AIDEL Salih**, et aussi notre co-encadrante, **Mlle. Rania DJEHAICHE**.

Enfin, nous tenons à mentionner une personne particulièrement importante, **[MOUSSA BENCHENEUF]**. CE MONSIEUR a été d'une aide inestimable pour nous, avec son soutien ses conseils et son expertise, il a contribué de manière significative à la réussite de Notre travail. Sans sa contribution, cette thèse ne serait pas aussi remarquable.

Avec toute notre gratitude et notre respect,

YMEN/NOURLHOUDA

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre plus sincère gratitude pour votre soutien tout au long de la réalisation de notre mémoire. Votre contribution a été essentielle à la réussite de ce projet.

Tout d'abord, nous voudrions remercier **ALLAH** pour Sa bénédiction et Sa grâce infinie. Nous sommes reconnaissants pour toutes les opportunités et les bénédictions qu'Il nous a offertes, ainsi que pour Sa guidance tout au long de ce processus.

Nous tenons également à exprimer ma gratitude envers nos parents et mes frères et sœurs pour leur amour, leur soutien et leur encouragement constants. Nous sommes reconnaissants pour tout ce qu'ils ont fait pour nous tout au long de notre parcours académique.

Nous tenons à remercier notre encadreur, **Pr. Aidel Salih** et notre co-encadreur **Mme Rania Djehaiche**. Vos conseils avisés et votre soutien constant ont été d'une aide tout au long de ce projet.

En outre, je tiens à remercier la personne qui a accepté et voulu nous aider par tous les moyens possibles, **M. Moussa Bencheneuf**. Votre générosité et votre soutien ont été très appréciés tout au long de ce projet.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers le jury pour avoir accepté et approuvé notre mémoire. Votre évaluation approfondie et objective de notre travail nous a aidés à améliorer nos compétences et notre compréhension du sujet.

Table des matières

Dédicace

Remerciements

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Généralité sur l’IoT et les M2M.....	2
I.1. Introduction.....	3
I.2. La technologie M2M.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Fonctionnement et architectures du réseau M2M.....	3
I.2.2.a. <i>Fonctionnement</i>	3
I.2.2.b. Architecture du M2M.....	3
I.3. Les principales exigences dans la technologie M2M.....	4
I.3.1. Standard et réseaux (technologie sur les réseaux sans fils du M2M.....	4
I.3.1.A. Les réseaux à courte portée.....	5
I.3.1.B. Les réseaux cellulaires mobiles.....	7
I.3.1.C. Les réseaux LPWANs.....	8
I.4. La technologie d’Internet des Objets « IoT ».....	8
I.4.1. Définition.....	9
I.4.2. Les objets connectés.....	9
I.5. Architecture de l’IoT.....	10
I.6. Conclusion.....	10
CHAPITRE II : Planification et routages optimisés dans les réseaux à environnement intelligent IoT /M2M.....	10
II.1. Introduction.....	12
II.2. Environnement intelligent.....	12
II.2.1. Définition d’un environnement intelligent.....	12
II.2.2. Architecture d’un environnement intelligent.....	13

Table des matières

II.2.3. Domaine d’application d’un environnement intelligent	13
II.2.4. Défis et caractéristiques de l’environnement intelligent	15
II.3. Description du système de gestion du trafic réseau des appareils intelligents.....	17
II.4. Qualité de service	18
II.4.1. Définition.....	18
II.5. Qualité d’expérience	18
II.5.1. Définition.....	18
II.6. QOS et QOE dans l'environnement intelligent	19
II.7. Modélisation du trafic simultané dans les réseaux intelligents.....	19
II.7.1. Modèle de trafic.....	19
II.7.1.1. Définition de modèle de trafic dans les réseaux intelligents	19
II.7.1.2. Priorités des modèles de trafic [29]	20
II.7.2. Modélisation du trafic simultané dans les réseaux environnement intelligent.....	20
II.8. Planification et Routage optimisé sur l’environnement intelligent	20
II.8.1. Principes généraux du routage à QOS	20
II.8.1.1. Définition du routage à QoS (QoS-based routing)	20
II.8.1.2. Composante du routage	21
II.9. Problème de planification QOS-AWARE	21
II.10. Problème de routage basé sur la QOS	21
II.11. Principes généraux de la planification.....	22
II.11.1. Définition de planification optimisée dans l’environnement intelligent	22
II.11.2. Approches basées sur la QoS	22
II.11.3. Approches basées sur la QoE	22
II.11.4. Planification du trafic simultané.....	22
II.12. Conclusion	23
CHAPITRE III : Mise en file d’attente dynamique tenant compte de la qualité de service (QOS) pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents	24
III.1. Introduction.....	25
III.2. La problématique du projet	25
III.3. Le but du projet	26
III.4. Etat de l’art.....	26
III.5. Files d’attente	27
III.5.1. Définition	27
III.6. Architecture de la solution proposée	28
III.6.1. Evaluation de performance des files d’attentes	28

Table des matières

III.7. La gestion du trafic hétérogène dans un environnement intelligent.....	28
III.8. Apprentissage de la QoS dans une file d'attente	29
III.9. QoS pour le trafic hétérogène	29
III.10. Les outils utilisés pour la simulation du projet.....	30
III.11. Conception	32
III.12. Evaluation et résultats expérimentaux.....	32
III.13. Partie pratique réel :.....	47
III.14. Conclusion (Résultat).....	52
V. Conclusion générale.....	55
VI. Référence.....	56

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Figure.I.1 : Les composants de l'architecture du réseau M2M	4
Figure.I.2 : Type de réseau sans fils	4
Figure.I.3 : Format d'une trame MAC IEEE 802.11.ac	6
Figure.I.4 : L'IoT aujourd'hui	10
Figure.I.5 : Architecture de l'IoT	10

Chapitre II

Figure.II.1 : Architecture d'un environnement intelligent	13
Figure.II.2 : Composante du routage	211

Chapitre III

Partie Simulation

Figure III.1: Architecture d'un système de file d'attente	28
Figure III.2: Logo Python.....	30
Figure III.3: Logo visual Studio Code.....	31
Figure III.4: Graphique des emplacements de la latence des clients 1 à 6	33
Figure III.5: Graphique des emplacement de la latence des clients 7 à 10.....	34
Figure III.6: Graphique de la moyenne de la latence des clients 1 à 10	36
Figure III.7: Graphique de la moyenne de la vitesse des clients 1 à 10	38
Figure III.8: Graphique des Emplacements de la vitesse des clients de 1 à 6	39
Figure III.9 : Graphique des Emplacement des clients 7 à 10	41
Figure III.10: Moyenne de la vitesse, la latence et leurs emplacements et de leurs gig des clients 1 à 10	42
Figure III.11: Graphique du gig des client 1 à 10.....	43
Figure III.12: Histogramme de la moyenne du gig des 10 clients.....	44
Figure III.13: Graphique de la latence nécessaires pour chaque position des clients dans la file d'attente	45
Figure III.14: Graphique de la performance de la latence de chaque client	46
Figure III.15: Graphique de la vitesse nécessaire pour chaque position dans la file d'attente.....	46
Figure III.16: Graphique de la performance de la vitesse de chaque client	47

Partie pratique réel

Figure III.17: Prise de photo de notre pratique réel	48
Figure III.18: Capture d'écran de l'adresse IP utilisé.....	48
Figure III.19: Capture d'écran du code utilisé	49
Figure III.21: Capture d'écran du résultat d'un autre client	49
Figure III.20: Capture d'écran du résultat de la latence d'un des client créé	50
Figure III.22: Capture d'écran d'un client d'un autre ordinateur	50
Figure III.23: Capture d'écran de la latence d'un autre client sur un autre ordinateur	51
Figure III.24: Capture d'écran des fichier EXCEL ajouté par le code grâce au CSV.....	51
Figure III.25: Capture d'écran des données de la latence afficher sur Excel	52
Figure III.26: Capture d'écran des données de la vitesse afficher sur Excel.....	52

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: Génération d'IEEE	7
--------------------------------------	---

Chapitre III

Tableau III.1: Analyse de la latence	35
Tableau III.2: Analyse de la vitesse	36
Tableau III.3: Moyenne du gig des 10 clients	37

Liste des abréviations

Liste des abréviations

IoT	Internet Of Things
M2M	Machine To Machine
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
RFID	Radio Frequency Identification
IETC	Institut Européen des Normes de Télécommunication
VHT	Very High Throughput
BLE	Bluetooth Low Energie
WiFi	Wireless Fidelity
WPAN	Wireless Personal Area Network
STF	Short Training Field
LTF	Long Training Field
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
PSK	Phase-Shift Keying
MCS	Modulation Coding System
EHT	Extremely High Throughput
Mmtc	Massive Machine Type Communication
Embb	Enhanced Mobile Broadband
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication
OC	Objet Connecté
LPWANs	Low Power Wide Area Network
TCP	Transmission Control Protocol
QoS	Quality of Service
QoE	Quality of experience
HBCIS	Human Building Computer Interaction System

Résumé

Ce mémoire explore en profondeur l'Internet des Objets (IoT) et la Communication Machine à Machine (M2M) dans le contexte des environnements intelligents. Nous présentons une généralité approfondie à l'IoT et au M2M, en définissant les concepts clés et en mettant en évidence les caractéristiques essentielles de ces domaines. On se concentre surtout sur la planification et le routage optimisés dans les réseaux IoT/M2M, en mettant l'accent sur la qualité de l'expérience (QoE) et la qualité de service (QoS). Nous proposons une simulation basée sur Python pour modéliser et évaluer une file d'attente dynamique prenant en compte la QoS pour gérer le trafic hétérogène dans les environnements intelligents. L'objectif est de concevoir une file d'attente intelligente capable d'optimiser la QoS pour différents types de trafic en utilisant des mécanismes tels que la gestion des files et l'ordonnancement des paquets. Des expérimentations et des résultats de simulation sont présentés pour valider l'efficacité de l'approche proposée.

Mots clés : qualité de service, qualité d'expérience, environnement intelligent, planification et routage, modélisation du trafic, file d'attente dynamique.

Abstract

This dissertation explores in depth the Internet of Things (IoT) and Machine-to-Machine Communication (M2M) in the context of intelligent environments. We present an in-depth generality to IoT and M2M, defining key concepts and highlighting essential features of these domains. The main focus is on optimized scheduling and routing in IoT/M2M networks, with an emphasis on quality of experience (QoE) and quality of service (QoS). We propose a Python-based simulation to model and evaluate a QoS-aware dynamic queue for managing heterogeneous traffic in smart environments. The objective is to design an intelligent queue capable of optimizing QoS for different types of traffic using mechanisms such as queue management and packet scheduling. Experiments and simulation results are presented to validate the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: quality of service, quality of experience, intelligent environment, planning and routing, traffic modeling, dynamic queuing.

ملخص

M2M في سياق البيئات الذكية. نقدم عمومية متعمقة لإنترنت الأشياء و (M2M) والاتصال من آلة إلى آلة (IoT) تستكشف هذه الرسالة بعمق إنترنت الأشياء مع ، IoT / M2M وتحديد المفاهيم الأساسية وإبراز الميزات الأساسية لهذه المجالات. ينصب التركيز الرئيسي على الجدولة المحسنة والتوجيه في شبكات ، لإدارة حركة QoS لنمذجة وتقييم قائمة انتظار ديناميكية مدركة لـ Python نقترح محاكاة تستند إلى (QoS) وجودة الخدمة (QoE) التركيز على جودة الخبرة المرور غير المتجانسة في البيئات الذكية. الهدف هو تصميم قائمة انتظار ذكية قادرة على تحسين جودة الخدمة لأنواع مختلفة من حركة المرور باستخدام آليات مثل إدارة قائمة الانتظار وجدولة الحزم. يتم عرض التجارب ونتائج المحاكاة للتحقق من فعالية النهج المقترح لكلمات المفتاحية: جودة الخدمة ، جودة الخبرة ، البيئة الذكية ، التخطيط والتوجيه ، المرور النمذجة ، الطابور الديناميكي

Introduction générale

Le monde connecté d'aujourd'hui est en constante évolution, avec l'émergence de l'Internet des Objets (IoT) et de la Communication Machine-to-Machine (M2M). Ces technologies révolutionnaires transforment la façon dont les objets interagissent entre eux et avec les êtres humains.

Nous explorerons en profondeur les généralités de l'IoT et du M2M, leurs caractéristiques essentielles et leur architecture typique. L'IoT représente un écosystème où des objets physiques, tels que des capteurs, des appareils intelligents et des systèmes embarqués, sont interconnectés pour collecter, communiquer et échanger des données. Le M2M, quant à lui, se concentre sur les communications directes entre machines, sans intervention humaine. Ensemble, l'IoT et le M2M offrent un potentiel immense pour transformer divers secteurs tels que la santé, l'agriculture, les villes intelligentes et l'industrie.

On a décrit les défis de la planification et du routage optimisés dans les réseaux IoT/M2M et explore les stratégies de planification et de routage optimisés dans les réseaux IoT/M2M à environnement intelligent. En mettant l'accent sur l'environnement intelligent, la modélisation du trafic simultané, et l'amélioration de la qualité de service (QoS) et de l'expérience utilisateur (QoE). La modélisation du trafic simultané représente un défi majeur, car il faut prendre en compte les caractéristiques spécifiques de chaque type de données, leurs exigences de QoS et les contraintes du réseau.

On s'est concentré sur une simulation basée sur Python pour modéliser une mise en file d'attente dynamique qui tient compte de la QoS pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents. Dans ces environnements, différents types de données avec des exigences de QoS variées coexistent, et il est crucial de les gérer efficacement.

Ce travail de recherche vise à fournir une meilleure compréhension de l'IoT, du M2M et des défis liés à la planification, au routage et à la gestion du trafic dans les environnements IoT/M2M. Les résultats obtenus contribueront à améliorer la performance et l'efficacité des réseaux à environnement intelligent, ouvrant ainsi la voie à des solutions innovantes pour un avenir connecté.

CHAPITRE I : Généralité sur l'IoT et les M2M

1.1. Introduction

1.2. La technologie M2M

1.3. Les principes exigences dans la technologie M2M

**1.4. La technologie d'Internet des Objets
« IoT »**

1.5. L'architecture de l'IoT

1.6. Conclusion

I.1. Introduction

L'internet a connu depuis son apparition, un grand essor et a touché pratiquement tous les domaines de notre vie de tous les jours : politique, économique, socioculturel, etc. Elle est devenue la principale source d'information. L'internet a également facilité la Communication entre les gens, en transformant le monde en une petite ville. Le progrès scientifique et technologique a eu, spécialement dans le domaine de l'électronique, de la communication des objets intelligents et des systèmes de capteurs très développés, variés et de différentes tailles, des répercussions positives sur l'internet qui a évolué de manière spectaculaire, de sorte qu'elle n'est pas seulement une interconnexion entre ordinateurs, mais plutôt une interconnexion entre plusieurs objets physiques. Ce qui a introduit le terme « Machine to Machine (M2M) » est « Internet des Objets (IdO) ». Ces deux réseaux servent à fournir les moyens d'interagir hormis de l'intervention humaine avec les systèmes d'information. Dans ce chapitre on présente les concepts fondamentaux de ces deux réseaux de communications endétail.

I.2. La technologie M2M

I.2.1. Définition

L'acronyme M2M est utilisé pour désigner la communication entre des équipements actionnés par l'homme et des machines. Il peut également signifier Machines to Mobile, mais la signification la plus courante est Machine to Machine. M2M est également appelé communication de type machine (MTC) et est utilisé pour des applications de surveillance en temps réel et omniprésentes [4].

I.2.2. Fonctionnement et architectures du réseau M2M

I.2.2.a. Fonctionnement

Le réseau M2M comprend de nombreux dispositifs (par exemple, actionneurs, compteurs intelligents, capteurs) à travers lesquels une zone de réseau est formée et des passerelles qui sont considérées comme point de collecte d'informations [5].

I.2.2.b. Architecture du M2M

La figure ci-dessus représente les composants d'architecture du réseau M2M :

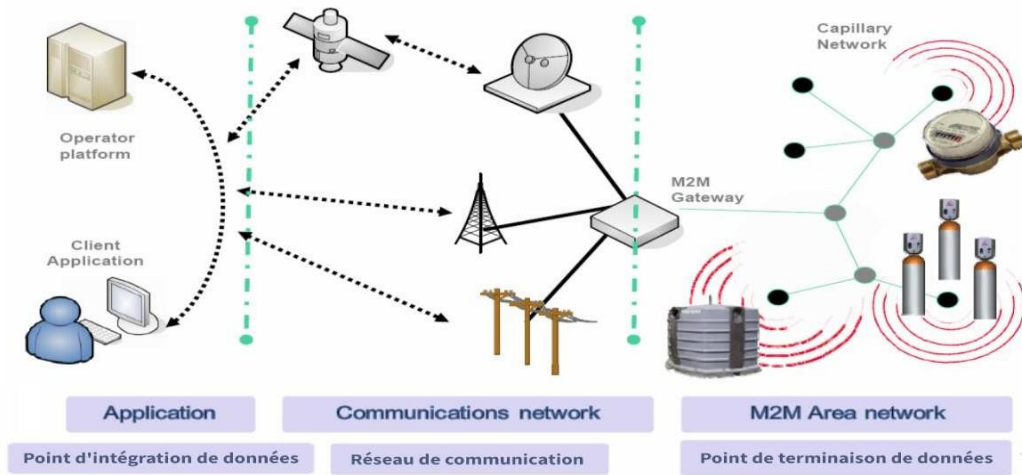


Figure.I.1 : Les composants de l'architecture du réseau M2M [5] 1

I.3. Les principales exigences dans la technologie M2M

Plusieurs défis font face à l'application du concept M2M en tant que pile développée et standardisée selon l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI), les exigences d'un système M2M qui pourraient être résumé comme suit selon [2] : Densité d'appareils, Caractéristiques du trafic, Mobilité, Consommation d'énergie Fiabilité et sécurité, Temps de latence, Priorité d'accès, Direction de communication.

I.3.1. Standard et réseaux (technologie sur les réseaux sans fils du M2M)

Les réseaux sans fil sont fondés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) au lieu et à la place des câbles habituels. Il est possible de trouver plusieurs technologies se démarquant d'abord par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions. Les réseaux sans fil permettent de connecter très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres [3]. Il y a plusieurs types de réseaux sans fils comme le montre la figure du dessous :

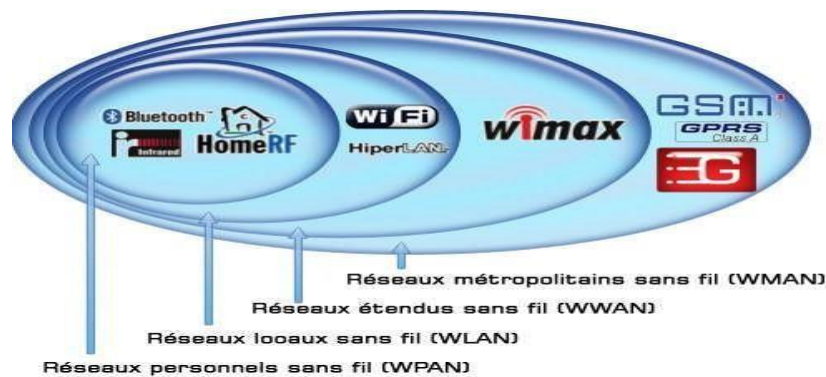


Figure.I.2 : Type de réseau sans fils 2

I.3.1.A. Les réseaux à courte portée

- **Les réseaux personnels sans fil WPANs**

- **BLE (bluetooth low energie)**

Le processeur réseau sans fil Bluetooth Low Energy BlueNRG STMicroelectronics est conçu pour permettre des durées d'exécution plus longues et plus réduites, des batteries plus légères dans une large gamme d'application » sans fil, tels que des poignets de gymnastique, des lunettes connectées ou des vêtements interactifs Conforme à la dernière norme Bluetooth 4.0, ce processeur réseau monomode Bluetooth Low Energy (BLE) à très basse consommation dispose de sa propre radio, de son processeur et d'un microprogramme Bluetooth pour faciliter la conception sans fil. La totalité de la pile Bluetooth Low Energy fonctionne sur le cœur intégré Cortex M0 [7].

- **Zigbee**

Ce réseau personnel sans fil ou Wireless Personal Area Network (WPAN) se démarque de ses deux principaux concurrents précédemment cités par sa simplicité d'intégration et par ses modes a consommation réduite d'énergie. La technologie ZigBee, associée à la norme IEEE 802.15.4, propose une pile protocolaire légère, déclinable sous diverses versions en fonction des besoins et de la topologie voulue, pour des objectifs de transferts de données à faibles débits et de faibles taux d'utilisation du médium [8].

- **Les réseaux locaux sans fil WLAN**

- **WiFi 4 (L'IEEE 802.11n) le haut débit**

L'IEEE 802.11n est un groupe de travail au sein de l'IEEE, mis en place en 2003. Les raisons qui ont suscité la création de ce groupe sont les suivantes [9].

Les réseaux WiFi (standards 802.11 b, g et a) offrent une portée réduite. Les réseaux WiFi sont très sensibles aux phénomènes de réflexion d'ondes, ainsi qu'aux interférences ayant comme origine d'autres unités sans fil. Les réseaux WiFi sont beaucoup plus lents, en termes de débits, qu'Ethernet. Cette unité de développement travaille sur la mise en œuvre d'une norme devant trouver des solutions pour les problèmes cités ci-dessus.

En effet, 802.11n est censé permettre d'atteindre un débit minimal de 100 Mbps,

et un débit théorique utile maximal de 540 Mbps. Ce pré-standard se base sur une technologie radio innovante, nommée MIMO13, qui se base sur l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission et pareillement à la réception. De plus, l'IEEE a mis comme exigence à la mise en œuvre d'une telle technologie la rétrocompatibilité et l'interopérabilité complètes avec les standards actuels (802.11b, g, a).

➤ **WiFi 5**

L'IEEE 802.11ac a introduit de nouveaux champs VHT (Very High Throughput) pour les trames PPDU comme c'est illustré dans la Figure I.4. Tous les dispositifs 802.11 courant utilisent L-STF (Short Training Field), L-LTF (Long Training Field) and L-SIG (Signal). Le champ de L-STF sert à améliorer la commande automatique de gain dans une transmission de MIMO. L - STF et L - LTF contiennent des données pour identifier le signal, corriger la fréquence après évaluation, etc. Le champ L-SIG comporte l'information au sujet de la longueur du reste du paquet. Les nouveaux champs VHT sont ajoutés par 802.11ac, VHT-SIG-A englobe deux symboles d'OFDM. Le premier est modulé avec BPSK, ainsi tout utilisateur 802.11n considérera un utilisateur 11ac comme à un 11a, alors que le deuxième symbole utilise des BPSK tournés 90 degrés pour autoriser à un utilisateur de VHT de distinguer un dispositif 802.11ac. D'ailleurs, un certain nombre de bits de ces deux symboles contiennent d'importantes informations telle que la largeur de bande, MCS (Modulation Coding Scheme) quand on emploie un seul utilisateur, le nombre de flux espace-temps, etc [10].

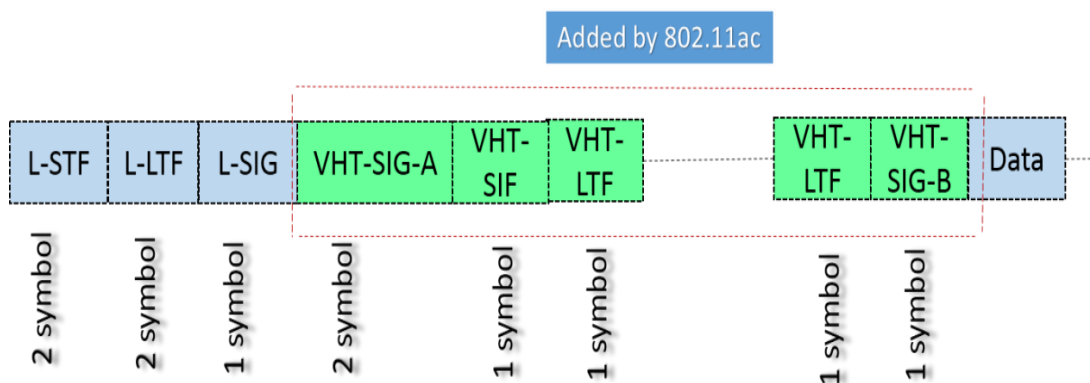


Figure.I.3 : Format d'une trame MAC IEEE 802.11.ac [10] 3

➤ **WiFi 6**

Le WiFi 6 est la moderne itération du protocole de réseau WiFi. Il établit une amélioration substantielle par rapport à son prédécesseur. Il peut être plus rapide grâce à des technologies comme la priorisation du trafic, l'OFDMA et le beamforming. Ce nouveau protocole est plus sûr et met en œuvre de nouvelles technologies de cryptage telles que SAE. Les appareils compatibles avec la technologie WiFi 6E peuvent tirer parti de la nouvelle bande de fréquence de 6 GHz pour améliorer davantage la connectivité. Il devient la nouvelle norme, la mise à niveau vers un matériel compatible sera de plus en plus profitable [11].

➤ WiFi 7

Le WiFi 7 est la nouvelle norme WiFi à venir, également connue sous le nom de IEEE 802.11be Extremely High Throughput (EHT). Il fonctionne sur les trois bandes (2,4 GHz, 5 GHz et 6 GHz) pour utiliser pleinement les ressources du spectre. Alors que le WiFi 6 a été conçu en réponse au nombre croissant d'appareils dans le monde, l'objectif du WiFi 7 est de donner des débits étonnants pour tout appareil avec une plus grande efficacité [12].

Dans ce tableau nous montrons la différence de fréquence et le taux de liaison max de chaque génération de norme IEEE.

Génération/Norme IEEE	Fréquence	Taux de liaison maximal	Année
WiFi 6 (802.11ax)	2,4/5 GHz	600–9608 Mo/s	2019
WiFi 5 (802.11ac)	5 GHz	433–6933 Mo/s	2014
WiFi 4 (802.11n)	2,4/5 GHz	72–600 Mo/s	2009

Tableau I.1: Génération d'IEEE 1

I.3.1.B. Les réseaux cellulaires mobiles

➤ 4G

La 4G a transformé l'écosystème des objets connectés. En effet avant l'arrivée de la 4G, les objets se servant de la vidéo ou utilise un haut débit avaient du mal à fonctionner correctement. Mais avec la mise en place de ce réseau haut débit, les objets utilisant de la vidéo tel que les caméras de surveillance, ou utilisant un haut débit comme les terminaux de paiement, peuvent tout à fait fonctionner de manière efficace en temps réel.

La 4G a donné un espoir à l'internet des objets et de plus en plus apparait sur le marché

des petites et moyennes entreprises ainsi que des start-ups qui se spécialisent dans la conception d'objets IoT ainsi qu'au déploiement de ses derniers.

L'un des points fort de la 4G est la capacité de donner des débits pratiques plus élevés allant jusqu'à 40 Mbit/s. Ce qui fait qu'elle vise surtout le secteur industriel qui est un peu gourmand en débit internet. Ainsi elle permet aux objets d'être plus réactif et d'envoyer un grand nombre d'information en temps présent [13].

➤ **5G**

En observant les réseaux de la 2G jusqu'à la 4G, nous déduisons une évolution constante du problème de débit. Quant à la 5G c'est tout un changement qui va au-delà de la résolution d'un problème de débit mais promet de nouvelle opportunité et une capacité d'adaptation sans précédente. La 5G est beaucoup plus performant que la 4G et s'adapte à tout type d'objets connectés. Le réseau 5G n'a donc rien avoir avec les réseaux mobiles traditionnels que nous connaissons aujourd'hui.

I.3.1.C. Les réseaux LPWANs

➤ **Sigfox**

On retrouve la technologie développée par un Startup Française qui va donner naissance à une révolution des technologies de communication pour l'Internet des objets, il s'agit de SigFox. Cette technologie propose de transmettre dans la bande de fréquence des 860 MHz, juste en dessous du GSM. Par contre la bande passante est très fine, mais suffisante pour transmettre quelques informations depuis les objets connectés [14] [15].

➤ **LoRa**

Une nouvelle initiative a été plus récemment lancée pour considérer les communications des objets de l'IoT à travers les réseaux cellulaires : il s'agit de l'alliance LORA qui propose un Framework de communication des objets IoT à intégrer avec les réseaux opérateurs existants. Particulièrement, une autre initiative à citer est la 5G, qui est le réseau cellulaire mobile attendu avec un débit de 1Gbps travaillant particulièrement sur l'intégration des objets connectés. Avec un tel débit élevé, plusieurs sont ses domaines d'application dans l'IoT comme impliquant le transport, la santé, l'énergie, etc [14][15].

I.4. La technologie d'Internet des Objets « IoT »

I.4.1. Définition

Il n'y a pas de définition modèle et unifiée de l'Internet des objets. Certaines définitions sont basées sur les aspects techniques de l'IoT, tandis que d'autres se focalisent sur l'utilisation et les caractéristiques de l'IoT. Une définition technique de l'IoT pourrait inclure la capacité à identifier les objets, à capturer, stocker, traiter et transférer des données dans des environnements physiques. D'autres démontre l'IoT comme l'émergence du futur Internet, où les objets sont dotés d'une identité et d'une personnalité virtuelle, opérant dans des espaces intelligents et en utilisant des interfaces intelligentes pour se lier et communiquer dans une variété d'environnements d'utilisation. Enfin, certains considèrent l'IoT comme une nouvelle approche informatique basé sur les objets courants qui ont un capteur intégré, une intelligence et la capacité de communiquer sur Internet, permettant aux gens de se connecter les uns aux autres, n'importe où et n'importe quand [4].

I.4.2. Les objets connectés

✓ Définition

L'objet connecté est un dispositif dont la finalité première n'est pas d'être un système informatique ni une interface d'accès au web, l'intégration d'une connexion internet à un OC permet une meilleure communication avec son environnement, il devient un OC enrichi (OCE). Un OC peut fonctionner sans intervention humaine dans l'interaction avec le monde physique. Il possède plusieurs limites comme par exemple la mémoire, la bande passante, la consommation d'énergie. Il faut qu'il soit adopté à un usage, il a une certaine forme d'intelligence, une capacité de réceptionner et de transférer des informations avec des logiciels grâce aux capteurs embarqués.

Cisco dans son livre blanc relatif à l'IoT illustre l'évolution du nombre d'objets connectés [3]. Aujourd'hui, celui-ci dépasse de loin le nombre d'habitants sur la planète et il devrait continuer d'augmenter pour atteindre les 50 milliards d'ici 2020 comme il est montré dans la Figure I.4 [16].

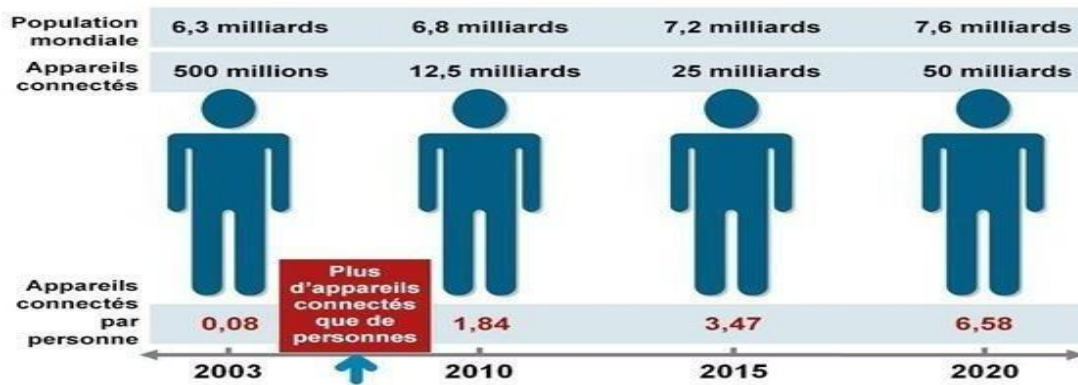


Figure.I.4 : L'IoT aujourd'hui 4

I.5. Architecture de l'IoT

L'architecture la plus élémentaire est une architecture à trois couches : la couche de perception, la couche réseau et la couche d'application comme montre la figure suivante :

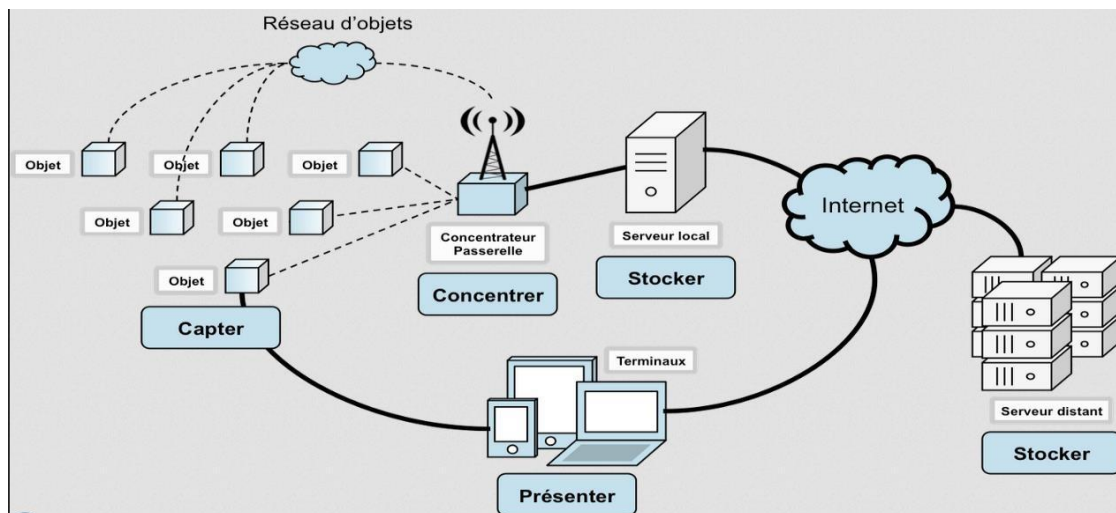


Figure.I.5 : Architecture de l'IoT [19] 5

I.6. Conclusion

Tout au long de ce chapitre nous avons vu les concepts et généralité des réseaux liés à l'internet des objets (IoT) et Machine To Machine (M2M), et avons définis le M2M et décrit son architecture et fonctionnement ensuite nous avons défini que ce qu'un réseau IoT, par la suite nous avons parlé de l'architecture de l'IoT, et son fonctionnement ou nous avons cité sa technologie et quelques protocoles de fonctionnement.

**CHAPITRE II : Planification et routages optimisés dans
les réseaux à environnement intelligent IoT /M2M**

II.1. Introduction

II.2. Environnement intelligent

**II.3. Description du système de gestion du trafic réseau des appareils
intelligents**

II.4. Qualité de service

II.5. Qualité d'expérience

II.6. QoS et QoE dans l'environnement intelligent

II.7. Modélisation du trafic simultané dans les réseaux intelligent

II.8. Planification et Routage optimisé sur l'environnement intelligent

II.9. Problème de planification QoS -AWARE

II.10. Problème de routage basé sur la QoS

II.11. Principes généraux de la planification

II.12. Conclusion

II.1. Introduction

Les réseaux IoT M2M sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne, grâce à leur capacité à connecter de nombreux appareils intelligents ensemble. Toutefois, pour que ces appareils communiquent efficacement entre eux, il est crucial d'avoir un système de planification et de routage optimisé.

La planification et le routage optimisés dans les réseaux IoT M2M permettent d'améliorer la qualité de service (QoS) et la qualité d'expérience (QoE) des utilisateurs. La QoS se réfère à la qualité du service fourni par le réseau, tandis que la QoE mesure l'expérience utilisateur globale. En assurant une QoS et une QoE élevées, les réseaux IoT M2M peuvent offrir une expérience utilisateur fiable et satisfaisante.

Un autre aspect important de la planification et du routage optimisés est la modélisation du trafic simultané dans les réseaux intelligents. Les réseaux IoT M2M sont souvent caractérisés par une grande quantité de trafic de données simultanées provenant de nombreux appareils différents. Pour gérer efficacement ce trafic, il est essentiel de modéliser le comportement de chaque appareil et de comprendre comment ils interagissent les uns avec les autres.

En somme, la planification et le routage optimisés dans les réseaux à environnement intelligent IoT M2M sont essentiels pour offrir une QoS et une QoE élevées, ainsi que pour gérer efficacement le trafic simultané.

II.2. Environnement intelligent

II.2.1. Définition d'un environnement intelligent

L'environnement intelligent a pour objectif de couvrir de nombreux secteurs, notamment l'environnement intelligent, l'énergie intelligente, les bâtiments intelligents, l'eau intelligente et les déchets intelligents. La gestion intelligente de l'énergie vise à produire une énergie respectueuse de l'environnement, à faible consommation, avec un modèle de consommation plus prévisible et un réseau de distribution plus flexible.

Les espaces intelligents représentent un univers limité dans lequel une variété de dispositifs intelligents et d'objets divers travaillent constamment afin d'améliorer le confort de vie des résidents [21]. La figure II.1 représente l'architecture générale de l'environnement intelligent.

Le concept d'environnement intelligent repose sur le paradigme d'informatique ubiquitaire, qui permet à l'informatique d'être présente simultanément dans plusieurs lieux. Dans ce contexte, le terme "environnement intelligent" désigne l'omniprésence de l'informatique grâce à ses capteurs. L'idée a été introduite en 1991 par Mark Weiser, qui a décrit un monde équipé de capteurs et d'ordinateurs qui améliorent les objets de la vie quotidienne [22].

II.2.2. Architecture d'un environnement intelligent

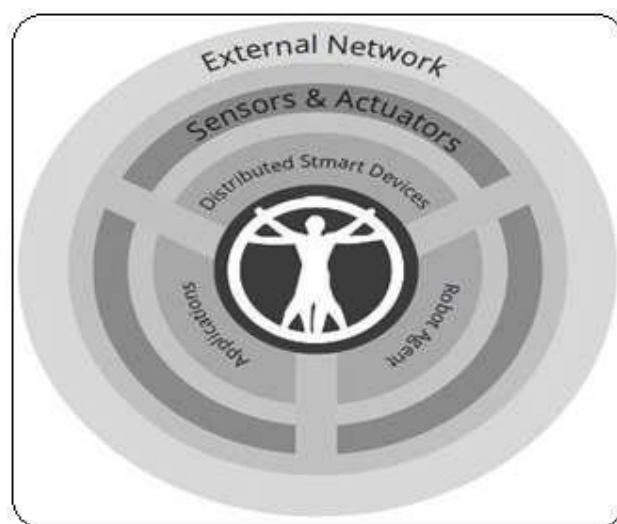


Figure.II.1 : Architecture d'un environnement intelligent [21] 6

Un environnement intelligent ubiquitaire est étroitement lié à l'informatique ubiquitaire (ou Ubiquitous Computing), qui est un concept de génie logiciel visant à intégrer l'informatique dans tous les aspects de la vie. Ce concept est défini comme un environnement riche en systèmes informatiques, tels que des capteurs, des actionneurs, des afficheurs et des éléments de calcul, visibles ou invisibles et intégrés de manière transparente dans les objets quotidiens de notre vie, tous connectés par un réseau. Tous ces dispositifs communiquent et coopèrent pour satisfaire nos besoins humains [23].

II.2.3. Domaine d'application d'un environnement intelligent

Les champs d'application de l'environnement intelligent sont variés, chacun ayant ses propres caractéristiques et répondant à des critères spécifiques.

II.2.3.1. Domaine médical

L'utilisation d'un environnement intelligent a un effet significatif sur la promotion d'une culture médicale en faveur de la santé des individus. En effet, cet environnement permet une intervention médicale plus rapide grâce aux notifications transmises aux personnes concernées. Parmi les dispositifs susceptibles d'être mentionnés dans ce contexte, on peut citer les montres connectées telles que la Samsung Gear s4, la LG Watch urbaine 2, qui sont capables de mesurer la fréquence cardiaque et la température. Le patch de mesure et d'injection d'insuline est également un dispositif capable de mesurer le taux d'insuline et d'administrer des doses en fonction des besoins [24]. Dans des situations critiques, telles que les attaques cardiaques, la smart-watch peut déclencher une réponse immédiate en alertant la passerelle la plus proche pour une intervention médicale d'urgence, tout en déterminant et en transmettant les coordonnées de la victime.

II.2.3.2. Domotique

L'intégration de l'environnement intelligent dans la domotique offre de multiples avantages tels que l'assistance aux personnes dépendantes, la détection d'intrusions, etc. Cette intégration peut être mise en place dans divers lieux tels que les maisons, les hôtels, les entreprises, etc. Cette application détecte automatiquement les dispositifs intelligents présents dans la pièce et les enregistre avec différentes technologies matérielles, offrant ainsi aux utilisateurs la possibilité d'administrer et de donner des ordres à ces dispositifs. CAMP [21] est un programme qui fournit aux utilisateurs une interface virtuelle métaphorique et magnétique pour traduire leurs actions sur un dispositif, afin de gérer et de contrôler les objets intelligents de la maison. HBCI (Human-Building-Computer Interaction System) [24] est une application mobile Android qui permet aux utilisateurs d'économiser de l'énergie tout en bénéficiant d'un confort optimal.

II.2.3.3. Domaine de voyage

En ce qui concerne le domaine de l'information destinée aux voyageurs, un service peut être considéré comme ambiant s'il fournit des informations pertinentes en fonction de

l'environnement immédiat de l'utilisateur. Ces services sont conçus pour personnaliser l'information en fonction des préférences spécifiques de l'utilisateur et de sa position géographique, en vue de faciliter son voyage.

II.2.3.4. Domaine de transport

Les transports intelligents sont ces nouvelles technologies appliquées aux réseaux de transport pour en améliorer la gestion et l'exploitation, aussi bien que les services aux utilisateurs. La gamme des technologies considérées comprend toutes les applications de la télématique au domaine du transport, utilisant ex.: capteurs, moyens de calcul), les télécommunications, les bases de données et d'information, les systèmes de régulation, les paiements électroniques. Tous les modes de transport, routier, ferroviaire, aérien, maritime, sont visés par ces applications, tant pour la sécurité ou la régulation des flux de la circulation. [25]

II.2.3.5. Domaine de l'énergie

Les domiciles intelligents ont été les premiers exemples de produits annoncés comme des environnements intelligents pouvant aider les résidents à gérer automatiquement l'éclairage et la température en leur nom. Le marketing intelligent permet une gestion plus efficace de ces ressources. Aujourd'hui, les gens du monde entier prennent ces questions beaucoup plus au sérieux et les environnements intelligents peuvent être un instrument important pour atteindre ces objectifs [26].

II.2.4. Défis et caractéristiques de l'environnement intelligent

Le nombre de services informatiques intelligents, ainsi que leur variété et leur capacité à s'adapter aux évolutions rapides, sont des critères déterminants dans la pervasivité d'une application. L'ouverture d'un environnement intelligent ubiquitaire à des services hétérogènes et variés, dans un contexte en constante évolution, présente les défis suivants :

II.2.4.1. Invisibilité et transparence

Un environnement intelligent ambiant doit répondre aux besoins de l'utilisateur de manière transparente. Les environnements intelligents sont intrinsèquement dynamiques et hétérogènes, ce qui rend la technologie sous-jacente invisible en fonction de la localisation de l'utilisateur et de son contexte actuel. Les défis liés à la transparence de l'accès à l'information dans le domaine de la sélection et de la composition des services intelligents sont nombreux, bien que certains aient déjà été surmontés [24].

II.2.4.2. Hétérogénéité

Des millions de dispositifs connectés s'exécutent sur différentes plateformes d'exécution et systèmes d'exploitation, communiquant via différents protocoles et supports de communication. Ces équipements utilisent diverses technologies de communication filaires ou non filaires (ADSL, Wifi, Bluetooth, etc.) et consomment beaucoup d'énergie [25].

II.2.4.3. Dynamicité

Dans un environnement intelligent ubiquitaire, la dynamique est inhérente en raison des changements fréquents qui se produisent dans les environnements intelligents [24], ainsi que des évolutions des besoins fonctionnels de l'utilisateur. Le processus d'adaptation doit répondre aux attentes des utilisateurs en réagissant à tous les changements identifiés dans le contexte de l'utilisateur et de l'environnement. Le contexte utilisateur se compose des besoins fonctionnels et de QoS évolutifs de l'utilisateur dans le temps. Le contexte environnemental contient des informations sur l'état du système, telles que l'emplacement de l'utilisateur, son activité et sa localisation, le débit de la connexion entre l'utilisateur et l'application, et la disponibilité de diverses ressources d'objets communicants [27].

II.2.4.4. Economie d'énergie

L'utilisation croissante des Smartphones et des tablettes a entraîné une augmentation de la demande de services intelligents accessibles sur le Cloud. Cependant, cela a également posé des défis en termes de compromis entre les coûts d'accès et de déploiement des services et l'amélioration de la qualité des services. Les utilisateurs souhaitent des services à temps de réponse rapide, à prix abordable, sécurisés et économes en énergie, ce qui nécessite une gestion efficace des ressources et une optimisation de l'utilisation de la technologie. Cela peut être accompli grâce à des approches telles que la virtualisation et l'optimisation de l'utilisation de l'énergie [26].

II.2.4.5. Flexibilité

La flexibilité et l'adaptabilité sont des éléments clés dans la conception d'environnements intelligents qui répondent aux besoins des utilisateurs. Les environnements intelligents doivent être capables de s'adapter à l'évolution des besoins de l'utilisateur ainsi qu'aux changements de contexte, afin de fournir des services de qualité adaptés aux attentes de l'utilisateur. Des solutions logicielles flexibles et adaptables sont donc essentielles pour garantir la satisfaction de l'utilisateur dans un environnement intelligent [25].

II.2.4.6. Fiabilité

La fiabilité est un enjeu crucial pour les environnements intelligents ubiquitaires, en particulier dans les cas où ils sont utilisés pour des applications critiques telles que l'assistance à une personne malade ou âgée. Dans ces situations, une défaillance de l'un des composants du système peut avoir des conséquences graves sur la sécurité et le bien-être de l'utilisateur. C'est pourquoi il est important de mettre en place des mécanismes de surveillance et de maintenance régulière pour assurer que les systèmes sont opérationnels en tout temps, et de prévoir des plans de secours en cas de défaillance [26].

II.2.4.7. Précision

La précision est primordiale pour certains services intelligents, tels que les systèmes de commande de vol d'avions ou les systèmes de contrôle de trafic ferroviaire. Tout retard ou erreur peut entraîner des conséquences graves pour la sécurité des personnes. Dans ces cas, il est essentiel de respecter des exigences strictes de temps de réponse et de précision pour assurer le bon fonctionnement du système et la sécurité des utilisateurs [27].

II.3. Description du système de gestion du trafic réseau des appareils intelligents

L'environnement intelligent permet à l'utilisateur de contrôler et de gérer à distance un réseau d'appareils intelligents. Classez ces appareils en trois catégories principales en fonction de leur temps de réseau de distribution de données :

II.3.a. Données périodiques : Ces données sont générées périodiquement par les capteurs. Les capteurs détectent les états de surveillance et les envoient à chaque période de dispositifs

à un serveur central pour générer des modèles pour l'analyse backend. Ces objets capteurs comprennent ; Thermostat réseau connecté aux capteurs et capteurs médicaux

II.3.b. Données aléatoires : ces données sont générées de manière aléatoire par des capteurs et sont généralement utilisées pour les notifications. Les tentacules génèrent du trafic en déclenchant un événement pour informer l'utilisateur ou le serveur d'applications d'une activité anormale afin de prévenir les menaces dangereuses. Par exemple, la pollution ou un détecteur d'incendie qui peut prédire les incendies en fonction d'autres capteurs (tels que des capteurs de fumée et des capteurs de température). Ces objets sensibles génèrent des trafics aléatoires indépendants du temps, puis basés sur la distribution du processus de Poisson [28] avec un exponentiel taux inter-arrivées.

II.3.c. Données statiques : Ces données génèrent un continuum qui inclut ces objets ; Tablettes, Smartphones, téléviseurs connectés et caméras de sécurité. Les données peuvent être créées pour chaque périphérique réseau via l'interface WiFi ou les ports Ethernet. Ces données seront classées selon leur priorité QoS, ordonnancées selon leur heure d'arrivée et leur niveau de QoS, puis servies par le serveur.

II.4. Qualité de service

II.4.1. Définition

La qualité de service [29]

- Dénote le niveau de qualité en rapport avec les métriques intrinsèques du réseau
- Indique la capacité du réseau à fournir un service
- A une approche objective (axée sur la technique)
- Emploie une méthode de mesure claire
- Évalue plusieurs indicateurs
- Comprend un ensemble d'indicateurs clés de performance (KPI) réseau
- Implique une grande quantité de données
- Permet un suivi périodique des performances du réseau

II.5. Qualité d'expérience

II.5.1. Définition

La qualité de l'expérience perceptive :

- Reflète la façon dont la qualité est perçue par l'utilisateur final
- Comprend l'ensemble de la chaîne de bout en bout
- Est de nature subjective
- Peut être influencée par divers autres facteurs multidimensionnels
- Implique un ensemble d'appréciations
- Repose sur un échantillon limité mais représentatif
- Requiert des enquêtes spécifiques

II.6. QOS et QOE dans l'environnement intelligent

Bien qu'il existe des solutions qui fixent dynamiquement les priorités (basées sur allocation de bande passante en temps réel ou distance source et destination), ils sont considérés comme un type spécifique Depuis l'application environnementale (applications multimédia et streaming vidéo) ou une opération spécifique uniquement cible temporelle. Soit il se concentre sur l'amélioration de la qualité de service du point de vue des FAI (amélioration Utilisation de la bande passante basée sur les charges de trafic pour répondre aux priorités des conditions de service) ou améliorer la QoE à partir de Perspective de l'utilisateur.

Les réseaux intelligent évoluent rapidement pour inclure des réseaux hétérogènes Accès physique (filaire et sans fil) et un grand nombre Des appareils intelligents qui génèrent différents types de trafic avec des distributions différentes. Aussi, une variété d'applications (VoIP, messagerie, vidéo, etc.) avec des exigences différentes Met plus de restrictions dans le programme de trafic dans l'environnement intelligent - Gee comme la congestion et les retards. Cela nécessite une automatisation Gestion des charges de trafic dans les dispositifs de contrôle environnemental Offrir plus d'une catégorie prioritaire [32].

II.7. Modélisation du trafic simultané dans les réseaux intelligents

II.7.1. Modèle de trafic

II.7.1.1. Définition de modèle de trafic dans les réseaux intelligents

Le modèle de trafic dans les réseaux intelligents est un modèle qui décrit la façon dont les données sont échangées entre les différents composants d'un réseau intelligent. Il prend en compte les caractéristiques du trafic telles que les débits, les temps de latence, les types de données et les sources de données. Le modèle de trafic permet de comprendre le comportement

du trafic dans le réseau et de concevoir des stratégies pour améliorer la performance du réseau, telle que la gestion de la QoS, la gestion de la congestion, la planification des capacités, etc. Le modèle de trafic peut être utilisé pour simuler le trafic dans un réseau intelligent et pour évaluer les performances des différents protocoles et stratégies de gestion du trafic.

II.7.1.2. Priorités des modèles de trafic [29]

- Facilité d'utilisation
- Simplicité d'expression
- Facilité de vérification et de test
- Surcout d'implantation faible...etc.

II.7.2. Modélisation du trafic simultané dans les réseaux environnement intelligent

La modélisation du trafic simultané dans les réseaux environnementaux intelligents représente un défi majeur pour les chercheurs et les ingénieurs. Cette modélisation vise à comprendre les caractéristiques du trafic et les facteurs qui influencent sa dynamique, dans le but d'optimiser la performance des réseaux et d'améliorer la qualité de service pour les utilisateurs. Les techniques de modélisation ont évolué rapidement ces dernières années, grâce notamment aux avancées dans les technologies de l'information et de la communication, permettant l'utilisation de données en temps réel pour surveiller et prédire les modèles de trafic futurs. Les modèles de trafic sont donc devenus des outils essentiels pour la conception, l'optimisation et la gestion des réseaux environnementaux intelligents [34].

II.8. Planification et Routage optimisé sur l'environnement intelligent

II.8.1. Principes généraux du routage à QoS

II.8.1.1. Définition du routage à QoS (QoS-based routing)

Le routage QoS ou le routage basé sur la qualité de service. Il s'agit d'un mécanisme de routage qui prend en compte les exigences de qualité de service des flux de données dans le réseau, en plus des informations sur la disponibilité des ressources du réseau.

Le routage QoS est utilisé pour assurer que les flux de données reçoivent un niveau de qualité de service prédéfini. Les exigences de qualité de service peuvent inclure des contraintes de

bande passante, de latence, de gigue (variation de la latence), de perte de paquets, etc. Le routage QoS utilise des algorithmes pour sélectionner les chemins optimaux dans le réseau pour les flux de données, en fonction de leurs exigences de qualité de service [REF 2386].

II.8.1.2. Composante du routage

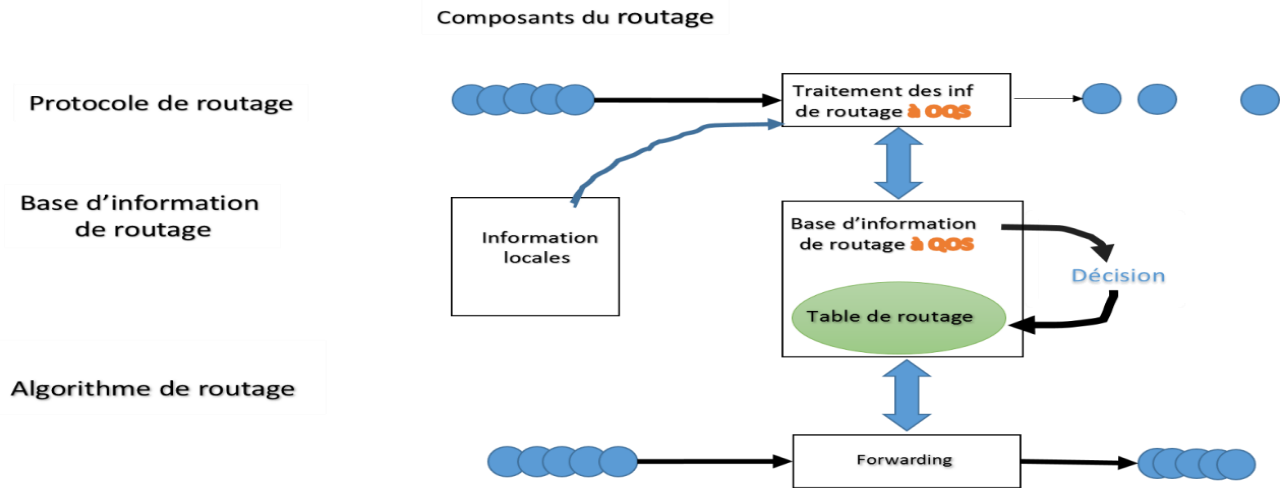


Figure.II.2 : Composante du routage [29] 7

II.9. Problème de planification QOS-AWARE

Notre objectif est d'optimiser la séquence de traitement de la qualité de service (QoS) pour les flux de réseau simultanés générés à partir de canaux/ports de communication différents, mais présentant le même niveau de QoS et arrivant simultanément, tout en respectant le délai maximal toléré exigé par leur niveau de QoS. À la différence des techniques de contrôle d'accès existantes [36], qui ne prennent en compte la simultanéité des flux que pour le même accès au média, notre approche peut être déployée à la fois sur les sources de trafic et sur la passerelle domestique [37].

II.10. Problème de routage basé sur la QoS

Le problème que nous abordons est relatif au routage de QoS qui est une combinaison du problème de contraintes de chemin le plus court (CBSP) et du problème de placement de cache. L'objectif est de trouver le chemin optimal p qui minimise la fonction de coût pour chaque paire de nœuds source-destination (s à t), tout en maximisant la fonction La contribution de cet article consiste à améliorer les travaux antérieurs en prenant en compte des facteurs clés dans le contexte de la communauté intelligente, tels que le routage toutes paires basé sur la QoS multi-contraintes, la fiabilité des différents types d'accès physiques et la solution de placement de cache basée sur la QoS [37].

II.11. Principes généraux de la planification

II.11.1. Définition de planification optimisée dans l'environnement intelligent

La planification optimisée dans l'environnement intelligent se réfère à l'utilisation de techniques avancées de planification pour optimiser l'utilisation des ressources et des systèmes dans un environnement intelligent. Elle implique généralement l'analyse de données en temps réel à partir de capteurs et d'autres sources pour prendre des décisions éclairées sur la manière de planifier et de gérer les ressources dans un environnement donné. L'objectif de la planification optimisée est d'améliorer l'efficacité, la durabilité et la qualité de vie des utilisateurs, tout en minimisant l'impact sur l'environnement et en économisant les coûts.

II.11.2. Approches basées sur la QoS

L'approche basée sur la qualité de service est une méthode de gestion des réseaux informatiques qui vise à assurer la disponibilité et la qualité des services offerts aux utilisateurs. Elle implique la définition de politiques de service, la mise en place de mécanismes de contrôle et de surveillance, et l'allocation de ressources en fonction des besoins des applications et des utilisateurs. Les mécanismes de QoS comprennent généralement des techniques de priorisation, de planification, de contrôle de flux et de congestion, et de garantie de bande passante [38].

II.11.3. Approches basées sur la QoE

L'approche basée sur l'expérience utilisateur QoE est une méthode de gestion des réseaux informatiques qui vise à améliorer l'expérience globale de l'utilisateur en prenant en compte des paramètres subjectifs tels que la satisfaction, la perception de la qualité, la facilité d'utilisation, etc. Contrairement à l'approche basée sur la QoS qui se concentre principalement sur des mesures objectives telles que le débit et la latence, l'approche basée sur la QoE intègre des aspects plus subjectifs et se concentre sur les performances perçues par l'utilisateur final.

Les mécanismes de QoE comprennent généralement des techniques de mesure subjective, telles que des enquêtes et des tests de qualité, ainsi que des techniques de traitement de signal pour extraire des paramètres de qualité pertinents à partir des signaux audio et vidéo [39].

II.11.4. Planification du trafic simultané

La planification du trafic simultané est un processus qui consiste à allouer les ressources du réseau de manière efficace pour satisfaire les demandes concurrentes de plusieurs utilisateurs. Elle est particulièrement importante dans les environnements où il y a une demande

élevée de bande passante, tels que les réseaux de télécommunications, les centres de données, les réseaux d'entreprise, et les réseaux sans fil. La planification du trafic simultané peut inclure des techniques telles que la classification du trafic, la file d'attente et la gestion de congestion, la planification de l'allocation de ressources, la gestion de la qualité de service, et l'optimisation de la performance du réseau [35].

II.12. Conclusion

Les réseaux IoT M2M sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne, grâce à leur capacité à connecter de nombreux appareils intelligents ensemble. Toutefois, pour que ces appareils communiquent efficacement entre eux, il est crucial d'avoir un système de planification et de routage optimisé.

La planification et le routage optimisés dans les réseaux IoT M2M permettent d'améliorer la qualité de service (QoS) et la qualité d'expérience (QoE) des utilisateurs. La QoS se réfère à la qualité du service fourni par le réseau, tandis que la QoE mesure l'expérience utilisateur globale. En assurant une QoS et une QoE élevées, les réseaux IoT M2M peuvent offrir une expérience utilisateur fiable et satisfaisante.

En somme, la planification et le routage optimisés dans les réseaux à environnement intelligent IoT M2M sont essentiels pour offrir une QoS et une QoE élevées, ainsi que pour gérer efficacement le trafic simultané.

CHAPITRE III : Mise en file d'attente dynamique tenant compte de la qualité de service (QoS) pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents

III.1. Introduction

III.2. Le problème du projet

III.3. Le but du projet

III.4. Etat de l'art

III.5. Files d'attente

III.6. Architecture de la solution proposée

III.7. La gestion du trafic hétérogène dans un environnement intelligent

III.8. Apprentissage de la QoS dans une file d'attente [40]

III.9. QoS pour le trafic hétérogène

III.10. Les outils utilisés pour la simulation du projet

III.11. Conception

III.12. Evaluation et résultats expérimentaux

III.13. Partie pratique réel

III.14. Conclusion

III.1. Introduction

La qualité de service est un concept clé dans les réseaux de télécommunication. Il s'agit d'une mesure de la capacité d'un système de fournir un niveau de performance et de disponibilité spécifique pour répondre aux exigences des utilisateurs. Les systèmes de communication modernes, tels que les réseaux de communication, doivent prendre en compte les exigences de QoS pour garantir une expérience utilisateur satisfaisante. La mise en file d'attente est une technique courante utilisée pour gérer le trafic dans les réseaux informatiques. Elle permet de stocker temporairement les paquets de données en transit lorsque les ressources du réseau ne sont pas disponibles immédiatement pour les transmettre. Les files d'attente sont utilisées pour éviter la congestion et les pertes de paquets, et pour garantir une utilisation efficace des ressources du réseau. Les environnements intelligents sont des systèmes informatiques qui utilisent des technologies de pointe, telles que l'Internet des objets pour offrir des fonctionnalités avancées et améliorer l'efficacité. Ces environnements peuvent inclure des objets connectés tels que des capteurs, des appareils IoT et des systèmes de surveillance. Dans ce projet, nous allons explorer la mise en file d'attente dynamique pour la QoS dans les environnements intelligents, avec une attention particulière à la vitesse et à la latence. Notre objectif est de concevoir et de mettre en œuvre une file d'attente dynamique capable de gérer efficacement le trafic hétérogène en prenant en compte les exigences de qualité de service de chaque type de trafic. Nous allons utiliser Python pour implémenter notre solution et évaluer sa performance à l'aide d'outils de simulation.

III.2. La problématique du projet

Malgré son efficacité prouvée dans la gestion de flux de données hétérogènes, la MDQ reste un domaine de recherche actif.

Dans ce chapitre ce problème sera analysé sous deux angles, d'abord une partie pratique avec serveur et client manuellement crée ,répondre a cette question c'est s'interroger sur la façon de simuler et crée un code sur la mise en file d'attente dynamique tenant compte de la qualité de service pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents, puis sur une simulation réelle qui montre le travail fait avec un vrai serveur et de réels clients afin de présenter notre thème global en visuel pour ensuite analyser les résultats.

III.3. Le but du projet

Le but de notre projet est de proposer une solution pour gérer efficacement le trafic hétérogène dans les environnements intelligents en utilisant une file d'attente dynamique qui prend en compte la QoS pour améliorer les performances du réseau en termes de vitesse et de latence.

III.4. Etat de l'art

La mise en file d'attente est une technique bien connue pour gérer le trafic dans les réseaux informatiques. Cependant, les files d'attente traditionnelles peuvent ne pas être adaptées aux environnements intelligents où les exigences de QoS peuvent varier en fonction du type de trafic.

- Plusieurs travaux de recherche ont été réalisés pour améliorer la QoS dans les réseaux informatiques en utilisant des files d'attente dynamiques. Dans une étude de 2019, Bui et al. ont proposé une solution de mise en file d'attente dynamique pour la QoS dans les réseaux de communication mobiles. Leur solution utilise un algorithme de file d'attente dynamique pour classer les paquets de données en fonction de leur priorité et de leur QoS. Les résultats de leur étude ont montré une amélioration significative de la QoS par rapport aux approches traditionnelles de gestion de la file d'attente.
- Une autre étude intéressante a été menée par Hossain et al. en 2018, qui ont proposé une file d'attente dynamique pour la QoS dans les réseaux de capteurs sans fil. Leur solution utilise un algorithme de file d'attente dynamique basé sur la priorité pour réduire les pertes de paquets et améliorer la QoS. Les résultats de leur étude ont montré une réduction significative des pertes de paquets et une amélioration de la QoS par rapport aux approches traditionnelles.
- Plus récemment, en 2021, Kaul et al. ont proposé une solution de file d'attente dynamique pour la QoS dans les réseaux de communication IoT. Leur solution utilise un algorithme de file d'attente dynamique basé sur l'apprentissage par renforcement pour gérer efficacement le trafic hétérogène dans les environnements IoT. Les résultats de leur étude ont montré une amélioration significative de la QoS par rapport aux approches traditionnelles.

- "Adaptive and Real-Time IoT Services with a Queue Management Approach" de Bello et al. (2021) : cet article propose une approche de gestion de file d'attente pour les services IoT en temps réel, qui prend en compte la QoS et la consommation d'énergie des périphériques IoT.
- "Queue Management in 5G Networks: A Comprehensive Survey and Future Directions" de Sheikh et al. (2020) : cet article propose une revue exhaustive de la littérature sur la gestion de file d'attente dans les réseaux 5G, en mettant l'accent sur les défis et les opportunités pour la MQD dans ces réseaux.
- "Dynamic Queue Management for Vehicular Networks: A Reinforcement Learning Approach" de Yao et al. (2019) : cet article propose une approche de gestion de file d'attente pour les réseaux véhiculaires, qui utilise l'apprentissage par renforcement pour optimiser la QoS et la capacité du réseau.

III.5. Files d'attente

III.5.1. Définition

Une file d'attente simple est composée d'un buffer et d'un ou plusieurs serveurs. Les clients sont générés par un processus stochastique et sont servis dans un ordre défini par la discipline de service de la file d'attente. Les temps de service des clients sont également stochastiques et sont supposés indépendants et identiquement distribués (iid). La distribution de service se caractérise donc par une unique variable aléatoire. On note λ comme étant le nombre moyen d'arrivées d'un client par unité de temps (le taux d'arrivée) et μ comme étant le nombre moyen de clients par unité de temps que le serveur peut servir (le taux de service). Le temps de service moyen est donc égal à $1/\mu$ [43].

III.5.2. Modèles Markoviens

Les files d'attente du modèle markovien, sont des systèmes où les deux quantités hasardeuses les durées de service et les temps inter-arrivées sont des variables aléatoires et indépendantes, exponentiellement distribuées. La propriété "sans mémoire" de la loi exponentielle facilite l'analyse de ce modèle.

III.5.3. Modèles non Markoviens

En éliminant l'hypothèse d'exponentialité de l'une des deux quantités hasardeuses les temps des inter-arrivées et les durées de service ou en introduisant des paramètres supplémentaires spécifiques au modèle étudié, on n'aura jamais de processus Markovien. Ce qui rend l'opération d'analyse du modèle très difficile, voire impossible. C'est pourquoi, parfois on se ramène à un processus Markovien.

III.6. Architecture de la solution proposée

L'architecture de la solution proposée est basée sur une architecture client-serveur. Le client envoie une requête au serveur pour traitement, et le serveur renvoie une réponse au client. La solution utilise une file d'attente dynamique pour prioriser les requêtes en fonction de leur QoS évaluée et les traiter dans l'ordre de priorité [41]. La figure ci-dessous montre l'architecture d'un système de file d'attente :

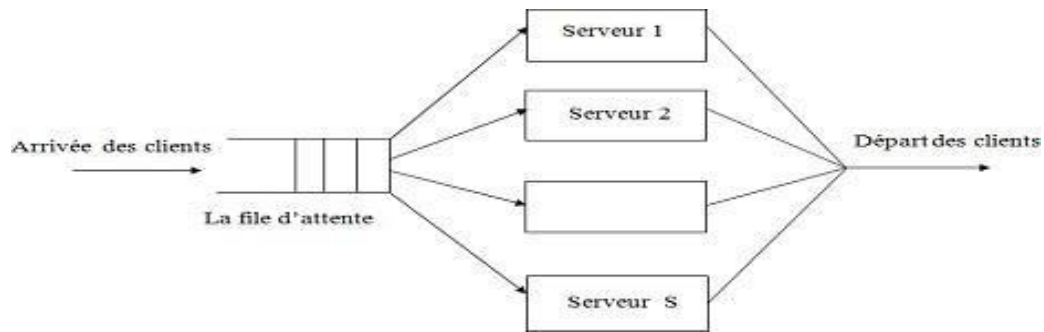


Figure III.1: Architecture d'un système de file d'attente 1

III.6.1. Evaluation de performance des files d'attentes

Au sein d'une file d'attente en état stationnaire, les mesures de performance clés sont le nombre moyen de clients présents dans le système et le temps d'attente moyen des clients. Ces deux valeurs moyennes sont liées par le théorème fondamental de Little, qui énonce que, pour un système d'attente donné avec un taux d'arrivée de clients λ , le nombre moyen de clients dans le système N est égal au produit de λ et du temps d'attente moyen T . Dans l'étude des files d'attente, la théorie des chaînes de Markov est utilisée pour analyser et exprimer de manière analytique le temps d'attente moyen dans certains systèmes d'attente classiques. Les chaînes de Markov sont des processus stochastiques à espace d'état discret qui sont sans mémoire, ce qui signifie que la probabilité d'être dans un état donné à un instant futur dépend uniquement de l'état présent, et non du passé du processus.

Le processus d'arrivée des clients est un processus de Poisson, i.e. les temps inter arrivées suivent une loi exponentielle de paramètre λ , et les temps de service des clients suivent une loi exponentielle de paramètre μ .

La politique de service est de type premier arrivé - premier servi (FIFO : First In First Out). Dans ces files d'attente, le nombre de clients $n(t)$ dans le système à un instant donné t définit une chaîne de Markov à temps continu. L'analyse de ce processus stochastique permet d'exprimer de façon exacte le nombre moyen de clients dans le système.

III.7. La gestion du trafic hétérogène dans un environnement intelligent

La gestion du trafic hétérogène dans un environnement intelligent est un enjeu crucial pour garantir une QoS optimale, notamment en termes de latence et de vitesse, dans une file d'attente. Les systèmes intelligents tels que l'IA et l'apprentissage automatique peuvent aider à relever ces défis en permettant une planification et une allocation efficaces des ressources en temps réel pour chaque type de trafic, tout en optimisant l'utilisation des ressources disponibles. Le traitement rapide des données est également essentiel pour permettre une prise de décision rapide et garantir une QoS satisfaisante pour chaque type de trafic dans un environnement dynamique et changeant [40].

III.8. Apprentissage de la QoS dans une file d'attente [40]

Il existe deux approches pour prendre en compte la qualité de service dans les mécanismes de gestion et de contrôle de trafic : une approche réactive qui mesure les critères de QoS sur le réseau et une approche préventive qui utilise des estimations de la qualité de service. La théorie des files d'attente est souvent utilisée pour estimer de manière exacte ou approximative les critères de qualité de service tels que le délai moyen ou les probabilités de blocage dans différents systèmes d'attente. Cependant, cette approche suppose des hypothèses relativement fortes sur la nature des trafics et des systèmes d'attente.

Une autre approche est proposée pour estimer la qualité de service dans les réseaux. Au lieu de modéliser tous les mécanismes d'un routeur pour formaliser certains critères de qualité de service, cette approche utilise les capacités d'apprentissage et de généralisation des réseaux de neurones pour apprendre la qualité de service à partir d'exemples (d'observations). En fournissant une description du trafic entrant dans un routeur, le réseau de neurones doit fournir une estimation des critères de qualité de service. Trois critères de qualité de service sont considérés dans ce chapitre : la latence et la vitesse.

III.9. QoS pour le trafic hétérogène

La qualité de service (QoS) est un ensemble de critères qui permettent de mesurer et de garantir la qualité de service pour les utilisateurs d'un système de communication ou de traitement de données. La QoS est particulièrement importante pour le trafic hétérogène, qui comprend des flux de données avec des exigences différentes en termes de débit, de latence et de fiabilité. Les critères de QoS comprennent généralement le débit, la latence, la gigue, le taux de

perte de paquets et la disponibilité du service [40].

III.10. Les outils utilisés pour la simulation du projet

Nous avons eu besoin d'un ensemble de données de trafic réel ou simulé pour entraîner notre solution et évaluer ses performances. Ces données devraient être variées et couvrir différents types de trafic avec des exigences de QoS différentes.

III.10.1. Logiciel utilisé

Nous utiliserons principalement Python pour la conception et l'implémentation de notre solution de file d'attente dynamique basée sur la QoS pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents. Nous utiliserons également Visio Code Studio pour faciliter la manipulation de données, l'apprentissage automatique et la visualisation des résultats, notamment.

III.10.1.1. Python

Nous avons utilisé Python comme langage de programmation pour implémenter notre solution. Nous aurions donc besoin d'une installation de Python sur notre ordinateur.



Figure III.2: Logo Python 2

III.10.1.1. Un environnement de développement intégré (IDE)

Nous avons utilisé un IDE tel que **Visio Studio Code** pour faciliter la gestion de notre projet, l'écriture de code et l'exécution de notre solution.

Visual Studio Code est un éditeur de code source léger, gratuit et open-source développé par Microsoft. Il est utilisé pour écrire, modifier et déboguer du code dans de nombreux langages de programmation tels que Python, C++, Java, JavaScript, HTML, CSS, etc.

Visual Studio Code offre un large éventail de fonctionnalités pour améliorer la productivité des développeurs, comme la coloration syntaxique, l'auto complétion, la vérification du code, la détection des erreurs, la refonte de code, la gestion des versions, l'intégration avec

des outils de développement tiers, et bien plus encore. La figure ci-dessous démontre de logo du Visio Code Studio



III.10.1. Un logiciel tableur EXCEL

Excel est un logiciel de tableur développé et édité par Microsoft. Il est utilisé pour créer, manipuler et analyser des données sous forme de feuilles de calcul. Les feuilles de calcul sont constituées de lignes et de colonnes, où chaque cellule peut contenir du texte, des nombres ou des formules. Les données peuvent être organisées, triées et filtrées pour faciliter leur analyse.

Excel est couramment utilisé dans les entreprises pour effectuer des tâches telles que la gestion de budgets, la tenue de registres, la création de graphiques et de tableaux croisés dynamiques, l'analyse de données et la création de rapports. Il est également utilisé dans les domaines scientifiques pour l'analyse de données expérimentales, et dans les domaines financiers pour la gestion de portefeuilles et l'analyse de données financières.

Lorsque Python est relié à Excel, cela signifie que Python peut être utilisé pour automatiser des tâches dans Excel, pour analyser des données dans Excel, ou pour manipuler des données stockées dans des fichiers Excel. Avec l'ide de format de fichier CSV.

III.10.1.1. Un format texte ouvert CSV

La CSV est un format de fichier utilisé pour stocker des données sous forme de tableaux, où chaque ligne représente une entrée de la table et chaque colonne représente un champ de données. En Python, le module "csv" de la bibliothèque standard peut être utilisé pour lire et écrire des fichiers CSV, et pour manipuler des données CSV en utilisant des fonctions personnalisables.

En utilisant un fichier CSV, les données peuvent être organisées dans des colonnes et des lignes, ce qui peut aider à faciliter la gestion des files d'attente. Pour implémenter une file d'attente dynamique, on utilise des formules Excel pour trier les données en fonction de la QoS, telle que la latence et la vitesse comme pour la manipulation que nous allons pratiquer.

On crée une colonne pour la priorité de chaque demande de service en fonction de sa QoS, et utiliser des formules Excel telles que la fonction "SI" pour attribuer une valeur de priorité

à chaque demande de service. Ensuite, on trie les données en fonction de la priorité et de la latence et vitesse la plus haute ou plus rapide à l'aide de la fonction "Trier".

En ce qui concerne le nombre de clients, on définit une limite pour le nombre de demandes de service qui peuvent être en attente à tout moment.

III.11. Conception

Notre approche de conception utilise un algorithme de file d'attente dynamique basé sur la priorité pour classer les paquets de données en fonction de leur QoS. Les paquets de données sont classés en plusieurs niveaux de priorité, en fonction de leur type de trafic et des exigences de QoS associées à chaque type de trafic. Les paquets de données de haute priorité seront traités en premier, tandis que les paquets de données de faible priorité seront traités en dernier.

Pour déterminer la priorité de chaque paquet de données, nous avons établi un système de notation de priorité qui prend en compte plusieurs facteurs tels que la latence et la vitesse. Nous avons également inclus des mesures de qualité de service spécifiques pour chaque type de trafic, telles que le débit maximum et minimum garanti, le retard et le gig tolérable.

Enfin, notre approche de conception inclut des techniques d'optimisation pour minimiser la latence et maximiser la vitesse de transmission des paquets de données. Nous avons utilisé des algorithmes d'optimisation pour trouver le meilleur ordre de traitement des paquets de données dans la file d'attente, en fonction de leurs priorités et des exigences de QoS associées.

III.12. Evaluation et résultats expérimentaux

La partie pratique de notre travail repose sur l'implantation d'une file d'attente dynamique prenant en compte la qualité de service pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents. Après avoir réalisé une simulation en utilisant Python, nous avons créé une file d'attente comprenant 10 clients et nous avons enregistré les données de la latence et de la vitesse pour chaque client. Les résultats montrent que les cinq premiers clients présentent des performances relativement proches de leurs attentes, tandis que la performance diminue pour les clients de 6 à 10.

Afin de mieux comprendre ces résultats, nous avons analysé séparément les graphiques et les commentaires relatifs à la moyenne de la latence, la moyenne de la vitesse et la moyenne de la performance de la latence et la vitesse. Cette approche permet d'appréhender plus clairement les différents aspects de l'étude.

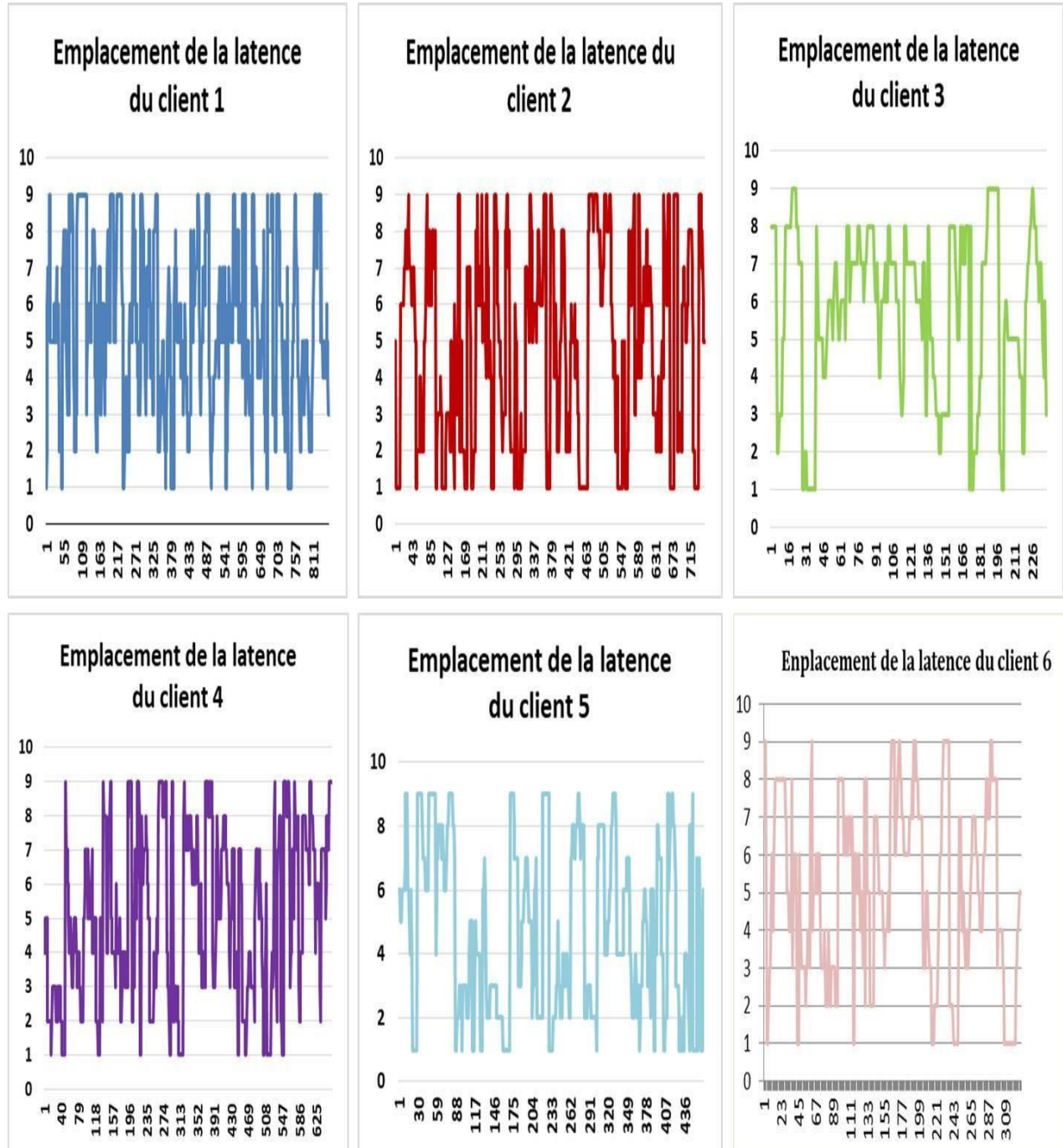


Figure III.4: Graphique des emplacements de la latence des clients 1 à 6

Commentaire

En comparant les données de latence entre les clients 1 à 5, on peut observer une différence significative. En effet, la moyenne de latence est élevée pour le client 1, ce qui suggère que cet emplacement se trouve en dernière position dans la liste des clients classés selon leur moyenne de latence. En revanche, pour la vitesse de transmission des données (c), la situation est inverse : le client 5 obtient des résultats plus rapides, ce qui indique que cet emplacement est classé en première position dans la liste des clients selon leur vitesse de transmission des données.

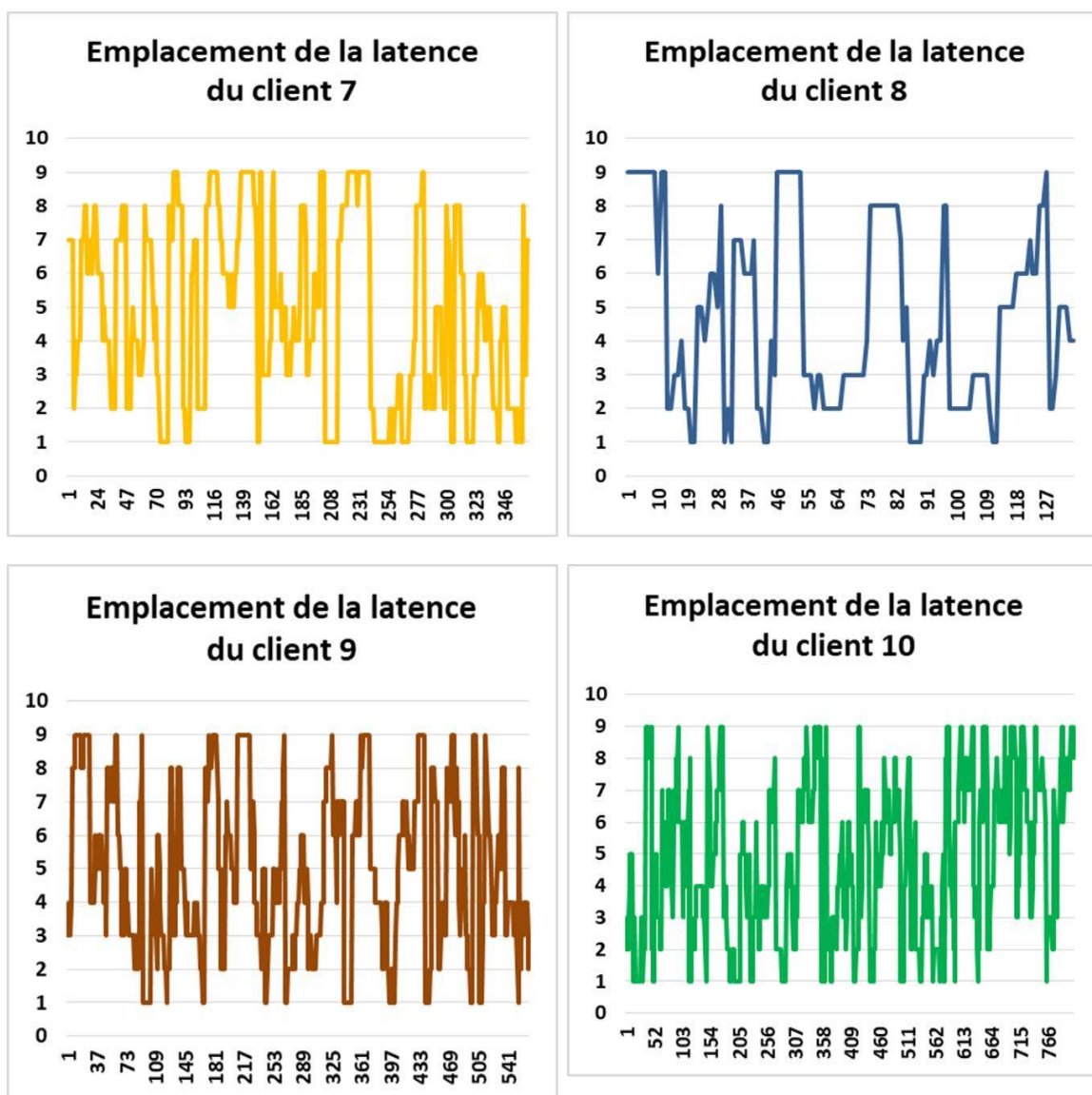


Figure III.5: Graphique des Emplacement de la latence des clients 7 à 10 4

Commentaire

En procédant à une comparaison des données de latence entre les clients 6 à 10, une différence évidente peut être observée. En effet, la moyenne de latence est élevée pour le client 6, ce qui suggère que cet emplacement se situe en dernière position dans la liste des clients classés selon leur moyenne de latence. En revanche, pour la vitesse de transmission des données (c), la situation est inverse : le client 10 présente des résultats plus rapides, ce qui indique que cet emplacement est classé en première position dans la liste des clients selon leur vitesse de transmission des données.

Lorsque l'on compare les données de latence et de vitesse entre les clients 1 à 10 on constate que les emplacements présentent des performances insatisfaisantes. Cette diminution de la performance peut être due à la présence d'un nombre accru de clients à chaque ajout de client la performance se détériore, ce qui peut entraîner une augmentation de la latence et une diminution de la vitesse de transmission des données.

Analyse de la latence

Moyenne de la latence #1	226,0755
Moyenne de la latence #2	220,7513
Moyenne de la latence #3	223,1976
Moyenne de la latence #4	220,6919
Moyenne de la latence #5	225,9406
Moyenne de la latence #6	222,4633
Moyenne de la latence #7	218,8009
Moyenne de la latence #8	212,2105
Moyenne de la latence #9	222,1892
Moyenne de la latence #10	219,6489

Tableau III.1: Analyse de la latence

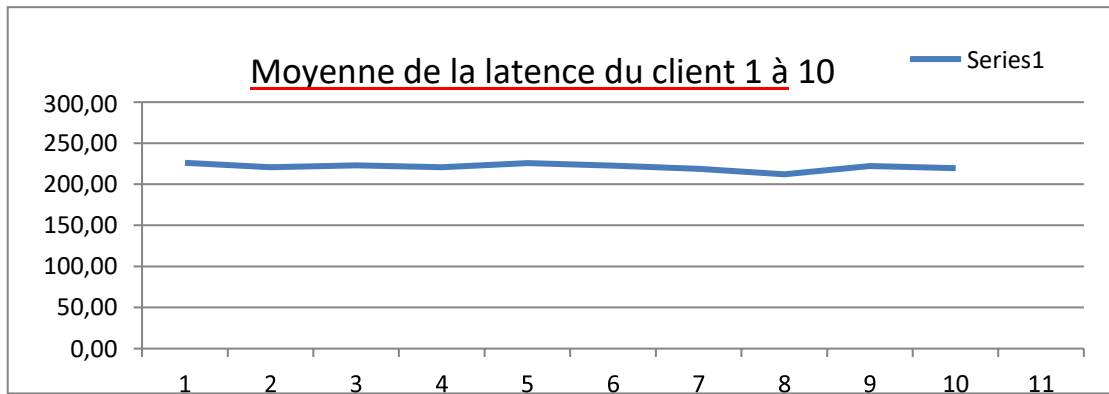


Figure III.6: Graphique de la moyenne de la latence des clients 1 à 10 5

Commentaire

En analysant la latence entre les 10 clients, on peut observer que leur moyenne présente peu de différences. Ce manque de séparation entre les différentes mesures de latence est illustré par le graphique. En conséquence, lorsqu'on classe les clients selon leur latence, il y a peu de différences entre le premier et le dernier client de la file d'attente.

Analyse de la vitesse

Moyenne de la vitesse #1	35,18106
Moyenne de la vitesse #2	30,73349
Moyenne de la vitesse #3	27,14939
Moyenne de la vitesse #4	23,50247
Moyenne de la vitesse #5	20,16272
Moyenne de la vitesse #6	16,73269
Moyenne de la vitesse #7	13,22127
Moyenne de la vitesse #8	9,636724
Moyenne de la vitesse #9	6,33926
Moyenne de la vitesse #10	2,979283

Tableau III.2: Analyse de la vitesse 1

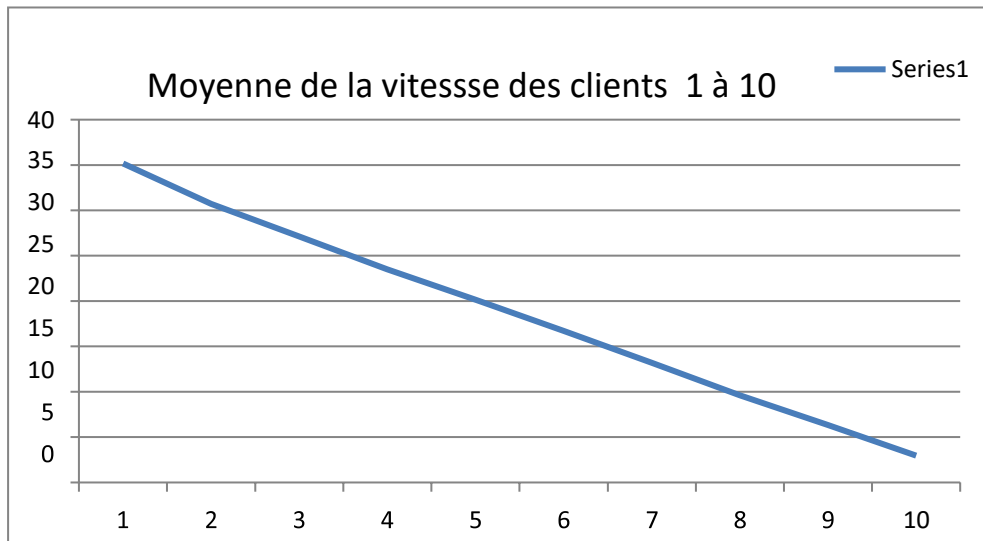


Figure III.7: Graphique de la moyenne de la vitesse des clients 1 à 10 6

Commentaire

En revanche, lorsqu'on analyse la vitesse de transmission des données entre les 10 clients, on peut observer le contraire : il y a une grande différence entre les mesures de vitesse, ce qui se reflète par un grand espace entre les clients dans le graphique. Cette séparation accrue entre les mesures de vitesse indique qu'il y a plus d'emplacement et de séparation pour la transmission de données entre les différents clients, ce qui peut favoriser une transmission plus rapide et plus efficace des données.

Lorsque l'on compare les données de latence et de vitesse s entre le client 1 et le client 10, il est constaté que les deux emplacements présentent des performances insatisfaisantes. Cette diminution de la performance peut être due à la présence d'un nombre accru de clients, ce qui peut entraîner une augmentation de la latence et une diminution de la vitesse de transmission des données.

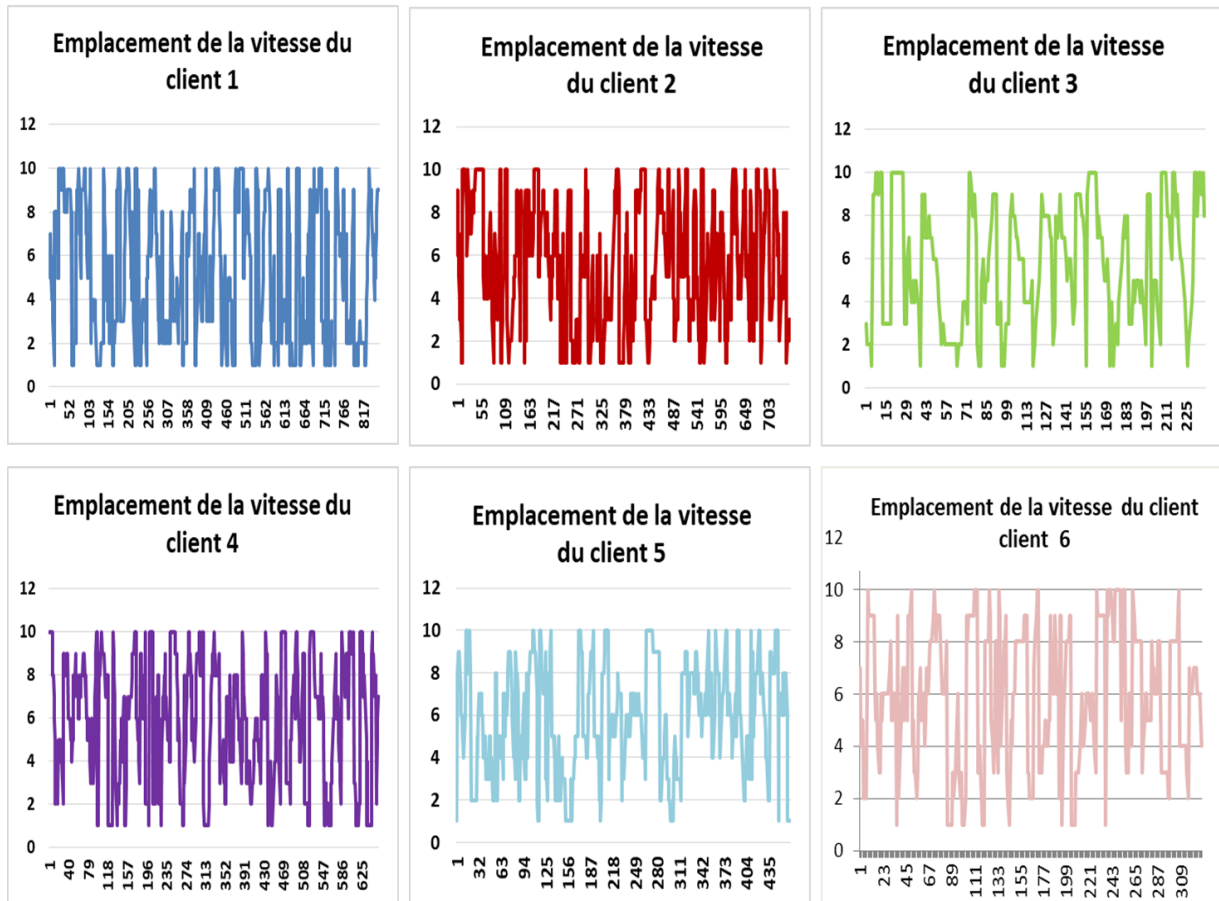


Figure III.8: Graphique des Emplacements de la vitesse des clients de 1 à 6 7

Commentaire

En revanche, pour la vitesse c'est inverse : le client 5 obtient des résultats plus rapides, ce qui indique que cet emplacement est classé en première position dans la liste des clients selon leur vitesse de transmission des données.

Les données de latence entre le client 1 et le client 5, on peut constater une différence significative. En effet, le client 5 présente une latence moyenne plus faible que le client 1, ce qui indique que l'emplacement du client 5 est mieux classé en termes de latence moyenne. En revanche, pour ce qui est de la vitesse de transmission des données, la situation est inversée : le client 1 présente une vitesse moyenne plus élevée que le client 5, ce qui indique que l'emplacement du client 1 est mieux classé en termes de vitesse moyenne de transmission des données

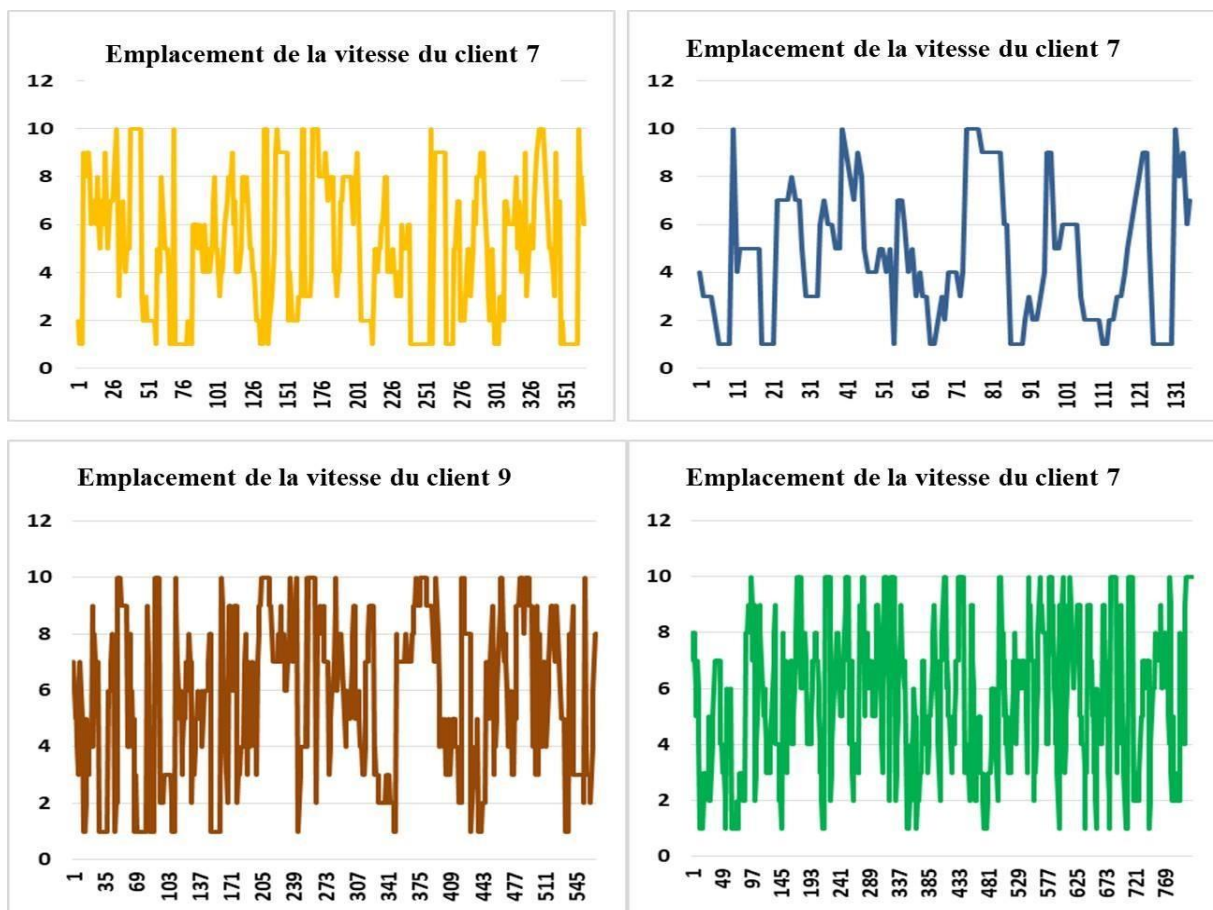


Figure III.9 : Graphique des Emplacement de vitesses des clients 7 à 10 8

CHAPITRE III : Mise en file d'attente dynamique tenant compte de la qualité de service (QOS) pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents

Moyenne de la latence	226,0755
Moyenne de la vitesse	13,42752
Moyenne de l'emplacement de la latence	5,5
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,298368
Moyenne du gig	9,502121

Client 1

Moyenne de la latence	220,7513
Moyenne de la vitesse	15,86929
Moyenne de l'emplacement de la latence	4,914667
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,741333
Moyenne du gig	10,37998

Client 2

Moyenne de la latence	223,1976
Moyenne de la vitesse	11,44948
Moyenne de l'emplacement de la latence	5,764706
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,756303
Moyenne du gig	18,60634

Client 3

Moyenne de la latence	220,6919
Moyenne de la vitesse	14,63667
Moyenne de l'emplacement de la latence	5,107739
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,837633
Moyenne du gig	11,7919

Client 4

Moyenne de la latence	225,9406
Moyenne de la vitesse	15,22518
Moyenne de l'emplacement de la latence	4,778017
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,87931
Moyenne du gig	12,94512

Client 5

Moyenne de la latence	218,8009
Moyenne de la vitesse	15,22457
Moyenne de l'emplacement de la latence	4,838356
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,10137
Moyenne du gig	11,362

Client 7

Moyenne de la latence	212,2105
Moyenne de la vitesse	13,63749
Moyenne de l'emplacement de la latence	4,762963
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	4,703704
Moyenne du gig	14,19854

Client 8

Moyenne de la latence	222,1892
Moyenne de la vitesse	15,03995
Moyenne de l'emplacement de la latence	4,95053
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,689046
Moyenne du gig	10,51868

Client 9

Moyenne de la latence	219,6489
Moyenne de la vitesse	15,93433
Moyenne de l'emplacement de la latence	4,736777
Moyenne de l'emplacement de la vitesse	5,753998
Moyenne du gig	9,833923

Client 10

Figure III.10: Moyenne de la vitesse, la latence et leurs emplacements et de leurs gig des clients 1 à 10

Commentaire

La latence n'est pas constante, elle varie selon le nombre de clients dans la file d'attente, le graphique et tableau du dessus représenteront les variations en montrant la différence de l'emplacement de la latence entre les différentes mesures. Ces variations peuvent causer des perturbations.

Le classement de la latence présente une variation aléatoire, fluctuant légèrement sans connaître des variations extrêmes.

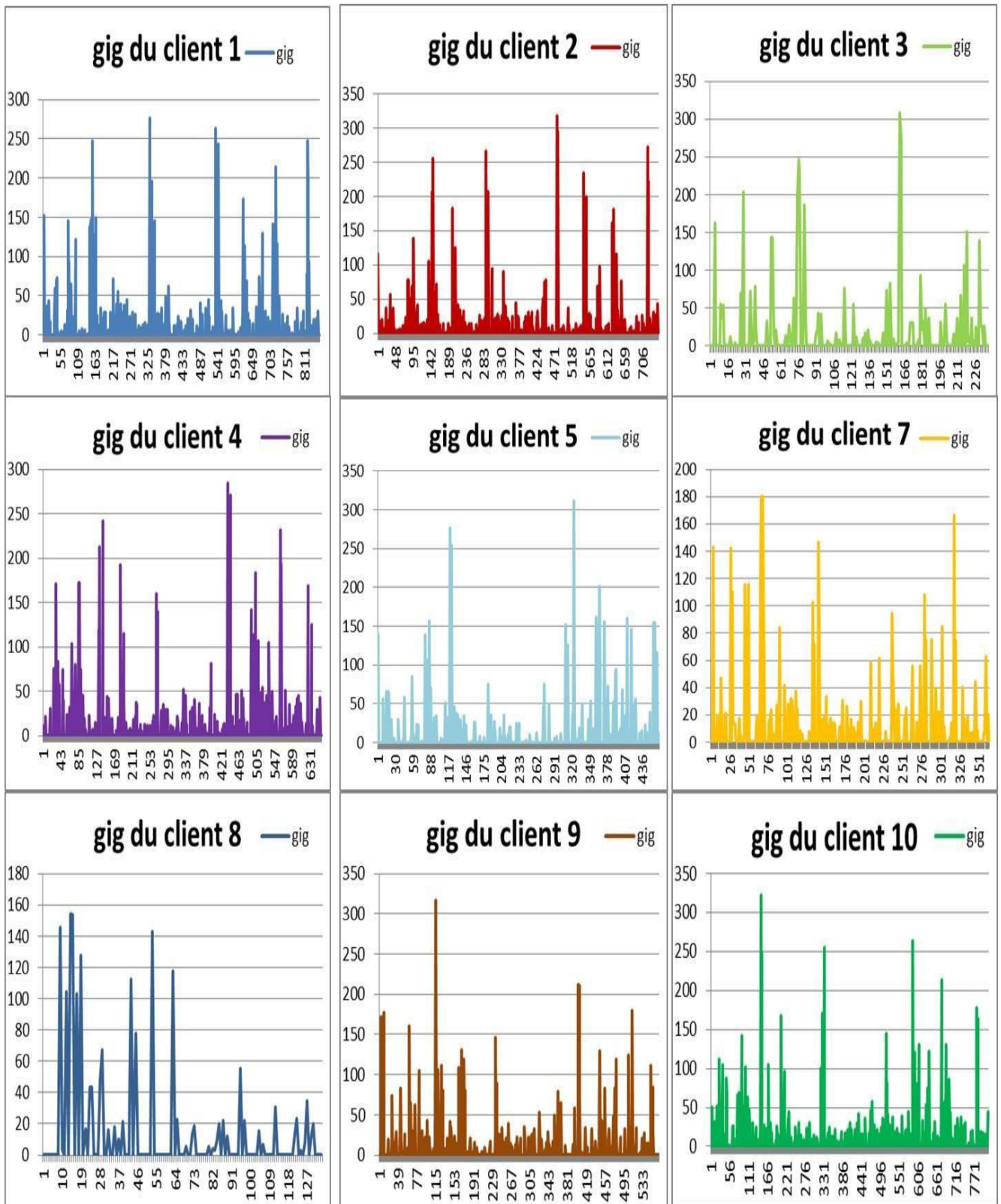


Figure III.11: Graphique du gig des client 1 à 10

Commentaire

Le terme "gig" fait référence à l'instabilité de la latence. Lorsqu'il est élevé chez un client spécifique, cela signifie qu'il est nécessaire d'effectuer une optimisation pour ce client en particulier. En revanche, si le gig augmente de manière constante chez tous les clients, cela indique un problème potentiel dans le réseau. Il est important de souligner que le gig n'est pas lié à la vitesse, mais uniquement à la latence.

Moyenne du gig du client 1	9,502121
Moyenne du gig du client 2	10,37998
Moyenne du gig du client 3	18,60634
Moyenne du gig du client 4	11,7919
Moyenne du gig du client 5	12,94512
Moyenne du gig du client 6	« Retard »
Moyenne du gig du client 7	11,362
Moyenne du gig du client 8	14,19854
Moyenne du gig du client 9	10,51868
Moyenne du gig du client 10	9,833923

Tableau III.3: Moyenne du gig des 10 clients 2

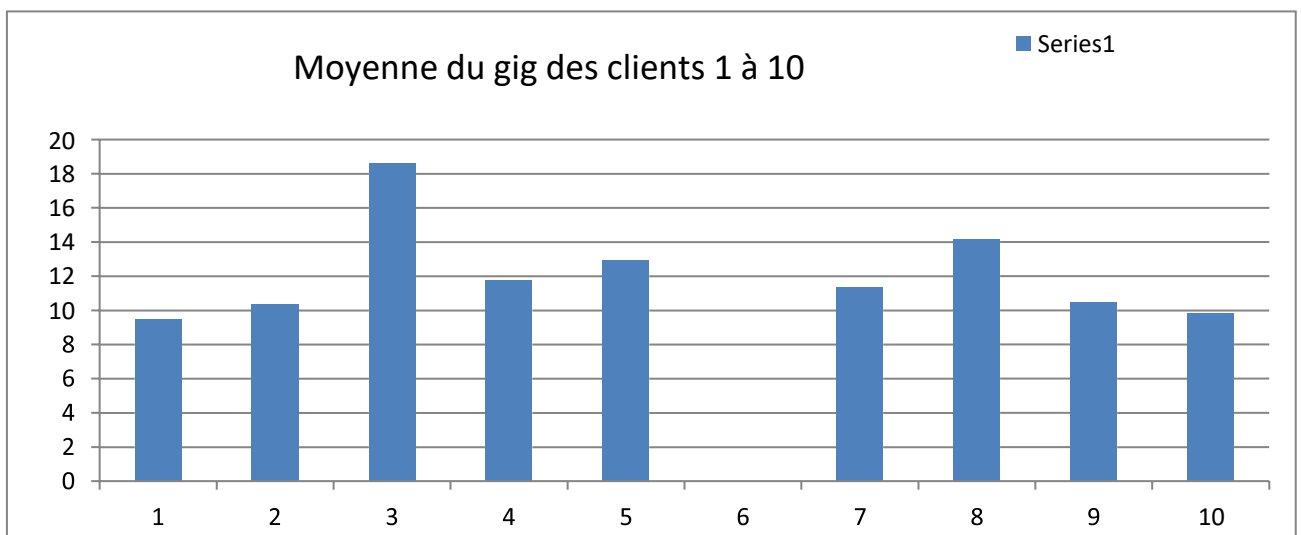


Figure III.12: Histogramme de la moyenne du gig des 10 clients 11

Commentaire

Comme nous l'avons cité dans le commentaire au-dessus lorsqu'un client a un gig élevé cela signifie qu'il est nécessaire d'effectuer une optimisation pour ce client en particulier dans notre file d'attente le client 3 a besoin d'une optimisation car la différence entre les autres clients est grandement visible sur l'histogramme du dessus, et pour ce qui est du client 6 nous avons mentionné précédemment qui a eu un retard donc celui-ci est hors de la file d'attente.

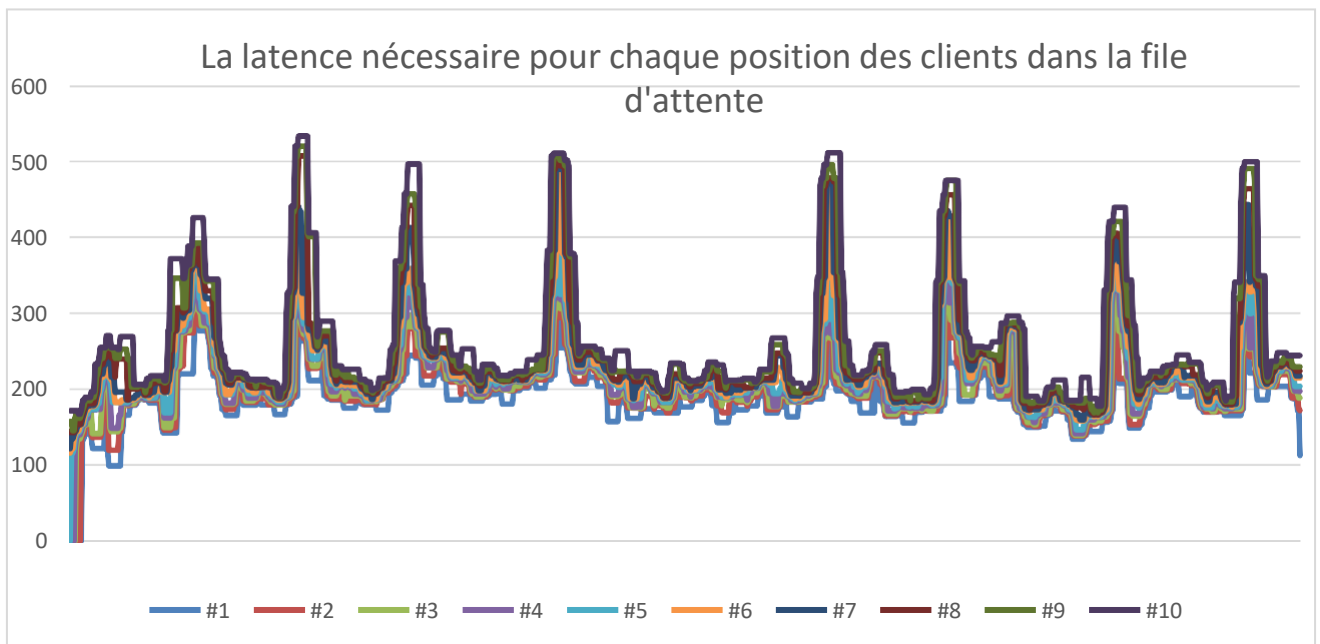


Figure III.13: Graphique de la latence nécessaire pour chaque position des clients dans la file d'attente 12

Commentaire

Le classement dans lequel les clients se trouve est instable parmi les clients de 1 à 10 en fonction de la latence. Nous avons pris en compte la latence spécifique à chaque client pour cette position. Cependant, cela ne nous intéresse pas ici de savoir quelle place les clients ont occupée, car ce qui nous importe, c'est simplement leur latence respective. Après avoir analysé chaque client, nous aurons besoin de leur classement et de leur position dans ce classement.

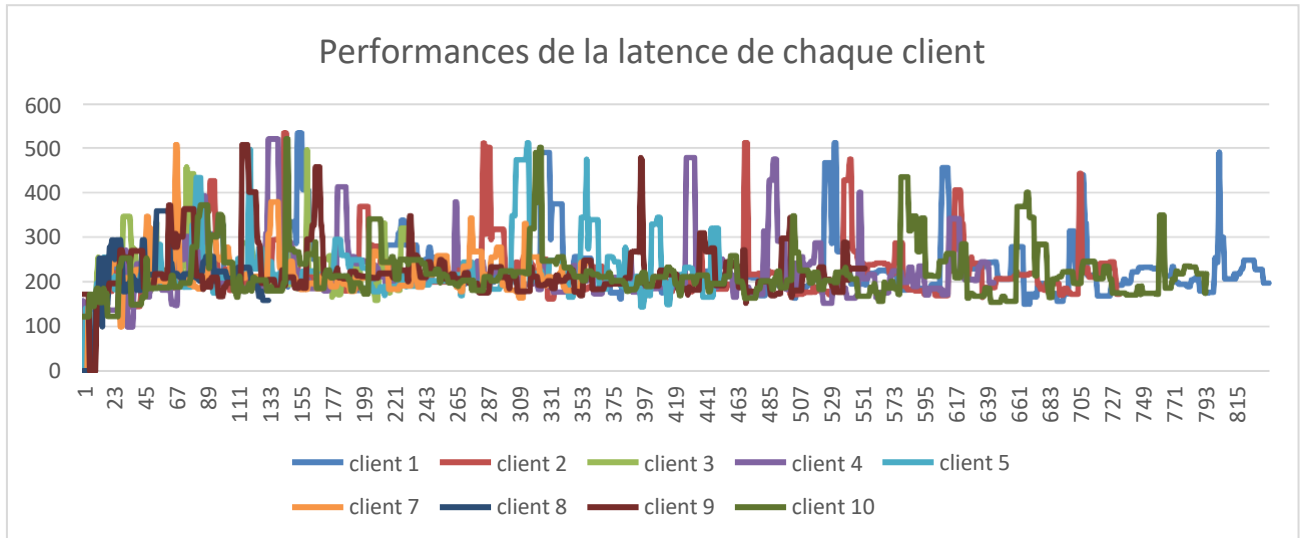


Figure III.14: Graphique de la performance de la latence de chaque client 13

Commentaire

Dans cette étude, nous avons pris en considération la latence de tous les clients en fonction du temps d'échantillonnage. Ainsi, chaque client dispose d'une valeur de latence spécifique, qui est corrélée à son classement dans l'ensemble des clients.

En analysant la latence de chaque client et en la comparant à d'autres clients, nous pouvons avoir une idée de l'instabilité de la connexion individuelle ou du réseau en général, ce qui nous aide à déterminer si nous devons optimiser la connexion client-serveur des clients sous-performant ou essayez d'optimiser les performances du réseau en général ou de réduire le nombre de clients dans le réseau tous ensemble. Selon le graphique de performance de la latence de chaque client, il est évident que le client 6 n'est pas représenté contrairement aux autres clients. Ceci est dû à un retard notable, puisqu'il n'a pas réussi à suivre la file d'attente et a été exclu du graphique.

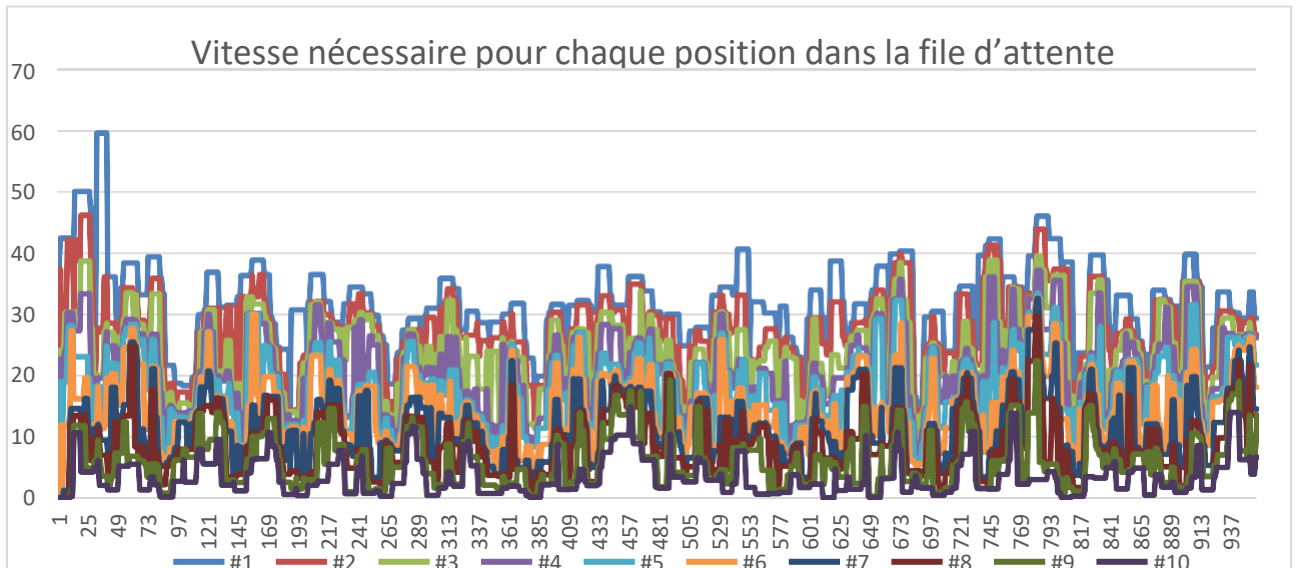


Figure III.15: Graphique de la vitesse nécessaire pour chaque position dans la file d'attente 14

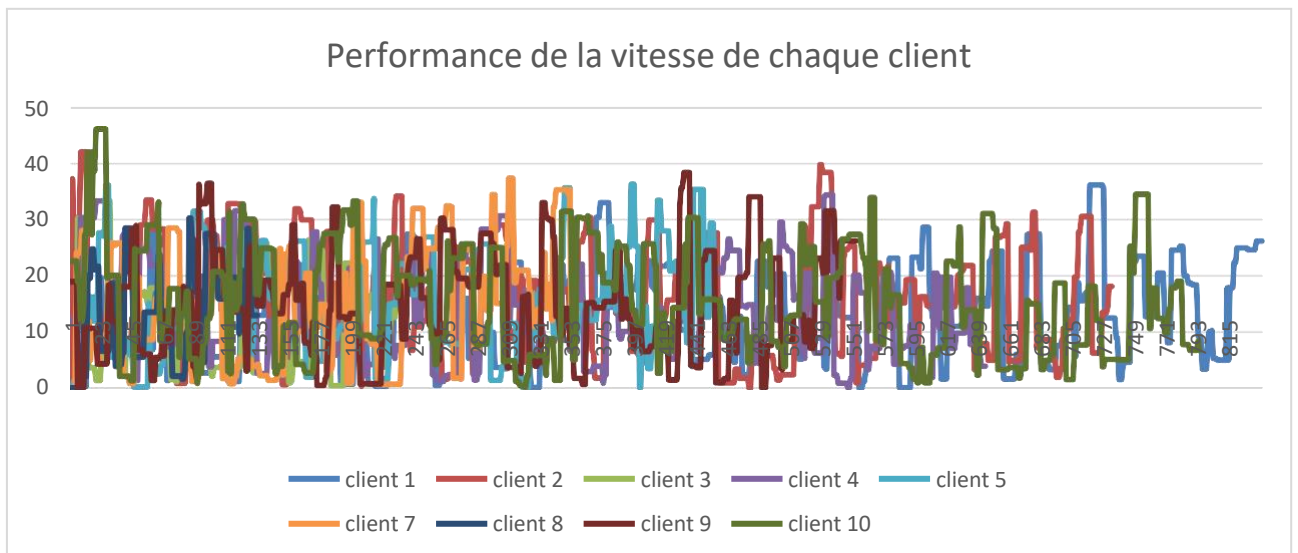


Figure III.16: Graphique de la performance de la vitesse de chaque client 15

Commentaire

L'analyse des graphiques révèle une différence plus marquée entre les performances requises pour accéder à certaines positions dans la file d'attente. Cette distinction plus prononcée facilite le contrôle sélectif des positions attribuées à chaque client.

Cette distinction permet une gestion plus précise de la vitesse attribuée à chaque client, offrant ainsi un contrôle plus efficace que celui basé sur la latence.

Parmi les clients, on observe une variation significative de débit, leur permettant de circuler sans compromettre leur position respective dans la file d'attente.

III.13. Partie pratique réel :

Le but de notre travail concerne l'implémentation d'une file d'attente dynamique dans le contexte du trafic hétérogène dans les environnements intelligents, en prenant en considération la qualité de service tel la latence et la vitesse. Dans cette étude, nous avons réalisé une simulation en utilisant le langage de programmation Python.

L'expérience s'est déroulée en utilisant cinq ordinateurs, avec chaque ordinateur hébergeant deux clients. Nous avons donc créé une file d'attente comprenant 10 clients. Afin de permettre l'exécution de la file d'attente sur un même réseau local, Nous avons copié l'adresse IP au serveur et nous l'avons copiée sur chaque client qui chacun a son code. Cette configuration m'a permis d'obtenir des mesures de latence et de vitesse pour chaque client. Cette approche a été adoptée pour évaluer la performance de la file d'attente dans un environnement réel, où le trafic est potentiellement hétérogène.

Il est essentiel que tous les clients dans la même file d'attente soient connectés au même réseau local.



Figure III.17: Prise de photo de notre pratique réel 16

Le code créé est responsable de trier, séparer et effectuer les tâches pour chaque client dans la file d'attente.

CHAPITRE III : Mise en file d'attente dynamique tenant compte de la qualité de service (QOS) pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents

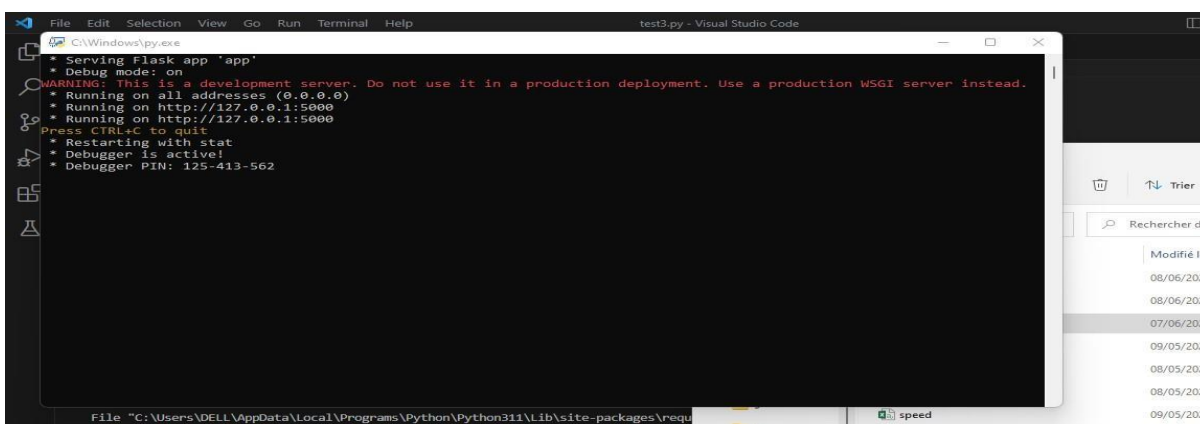


Figure III.18: Capture d'écran de l'adresse IP utilisé 17

Il est essentiel que tous les clients dans la même file d'attente soient connectés au même réseau local.

Voici le code que j'ai utilisé :

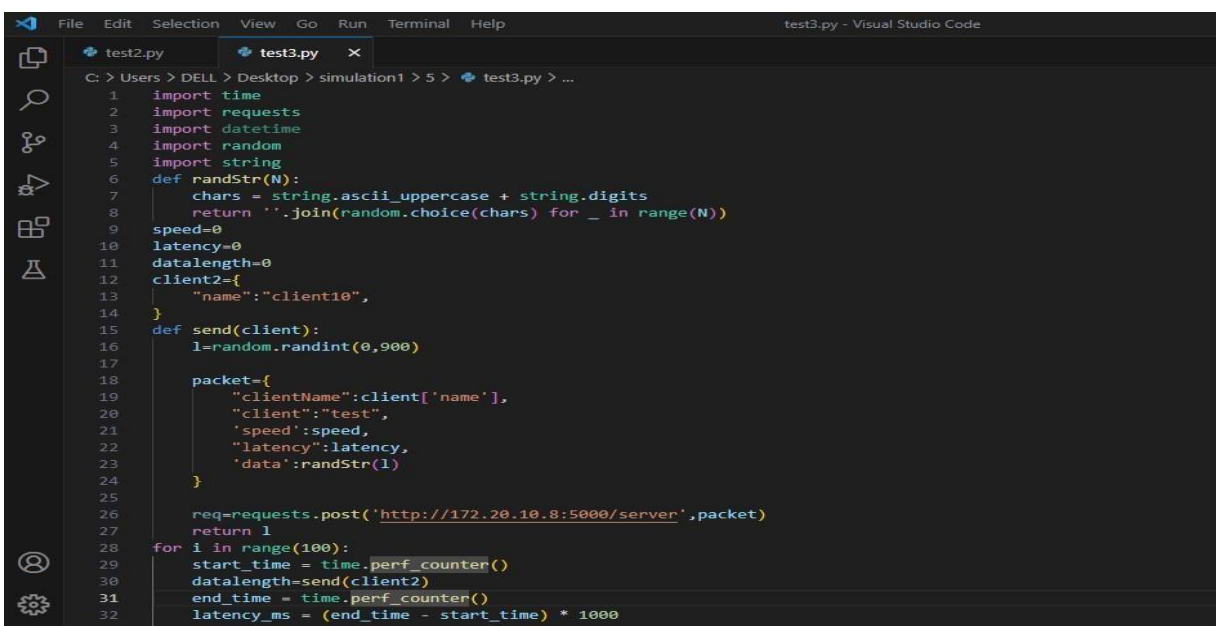


Figure III.19: Capture d'écran du code utilisé 18

Commentaire :

La latence est imprévisible, engendrant des effets qui échappent à notre influence, contrairement à la vitesse qui peut être maîtrisée.

Dans cette configuration, le serveur trie les clients en fonction de leur position dans la file d'attente. Par exemple, le premier client dans la file d'attente sera identifié et les informations concernant sa vitesse et sa latence seront enregistrées et ainsi de suite. Si un client n'est pas affiché, cela signifie généralement qu'il n'est pas encore arrivé au serveur ou qu'il

CHAPITRE III : Mise en file d'attente dynamique tenant compte de la qualité de service (QOS) pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents

présente un retard évident dans sa connexion. Comme dans le pratique précédent le client6 représente bien qu'il n'est pas arrivé.

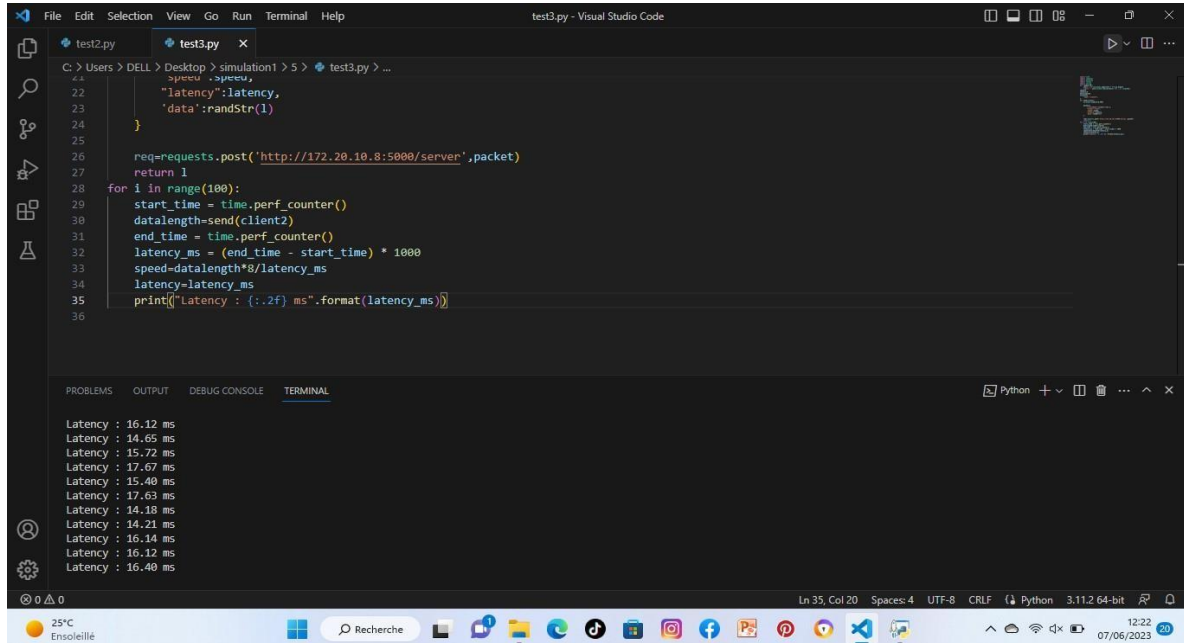


Figure III.20: Capture d'écran du résultat de la latence d'un des client créé 20

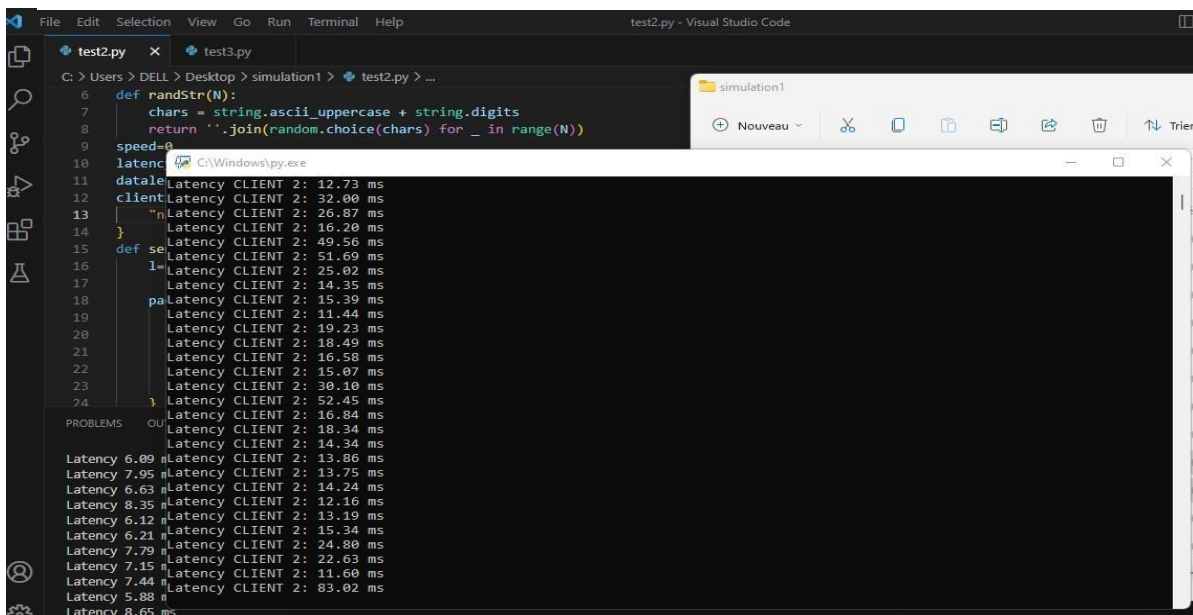


Figure III.21: Capture d'écran du résultat d'un autre client 19



```
C:\WINDOWS\py.exe
latency: 16.11 ms
latency: 16.92 ms
latency: 16.63 ms
latency: 17.25 ms
latency: 16.91 ms
latency: 22.10 ms
latency: 20.36 ms
latency: 17.21 ms
latency: 16.16 ms
latency: 21.11 ms
latency: 16.69 ms
latency: 19.77 ms
latency: 19.33 ms
latency: 21.31 ms
latency: 16.16 ms
latency: 16.86 ms
latency: 17.48 ms
latency: 17.36 ms
latency: 16.38 ms
latency: 17.91 ms
latency: 16.92 ms
latency: 17.09 ms
latency: 20.18 ms
latency: 16.53 ms
latency: 232.97 ms
latency: 150.98 ms
latency: 20.13 ms
latency: 264.60 ms
latency: 18.32 ms
```

Figure III.22: Capture d'écran d'un client d'un autre ordinateur 21



```
C:\WINDOWS\py.exe
latency: 21.15 ms
latency: 75.40 ms
latency: 34.15 ms
latency: 46.88 ms
latency: 27.86 ms
latency: 86.89 ms
latency: 30.18 ms
latency: 35.69 ms
latency: 42.56 ms
latency: 92.43 ms
latency: 41.69 ms
latency: 39.88 ms
latency: 18.73 ms
latency: 26.11 ms
latency: 102.54 ms
latency: 19.96 ms
latency: 45.26 ms
latency: 19.53 ms
latency: 18.34 ms
latency: 74.43 ms
latency: 301.37 ms
latency: 41.30 ms
latency: 98.41 ms
latency: 77.63 ms
latency: 149.50 ms
latency: 80.50 ms
latency: 109.09 ms
latency: 58.25 ms
latency: 40.44 ms
```

Figure III.23: Capture d'écran de la latence d'un autre client sur un autre ordinateur 22

Commentaire :

La performance du réseau dépend du nombre des clients, le type de QoS utilisé favorise les types de client différents. Il faut choisir la qualité de service qui aide nos clients les plus important donc les clients les plus performants.

CHAPITRE III : Mise en file d'attente dynamique tenant compte de la qualité de service (QOS) pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents

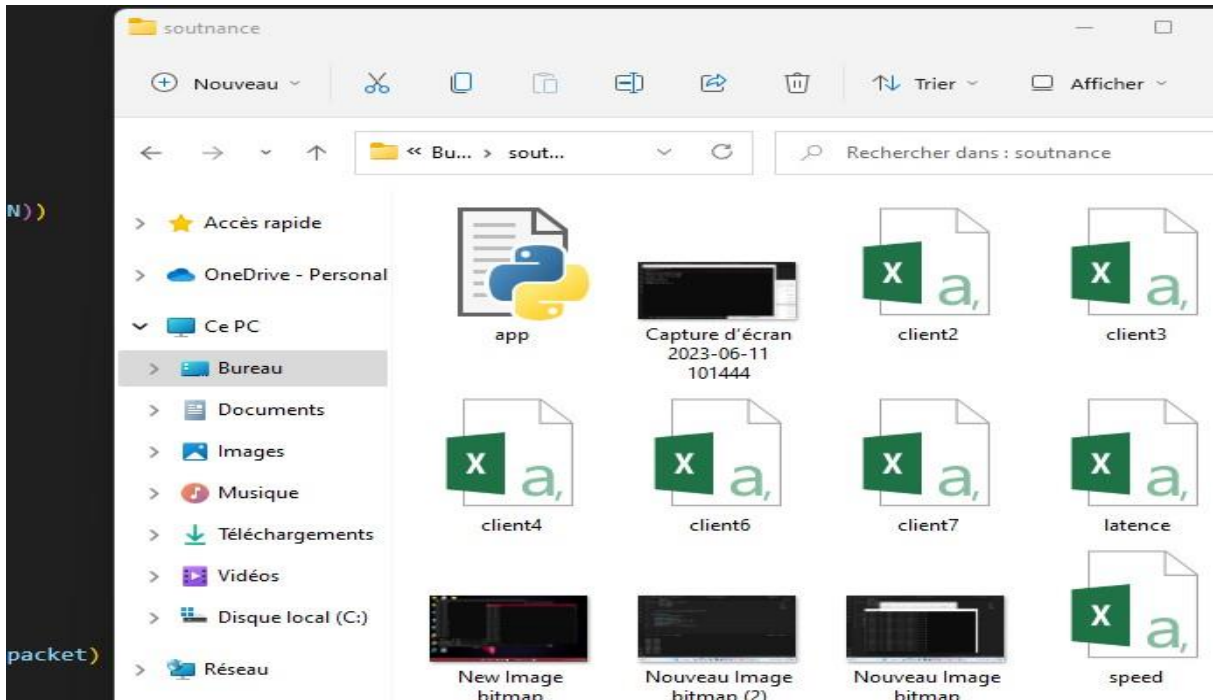


Figure III.24: Capture d'écran des fichier EXCEL ajouté par le code grâce au CSV 23

Dans cette configuration, le client envoie des scripts de lettres de manière aléatoire. Avant d'envoyer chaque script, le client collecte des informations telles que le nombre de paquets multipliés et fusionnés, le nombre d'allers-retours effectués par le paquet, la taille des paquets et calcule la latence et la vitesse de la connexion bidirectionnelle. Toutes ces données sont ensuite transmises au serveur.

Le serveur compile ces informations et crée une liste triée en fonction de la latence, et parfois en fonction de la vitesse. Ces données sont généralement enregistrées dans des fichiers CSV pour une analyse ultérieure sur EXCEL Comme le démontre les images suivantes

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	#1	#1	#1	#2	#2	#2	#3	#3	#3	#4	#4	#5	#5	#6	#6	#6	#7	#7	#7	#7
2	0	0	client5	0	0	client7	0	0	client3	0	0	client8	0	0	client6	116,2045	37,313529	client1	121,887	22,643924
3	0	0	client7	0	0	client3	0	0	client8	0	0	client6	116,2045	37,313529	client1	121,887	22,643924	client9	134,8852	42,406432
4	0	0	client7	0	0	client3	0	0	client8	0	0	client6	121,887	22,643924	client9	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041
5	0	0	client7	0	0	client3	0	0	client8	0	0	client6	121,887	22,643924	client9	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041
6	0	0	client3	0	0	client8	0	0	client6	121,887	22,643924	client9	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	143,1682	24,136067
7	0	0	client8	0	0	client6	121,887	22,643924	client9	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	143,1682	24,136067	client10	145,5017	11,931132
8	0	0	client8	0	0	client6	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	143,1682	24,136067	client10	145,5017	11,931132	client5	152,3921	0,314977
9	0	0	client8	0	0	client6	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	143,1682	24,136067	client10	145,5017	11,931132	client5	152,3921	0,314977
10	0	0	client8	0	0	client6	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	143,1682	24,136067	client10	145,5017	11,931132	client5	152,3921	0,314977
11	0	0	client8	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	145,5017	11,931132	client5	152,3921	0,314977	client9	153,2238	28,089631	client10	153,7931	42,082512
12	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	145,5017	11,931132	client5	152,3921	0,314977	client9	153,2238	28,089631	client10	153,7931	42,082512	client4	161,8795	30,244719
13	134,8852	42,406432	client2	140,2918	1,1975041	client1	152,3921	0,314977	client9	153,2238	28,089631	client10	153,7931	42,082512	client4	161,8795	30,244719	client7	167,4222	30,342452
14	140,2918	1,1975041	client1	152,3921	0,314977	client9	153,2238	28,089631	client10	153,7931	42,082512	client4	161,8795	30,244719	client7	167,4222	30,342452	client3	172,8259	14,581148
15	152,3921	0,314977	client9	153,2238	28,089631	client10	153,7931	42,082512	client4	167,4222	30,342452	client3	172,8259	14,581148	client8	177,5171	10,635595	client5	178,6416	13,434721
16	152,3921	0,314977	client9	153,2238	28,089631	client10	153,7931	42,082512	client4	167,4222	30,342452	client3	172,8259	14,581148	client8	177,5171	10,635595	client5	178,6416	13,434721
17	141,4809	50,098635	client10	153,7931	42,082512	client4	167,4222	30,342452	client3	172,8259	14,581148	client8	177,5171	10,635595	client5	178,6416	13,434721	client5	178,6416	13,434721
18	141,4809	50,098635	client10	167,4222	30,342452	client3	172,8259	14,581148	client8	173,0735	11,879346	client9	173,8503	38,69962	client4	177,5171	10,635595	client5	178,6416	13,434721
19	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,0735	11,879346	client9	173,8503	38,69962	client4	177,5171	10,635595	client5	178,6416	13,434721	client7	181,3632	23,068967
20	121,9433	46,185399	client6	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,0735	11,879346	client9	173,8503	38,69962	client4	177,5171	10,635595	client5	178,6416	13,434721
21	121,9433	46,185399	client6	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,0735	11,879346	client9	173,8503	38,69962	client4	177,5171	10,635595	client5	178,6416	13,434721
22	121,9433	46,185399	client6	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,0735	11,879346	client9	173,8503	38,69962	client4	178,6416	13,434721	client7	181,3632	23,068967
23	121,9433	46,185399	client6	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,0735	11,879346	client9	173,8503	38,69962	client4	181,3632	23,068967	client1	189,4501	16,215352
24	121,9433	46,185399	client6	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,0735	11,879346	client9	173,8503	38,69962	client4	181,3632	23,068967	client1	189,4501	16,215352
25	121,9433	46,185399	client6	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,8503	38,69962	client4	181,3632	23,068967	client1	196,4233	4,2764784	client3	215,8603	11,340668
26	121,9433	46,185399	client6	136,6279	33,375321	client8	141,4809	50,098635	client10	173,8503	38,69962	client4	196,4233	4,2764784	client3	215,8603	11,340668	client7	220,0825	4,9072507
27	121,9433	46,185399	client6	141,4809	50,098635	client10	173,8503	38,69962	client4	196,4233	4,2764784	client3	201,1081	6,086279	client8	215,8603	11,340668	client7	220,0825	4,9072507

Figure III.25: Capture d'écran des données de la latence afficher sur Excel 24

CHAPITRE III : Mise en file d'attente dynamique tenant compte de la qualité de service (QOS) pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents

Figure III.26: Capture d'écran des données de la vitesse afficher sur Excel 25

III.14. Conclusion (Résultat)

On peut conclure que si la file d'attente est organisée en fonction de la latence, cela peut entraîner un manque de séparation entre les clients. En effet, si la latence moyenne est similaire entre les différents clients, il peut être difficile de les classer en fonction de leur qualité de connexion.

En revanche, si la file d'attente est organisée en fonction de la vitesse de transmission des données, cela peut favoriser une plus grande séparation entre les clients en fonction de leur qualité de connexion. Cela peut permettre d'optimiser la transmission des données entre les différents clients et le serveur.

Nos choix de configuration sont déterminés en fonction des besoins spécifiques des clients au sein de notre réseau. Dans de nombreux cas, la latence devient pratiquement négligeable, et l'accent est davantage mis sur l'utilisation d'une vitesse élevée avec un débit important, en particulier pour les applications telles que les caméras qui sont sensibles à la latence.

Il est possible de classer les clients en fonction de la latence et de la qualité de la connexion entre le serveur et le client.

La latence est imprévisible, engendrant des effets qui échappent à notre influence, contrairement à la vitesse qui peut être maîtrisée.

Pour obtenir un réseau moins favorisé entre les clients, il est plus judicieux d'utiliser une file d'attente basée sur la latence en utilisant le matériel présenté.

V. Conclusion générale

Ce mémoire de fin d'étude s'intéresse aux aspects fondamentaux de l'IoT et du M2M, ainsi que les défis et les opportunités liés à la planification et au routage optimisés dans les réseaux à environnement intelligent IoT/M2M. Nous avons de ce fait étudié la QoE, la QoS et leur importance dans la garantie d'une expérience utilisateur optimale dans ces environnements.

Ce travail de recherche a permis de mettre en évidence l'importance croissante de l'IoT et du M2M dans notre société connectée. Nous avons commencé par les bases de notre étude en présentant les généralités de l'IoT et du M2M et avons examiné les principes fondamentaux de ces domaines

Ensuite, nous nous sommes concentrés sur la planification et le routage optimisés dans les réseaux à environnement intelligent IoT/M2M, en mettant l'accent sur la QoE et la QoS. Nous avons examiné les défis spécifiques liés à ces réseaux, tels que la modélisation du trafic simultané, la variabilité des charges de trafic. Nous avons étudié différentes stratégies et techniques pour améliorer la planification et le routage, en optimisant l'utilisation des ressources et en assurant une distribution efficace des données.

Enfin, nous avons réalisé une simulation sur Python pour la mise en file d'attente dynamique, en tenant compte de la QoS pour le trafic hétérogène dans les environnements intelligents. Nous avons développé un modèle de file d'attente adaptatif qui permet de prendre des décisions basées sur la QoS. Cette simulation a démontré plusieurs clients dans une file d'attente en démontrant l'efficacité de la vitesse et la latence ou le contraire selon des clientce qui indique un retard ou que le réseau est perturbé donc pour améliorer la qualité de service offerte aux utilisateurs et optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

En conclusion, ce mémoire de fin d'étude a permis de mieux comprendre les enjeux et les opportunités liés à l'IoT, au M2M et à la gestion des réseaux à environnement intelligent. Les résultats obtenus ont mis en évidence l'importance de la planification et du routage optimisés pour garantir une expérience utilisateur de qualité et une utilisation efficace des ressources.

VI. Référence

- [1] F. S., Electrique, G. E., & Mémoire de fin d'étude. (2021). L'internet des objets révolutionne notre vie quotidienne : application pour une maison intelligente.
- [2] Djehaiche1, R., Aidel2, S., & Saeed3, N. (n.d.). Implementation of M2M-IoT Smart building system using Blynk App.
- [3] Djehaiche, R., Aidel, S., Sawalmeh, A., Member, N. S. S., & Alenezi, A. H. (2023). Adaptive Control of IoT/M2M Devices in Smart Buildings using Heterogeneous Wireless Networks.
- [4] Rania.D, N. (2019). Etude et Application d'un Système de Communication M2M. Bordj bou Arréridj.
- [5] Jaewoo Kim, Jaiyong Lee, Member, IEEE, Jaeho Kim, and Jaeseok Yun « M2M Service Platforms: Survey, Issues, and Enabling Technologies », page (1), 2014
- [6] Moussa Bencheneuf et Bahlouli Assia, 2022, Université Mohamed El Bachir, & El- Ibrahim - Bordj Bou Arreridj. (n.d.). Etude et conception des méthodes de Gestion des Smart Building par les technologies M2M/IOT et les réseaux 4G 5G.
- [7] S. Pallavi and V. A. Narayanan, "An Overview of Practical Attacks on BLE Based IOT Devices and Their Security," 2019 5th International Conference of Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS), Coimbatore, India, 2019, pp. 694-698,
- [8] R. Das and J. N. Bera, "ZigBee based Small-World Home Area Networking for Decentralized Monitoring and Control of Smart Appliances," 2021 5th International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), Tokyo, Japan, 2021, pp. 66-71.
- [9] R. Casagrande, R. Moraes, C. Montez, A. S. Morales and L. Rech, "Interference of IEEE 802.11n Networks upon IEEE 802.15.4-Based WBANs: An Experimental Study," 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto, Portugal, 2018, pp. 388-393,
- [10] G. REDIETEAB, Optimisation cross-layer pour des futures générations de réseaux Wi- Fi, Thèse de doctorat, (INSA) de Rennes, Octobre 2012.
- [11] A. Ben-Bassat et al., "10.5 A Fully Integrated 27dBm Dual-Band All-Digital Polar Transmitter Supporting 160MHz for WiFi 6 Applications," 2020 IEEE International Solid- State Circuits Conference - (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2020, pp. 180-182,
- [12] <https://www.tp-link.com/fr/wifi7/>
- [13] Abdoul Aziz, M., Bouchra, L., par, P., & Yacine, K. (n.d.). Mémoire de Master Filière télécommunication Spécialité Réseaux et Télécommunication Présenté par Conception d'un système de simulation des objets connectés.
- [14] A. Ikpehai, B. Adebisi and K. Anoh, "Effects of Traffic Characteristics on Energy Consumption of IoT End Devices in Smart City," 2018 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), Thessaloniki, Greece, 2018, pp. 1-6.
- [15] S. -Y. Wang, J. -E. Chang, H. Fan and Y. -H. Sun, "Performance Comparisons of NB-IoT, LTE Cat-M1, Sigfox, and LoRa Moving at High Speeds in the Air," 2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Rennes, France, 2020, pp. 1-6.

- [16] H. Mroue, A. Nasser, S. Hamrioui, B. Parrein, E. Motta-Cruz and G. Rouyer, "MAC layer-based evaluation of IoT technologies: LoRa, SigFox and NB-IoT," 2018 IEEE Middle East and North Africa Communications Conference (MENACOMM), Jounieh, Lebanon, 2018, pp. 1-5.
- [17] Benjamin Billet, « Système de gestion de flux pour l'Internet des objets intelligents », PhD thesis, l'université de Versailles Saint-Quentin-En-Yvelines, 2015, p. 234
- [18] Marzoug Rania et About Asma. (2019). Proposition d'un réseau de communication entre les objets dans une maison intelligente à base d'internet des objets.
- [19] Djehaiche, R., Aidel, S., Sawalmeh, A., Member, N. S. S., & Alenezi, A. H. (2023). Adaptive Control of IoT/M2M Devices in Smart Buildings using Heterogeneous Wireless Networks.
- [20] CHALLAL.L, SIROUAKNE.S, « Gestion des clés dans l'internet des objets » Mémoire de Master, Université de Bejaia, Algérie, 2017.
- [21] OUALI ALAMI MOHAMMED, «La Conception d'une prise connectée basée sur la technologie d'IoT (Internet of Things) », Mémoire de Projet de fin d'étude Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 24/06/2016, pp.10-11. Consulter le 19/04/2021.
- [22] Sadoun, D., Dubois, C., Ghamri-Doudane, Y., & Grau, B. (2012). Formalisation enOWL pour vérifier les spécifications d'un environnement intelligent. RFIA 2012 (Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle).
- [23] Sadoun, D. (2012). Peuplement d'une ontologie modélisant le comportement d'un environnement intelligent guidé par l'extraction d'instances de relations Population of an Ontology Modeling the Behavior of an Intelligent Environment Guided by Instance Relation Extractions (Vol. 3).
- [24] M. Weiser, R. Gold et J. Seely Brown, «The origins of ubiquitous computing research atPARC in the late 1980s,» IBM systems journal, vol. 38, n°4, 1999.
- [25] Y. Jicheng, Z. Yuqi, Y. Yanqi, D. Rocco, S. Wujin, R. Davis, S. Frances, J. Ligler, B. Buse et G. Zhen, «Microneedlearray patches loaded with hypoxia-sensitive vesicles provide fast glucose-responsive insulin delivery, » Dean Ho, University of California, Los Angeles, juillet 2015.
- [26] A. Amokrane, G. Pujolle et al, «GreenHead: Virtual Data Center Embedding a cross Distributed Infrastructures, », vol. 1, no. 1, pp. 36–49, 2014.,» IEEE Transactions on Cloud Computing, vol. 1, pp. 36-49, 2014.
- [27] P. Pazowski, «GREEN COMPUTING: LATEST PRACTICES AND TECHNOLOGIES, » Managing Intellectual Capital and Innovation for Sustainable and Inclusive Society: Managing Intellectual Capital and Innovation; Proceedings of the MakeLearn and TIIM Joint International Conference 2015, ToKnowPress ,bari,italy, pp. 1853-1861, mai 2015.
- [28] K. Bouchard, J. Hao, B. Bouchard, S. Gaboury, M. T. Moutacalli, C. Guoin-Vallerand, H. K. Ngankam, H. Pigot et S. Giroux. « The Cornerstones of Smart Home Research for Healthcare ».
- [29] C. Haidon, H. K. Ngankam, S. Giroux et H. Pigot. « Using Augmented Reality and Ontologies to Co-design Assistive Technologies in Smart Homes ». Dans Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces Companion, pages 126–127. ACM, mar 2020.
- [30] B. R. Smith and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Best Effort Quality-of-Service," 2008 Proceedings of 17th International Conference on Computer Communications and Networks, St. Thomas, VI, USA, 2008, pp. 1-6.

- [31] A. Mellouk, S. Hoceini and H. A. Tran, "Quality of experience vs. quality of service : Application for a CDN Architecture," 2013 21st International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks - (SoftCOM 2013), Split, Croatia, 2013, pp. 1- 8,
- [32] V. A. Siris, K. Balampekos and M. K. Marina, "Mobile quality of experience: Recent advances and challenges," 2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PERCOM WORKSHOPS), Budapest, Hungary, 2014, pp. 425- 430,
- [33] H. Pfeffer, "Dynamic changing tier service on test device," U.S. Patent 9 425 977, Aug.23, 2016.
- [34] Ben Attia, M., Nguyen, K. K., & Cheriet, M. (2018). QoS-aware software-defined routing in smart community network. *Computer Networks*, 147, 221–235.
- [35] Liu, H., Li, Y., Chen, J., Xie, Q., & Li, K. (2021). Simultaneous Traffic Modeling and Signal Optimization: A Review of Methods and Applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 1736-1751
- [36] B. R. Smith and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Best Effort Quality-of-Service," 2008 Proceedings of 17th International Conference on Computer Communications and Networks, St. Thomas, VI, USA, 2008, pp. 1-6.
- [37] A. Mellouk, S. Hoceini and H. A. Tran, "Quality of experience vs. quality of service : Application for a CDN Architecture," 2013 21st International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks - (SoftCOM 2013), Split, Croatia, 2013, pp. 1- 8,
- [38] V. A. Siris, K. Balampekos and M. K. Marina, "Mobile quality of experience: Recent advances and challenges," 2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PERCOM WORKSHOPS), Budapest, Hungary, 2014, pp. 425- 430,
- [39] H. Pfeffer, "Dynamic changing tier service on test device," U.S. Patent 9 425 977, Aug.23, 2016.