

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira - Bejaia -
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



Mémoire de fin de cycle

en vue de l'obtention d'un Master Professionnel

Option : Administration et sécurité des réseaux

Thème

**L'usage de la technologie réseau mobile 5G
dans l'internet des objets**

Présenté par :

M^{elle} RABHI Massissilia

M^{elle} OURDANI Salima

Devant le jury composé de

Président	M ^f MOKTEFI Mohand	M.C.B	U.A/Mira Bejaia, Algérie.
Rapporteurs	M ^{me} HOCINI Kenza	M.A.B	U.A/Mira Bejaia, Algérie.
	M ^f YAZID Mohand	Professeur	U.A/Mira Bejaia, Algérie.
Examinatrice	M ^{me} MAMMERI Souhila	M.C.B	U.A/Mira Bejaia, Algérie.

Promotion : 2023/2024

-Remerciements-

Nous souhaitons tout d'abord exprimer nos sincères remerciements à Dieu, le Tout-Puissant, pour ses bienfaits et sa bienveillance, ainsi que pour nous avoir accordé le courage, la santé et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements les plus chaleureux vont également à nos parents bien-aimés, qui nous ont toujours soutenus et encouragés tout au long de notre parcours. Leur amour inconditionnel et leurs précieux conseils ont été essentiels pour nous permettre d'accomplir ce travail.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à notre encadrante, «**Mme. Hocini Kenza**». Nous tenons également à lui témoigner notre reconnaissance pour sa patience et son soutien précieux qui nous ont permis d'achever notre travail avec succès.

De même, nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre co-encadrant, «**M. Yazid Mohand**», pour ses suggestions pertinentes, son suivi attentif et son soutien indéfectible. Ses connaissances pointues et son expertise ont grandement contribué à la réussite de notre travail.

Nous aimerions exprimer notre reconnaissance envers nos amis et nos proches qui nous ont apporté un soutien moral et intellectuel tout au long de notre travail.

Enfin, nous aimerions remercier l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre mémoire et pour leurs précieux retours.

-Dédicace-

- **À ma Chère Mère**
- **À mon Cher Père**

De tout mon cœur, je vous dédie ce travail qui marque une étape si importante de mon parcours. Votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et votre foi en moi ont été les fondations solides qui m'ont permis d'atteindre cet accomplissement.

Votre présence rassurante et vos encouragements bienveillants ont été ma force.

Grâce à vous, j'ai pu donner le meilleur de moi-même et réaliser ce succès qui fait aujourd'hui votre fierté.

- **À mes frères**

Vous avez été mes plus fidèles alliés, toujours là pour m'épauler, me reconforter et me pousser à donner le meilleur de moi-même. Vos rires et votre sens de l'humour ont su illuminer les moments les plus difficiles, me donnant la force de persévérer et d'atteindre cet accomplissement.

À mes amis et à tous ceux qui m'ont soutenu, merci pour votre présence, vos encouragements et vos précieux conseils. Votre amitié et votre soutien ont été essentiels pour surmonter les défis et les moments de doute.

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à mon parcours académique, je vous exprime ma gratitude sincère pour votre soutien et votre contribution à ma formation.

Massissilia

-Dédicace-

- **À mes parents**

Votre amour inconditionnel et votre soutien indéfectible ont été des piliers essentiels tout au long de cette aventure. Votre accompagnement attentionné, vos encouragements constants et votre confiance inébranlable en moi m'ont permis de surmonter les obstacles et d'atteindre cette étape importante. Merci d'avoir toujours été là pour moi et de m'avoir offert les moyens de réaliser mes ambitions.

- **À mes frères et sœur**

Votre présence réconfortante et votre aide précieuse ont été essentielles tout au long de mes études. Nos moments de complicité et votre écoute bienveillante m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles. Merci d'avoir été à mes côtés.

- **À mes amies et cousines**

Votre amitié, vos encouragements et vos conseils ont été une source inestimable de motivation et de réconfort. Votre soutien chaleureux a grandement contribué à l'aboutissement de ce travail. Merci d'avoir été présentes.

- **À tous ceux qui m'ont soutenu**

Votre soutien et votre contribution à ma formation ont été des atouts majeurs. Je vous en suis profondément reconnaissante.

Salima

-Abréviation-

1G	La première génération
2G	La deuxième génération
3G	La troisième génération
4G	La quatrième génération
5G	La cinquième génération
6G	La sixième génération
AMPS	Advanced Mobile System
AUSF	Authentication Server Function
BTS	Base Transceiver Station
BS	Base Station
CRAN	Centralized Radio Access Network
CDMA	Code Division Multiple Access
DC-HSPA	Dual Carrier High-Speed Packet Access
ECG	Electrocardiogram
eMMB	enhanced Mobile Broadband
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
HetNets	Heterogeneous Networks
HSPA	High-Speed Packet Access
IBSG	International Business Strategy Group
Ido	Internet des objets
IoT	Internet of things
KPI	Key Performance Indicator
LTE	Long Term Evolution
LoRa	Long Range
MMS	Multimedia Messaging Service
mMTC	massive Machine Type Communications
MTC	Machine-Type Communications
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
NS	Network Subnet
NMT	Nordic Mobile Téléphonie
NFC	Near Field Communication
NFV	Network Functions Virtualization
OC	Objet connecté
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RFID	Radio Frequency Identification
SDN	Software-Defined Networking

SMS	Short Message Service
SpO2	Peripheral Blood Oxygen Saturation
Spyder	Scientific Python Development Environment
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications
V2X	Vehicle-to-Everything
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WSN	Wireless Sensor Network

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Introduction Générale	1
1 L'évolution des Réseaux 5G-IoT	2
1.1 Introduction	2
1.2 Internet des objets (IoT)	2
1.2.1 Définition de l'internet des objets	2
1.2.2 Évolution de l'internet des objets	3
1.2.3 Architecture de l'internet des objets	3
1.2.3.1 Couche de perception	4
1.2.3.2 Couche de réseau	4
1.2.3.3 Couche d'application	4
1.2.4 Les composants de La technologie IoT	4
1.2.4.1 Niveau 01 : Capteur et Actionneur	5
1.2.4.2 Niveau 02 : Passerelle	5
1.2.4.3 Niveau 03 : Cloud Computing	5
1.2.4.4 Niveau 04 : Plateforme IoT	5
1.2.5 Les domaines d'application de l'IoT-5G	6
1.2.6 Objet Connecté	7
1.2.6.1 Définition	7
1.2.6.2 Les éléments clé d'un OC	8
1.2.7 Les Technologies de Communication des OC	8
1.2.7.1 Les technologies de Courte Portées	8
1.2.7.2 Les technologies de moyenne portée	9
1.2.7.3 Les technologies de longue portée	9
1.3 Évolution des réseaux cellulaire	9
1.3.1 Concept cellulaires	9
1.3.1.1 Terme cellule	9
1.3.1.2 Réseaux cellulaire	9
1.3.1.3 Concept de réseaux mobile	10
1.3.2 Evolution des réseaux mobiles	10
1.3.2.1 La première génération (1G)	11
1.3.2.2 La deuxième generation (2G)	12
1.3.2.3 La troisième génération (3G)	12
1.3.2.4 La quatrième génération (4G)	12
1.3.3 Vers l'ère de la nouvelle génération des réseaux mobiles : la 5G	13
1.3.3.1 Définition	13

1.3.3.2	Domaine d'utilisation	13
1.3.3.3	Différence entre 4G et 5G	14
1.3.3.4	Défis liés à la mise en œuvre de la technologie 5G	14
1.3.3.5	Aperçu des nouvelles techniques de la communication 5G	15
1.3.3.5.1	OFDM :	15
1.3.3.5.2	MIMO Massive :	15
1.3.3.5.3	Full-duplex :	16
1.3.3.5.4	Beamforming :	16
1.3.3.5.5	Network slicing :	16
1.4	Conclusion	17
2	Étude Préalable de Network Slicing	18
2.1	Introduction	18
2.2	Découpage de réseau dans la 5G	18
2.2.1	Définition	18
2.2.2	Couches de découpage de réseau	19
2.2.2.1	Couche de service :	19
2.2.2.2	Couche de réseau :	20
2.2.2.3	Couche de ressources :	20
2.2.3	Les défis liés au découpage de réseau	20
2.2.4	Cas d'utilisation	20
2.3	Synthèse sur les travaux autour de Network Slicing	21
2.3.1	Network slicing dans le domaine de la sécurité	22
2.3.2	Network slicing dans le domaine de transport(Véhicule)	24
2.3.3	Network slicing dans le domaine de la domotique	27
2.3.4	Network slicing dans le domaine de la santé	28
2.4	Conclusion	29
3	Implémentation d'un algorithme de network slicing sous python	30
3.1	Introduction	30
3.2	L'algorithme de network slicing dans le domaine de la santé	30
3.2.1	Description de l'algorithme	30
3.2.2	Déroulement de l'algorithme	31
3.3	Présentation de l'environnement	34
3.3.1	Anaconda	34
3.3.2	Bibliothèque Python et package Anaconda	34
3.3.3	Anaconda navigator	35
3.3.4	Environnement de programmation Spyder	35
3.4	Implémentation de l'algorithme sous python	36
3.5	Conclusion	40
	Conclusion Générale	41

Table des figures

1.1	L'évolution de l'IOT	3
1.2	Architecture de base de l'IoT	4
1.3	Composants IOT basique	5
1.4	Plateforme IOT	6
1.5	Application de l'IOT-5G	6
1.6	Exemple d'un ensemble d'objet connecté	8
1.7	Réseaux de téléphonie cellulaire	10
1.8	Evolution des réseaux mobiles	11
1.9	La 5G : Une révolution dans les communication sans fil	14
1.10	Objectifs techniques de la 5G	15
2.1	Network slicing in 5G	19
2.2	Cas d'utilisation du découpage de réseau.. . . .	21
2.3	Diagramme en bloc de découpage de réseau par Kasgari et al.	22
2.4	Infrastructure pour le découpage de réseau 5G.	23
2.5	Aperçu de la structure proposée de découpage de réseau.	25
2.6	Méthodologie proposée du système.	29
3.1	Algorithme de découpage de réseau	31
3.2	Anaconda	34
3.3	Logiciel de programmation	35
3.4	Utilisation de la tranche eMBB	36
3.5	Utilisation de la tranche URLLC	37
3.6	Utilisation de la tranche mMTC	37
3.7	Utilisation de la tranche MF	38
3.8	Comparaison entre les tranches	39

Liste des tableaux

1.1	Les caractéristiques des différentes générations mobile	11
1.2	Les améliorations de la 3G	12
3.1	Tranche eMBB	31
3.2	Tranche URLLC	32
3.3	Tranche mMTC	32
3.4	Tranche MF.	32

Introduction Générale

L'Internet des objets (IoT) a connu une croissance phénoménale ces dernières années, permettant l'interconnexion d'un nombre toujours plus important de dispositifs intelligents dans de nombreux domaines tels que la santé, l'industrie, les transports ou la maison connectée. Cette prolifération d'objets connectés engendre cependant de nouveaux défis en termes de connectivité, de latence, de débit et de fiabilité des réseaux [1].

C'est dans ce contexte qu'est née une nouvelle génération de réseau mobile, la 5G. Après avoir retracé l'évolution des réseaux mobiles de la 1G à la 4G, cette étude se concentre sur les innovations clés de la 5G, notamment le MIMO massif, le full duplex, la formation de faisceaux, l'OFDM et network slicing. Ces avancées technologiques permettent des performances sans précédent en termes de débit, de latence et de fiabilité [2].

Au cœur de cette étude, le concept de "network slicing" occupe une place centrale. Cette technique de virtualisation et d'orchestration dynamique des ressources réseau offre la possibilité de créer des tranches réseau dédiées aux différents cas d'usage de l'IoT, chacun avec ses propres exigences. Que ce soit dans la domotique, la santé, l'agriculture et la sécurité, la 5G et le network slicing apportent des solutions adaptées.

À travers une analyse approfondie des architectures et algorithmes de network slicing, ce projet cherche à révéler comment la 5G, grâce à ces innovations, peut jouer un rôle déterminant pour favoriser le déploiement de l'Internet des objets et la transformation numérique de nombreux secteurs.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres principaux :

Le premier chapitre commence par une présentation générale de l'Internet des objets. Il décrit en détail l'architecture, les composants et les différents domaines d'application de l'IoT. Ensuite, il retrace l'évolution des réseaux mobiles, de la 1G jusqu'à la 5G, en mettant l'accent sur les innovations clés de la 5G telles que le MIMO massif, l'OFDM, le full-duplex et le beamforming, ainsi que la technique de network slicing.

Dans le deuxième chapitre, nous nous concentrons spécifiquement sur la technique de network slicing dans le contexte de l'IoT 5G. Nous en exposons les différentes caractéristiques, puis nous examinons en détail les travaux existants visant à améliorer cette approche de virtualisation des ressources réseau au sein de la technologie 5G.

Enfin, le troisième chapitre est consacré à l'implémentation de l'algorithme de découpage de réseaux dans le domaine de la santé. Ce chapitre inclut également une étude des résultats sous forme de graphiques, permettant d'analyser les performances et l'adéquation du découpage réseau aux exigences du domaine de la santé.

Pour conclure, ce mémoire s'achève par une conclusion générale suivie de quelques perspectives d'évolution futures.

Chapitre 1

L'évolution des Réseaux 5G-IoT

1.1 Introduction

De nos jours, les communications sans fil avec une connectivité Internet haut débit représentent une demande importante pour la société et constituent un facteur important du développement économique intelligent et de la numérisation de la société et du monde. Les technologies sans fil existantes telles que la 3G et la 4G ne peuvent pas répondre à la demande des exigences sans fil de la 5G et ne peuvent pas être utilisées pour les nouvelles technologies.

Le déploiement de l'IoT 5G générera diverses formes de trafic, de fiabilité, de débits binaires, de consommation d'énergie, ainsi que de sécurité et de confidentialité. La principale motivation pour développer l'IoT sur les réseaux cellulaires 5G est prévue et un nombre massif d'appareils devraient être déployés, ce qui nécessitera des débits de données importants.

Dans la première partie de ce chapitre, nous aborderons le sujet de l'Internet des objets . Dans la deuxième partie nous examinerons le concept cellulaire et les objectifs de la 5G par rapport aux générations précédentes des réseaux mobiles.

1.2 Internet des objets (IoT)

1.2.1 Définition de l'internet des objets

Il n'existe pas de définition standard et unifiée de l'Internet des objets (IoT). En effet, cette notion a été définie par divers groupes comprenant des académiciens, des chercheurs, des praticiens, des innovateurs, des développeurs et des personnes d'affaires, même si son origine a été attribuée à Kevin Ashton, un expert en innovation. Les définitions sont toutes d'accord sur le fait que la première version d'Internet se concentrait sur les données produites par des personnes, tandis que la version suivante se concentrait sur les données produites par des objets. La meilleure définition de l'Internet des objets serait :

«Un réseau ouvert et complet d'objets intelligents ayant la capacité de s'auto-organiser, de partager des informations, des données et des ressources, de réagir et d'agir face à des situations et des changements dans l'environnement.. »

L'Internet des objets est devenu l'un des concepts les plus récents et appréciés dans le domaine de l'informatique. Pendant la décennie écoulée, Le concept d'IoT a suscité un fort intérêt en offrant une vision d'une infrastructure mondiale qui relie des objets physiques en

réseau, offrant ainsi une connectivité permanente et universelle pour tous, et non seulement pour des individus particuliers. L'IoT peut également être perçu comme un réseau mondial qui simplifie la communication entre les individus, entre les individus et les objets, ainsi qu'entre les objets eux-mêmes, englobant ainsi tout ce qui existe dans le monde et donnant une identité singulière à chaque objet distinct [3].

1.2.2 Évolution de l'internet des objets

Internet des objets, en tant que concept, n'a été officiellement nommé qu'en 1999, mais l'un des premiers exemples d'IoT date du début des années 1980 et était une machine Coca Cola située à l'université Carnegie Mellon. Les programmeurs locaux se connectaient via Internet à l'appareil réfrigéré et vérifiaient s'il y avait une boisson disponible et si elle était froide, avant de se déplacer pour en acheter une. Ainsi en 1990, John Romkey et Simon Hackett ont créé un grille-pain connecté à Internet dans le but de démontrer les possibilités de l'IoT. Ils ont utilisé un grille-pain équipé d'un serveur TCP/IP et ont réussi à le contrôler via Internet [4].

Kevin Ashton, directeur exécutif d'Auto-ID Labs au MIT, a inventé l'expression « Internet des objets » en 1999. Il a été le premier à décrire l'IoT, lors d'une présentation pour Procter ET Gamble, pour décrire les microprocesseurs RFID utilisés pour l'identification par radiofréquence. La figure 1.1 ci-dessous présente l'évolution de l'Internet des objets, selon le groupe Cisco Internet Business Solutions (IBSG), l'Internet des objets a véritablement émergé entre 2008 et 2009, au moment où plus de « choses ou objets » étaient connectés à Internet que de personnes [5].

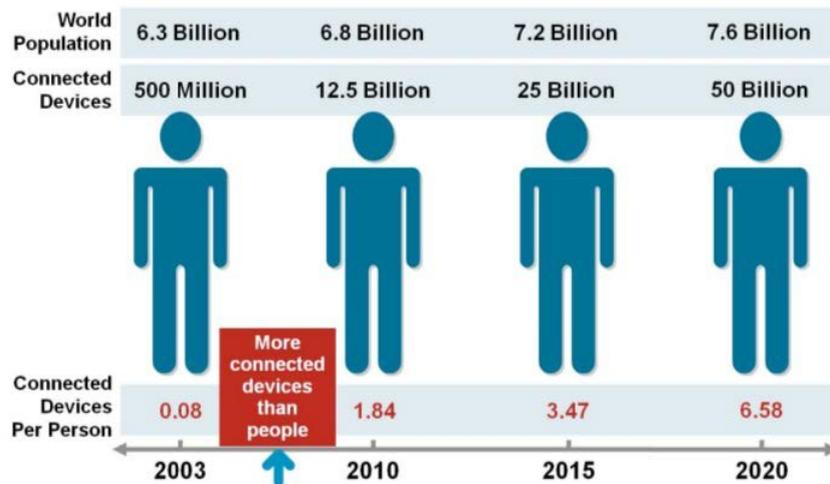


FIGURE 1.1 – L'évolution de l'IOT

1.2.3 Architecture de l'internet des objets

Avec la croissance rapide de l'IoT, il est devenu essentiel d'avoir une architecture de référence pour standardiser la conception des systèmes et faciliter l'interopérabilité et la communication entre les divers écosystèmes de l'IoT. Nous diviserons l'architecture IoT en une couche de perception, de réseau, et d'application, comme le montre la figure 1.2 : [6] [5]

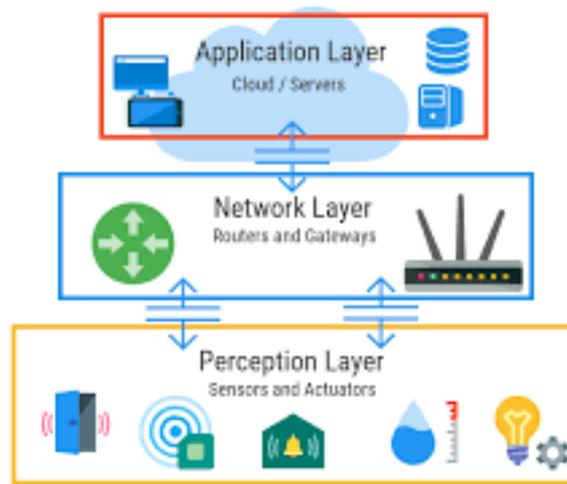


FIGURE 1.2 – Architecture de base de l'IoT

1.2.3.1 Couche de perception

La couche de perception au sein de l'architecture IoT, englobe des technologies telles que les nanotechnologies, les technologies de marquage, les capteurs et les technologies d'intelligence pour l'identification des objets physiques et la collecte d'informations à l'aide de capteurs intégrés.

1.2.3.2 Couche de réseau

Dans la couche réseau on trouve divers types de réseaux de communication tels que les réseaux de télécommunication, les réseaux sans fil, les réseaux à fibre optique. Cette couche assure le transfert des données collectées vers le système de traitement, permettant ainsi la lecture des informations encodées dans les données.

1.2.3.3 Couche d'application

La couche d'application dans l'architecture IoT est dédiée au développement de nouvelles applications spécifiquement conçues pour répondre aux besoins de l'industrie ou des utilisateurs. Ces applications comprennent des fonctionnalités telles que la détection intelligente du trafic, les maisons intelligentes etc.

1.2.4 Les composants de La technologie IoT

L'internet des objets peut être composé de plusieurs niveaux ou couches, qui peuvent varier selon les solutions et les architectures spécifiques. La figure 1.3 propose une structure couramment utilisée, qui comprend généralement les quatre niveaux suivants : [5]

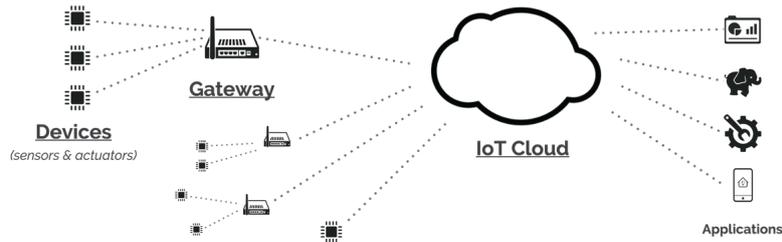


FIGURE 1.3 – Composants IOT basique

1.2.4.1 Niveau 01 : Capteur et Actionneur

Capteur : Il s'agit d'un appareil qui permet de repérer un événement ou une grandeur physique comme la luminosité, la température, l'humidité du sol, la pression, etc., et il génère un signal électrique correspondant en réponse à cette détection.

Actionneur : Les actionneurs sont une technologie complémentaire aux capteurs, et ils sont responsables de la conversion de l'énergie électrique en mouvement ou en énergie mécanique. Leur fonction est de transformer l'énergie reçue en un phénomène physique observable.

1.2.4.2 Niveau 02 : Passerelle

Passerelle : est un ensemble d'éléments matériels et logiciels qui servent à relier un réseau à un autre. Les gateways sont utilisés pour connecter les capteurs ou les nœuds de capteurs à l'extérieur. Elles facilitent la communication des données en collectant les mesures effectuées par les nœuds de capteurs et en les transmettant à l'infrastructure Internet. De plus, les passerelles peuvent effectuer des traitements locaux sur les données avant de les transmettre au Cloud.

1.2.4.3 Niveau 03 : Cloud Computing

Cloud Computing : représente un choix technologique facultatif qui vise à réduire la charge de travail vers le Cloud et à effectuer des traitements locaux. Et Comme nous abordons le sujet du cloud, il est essentiel de mentionner les différents types de services Cloud IdO disponibles :

- IaaS (Infrastructure as a Service) : Infrastructure en tant que Service
- PaaS (Platform as a Service) : Plateforme en tant que Service
- SaaS (Software as a Service) : Logiciel en tant que Service

Ces modèles de services Cloud offrent des niveaux d'abstraction et de fonctionnalités différents, permettant aux utilisateurs de choisir la solution qui correspond le mieux à leurs besoins spécifiques en matière d'IdO.

1.2.4.4 Niveau 04 : Plateforme IoT

Une **plateforme IoT** : est une solution complète qui regroupe divers services permettant de collecter, stocker, corrélérer, analyser et exploiter les données générées par les dispositifs connectés. Comme la montre la figure 1.4.

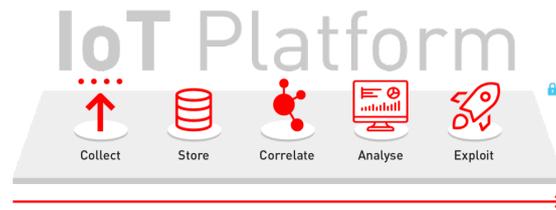


FIGURE 1.4 – Plateforme IOT

1.2.5 Les domaines d'application de l'IoT-5G

La 5G MTC propose une variété d'applications, permettant une communication humaine-machine sans interruption. Il englobe divers domaines tels que les débits de données, la latence, la vitesse et la connexion à plusieurs dispositifs à haute vitesse, ainsi le marché des objets connectés devrait connaître une croissance exponentielle en raison de son immense valeur potentielle dans divers domaines professionnels. Cependant, malgré ce potentiel, seules quelques applications sont actuellement mises en œuvre et pleinement exploitées. On peut observer certaines des applications proposées par le 5G-IoT dans la figure 1.5 :

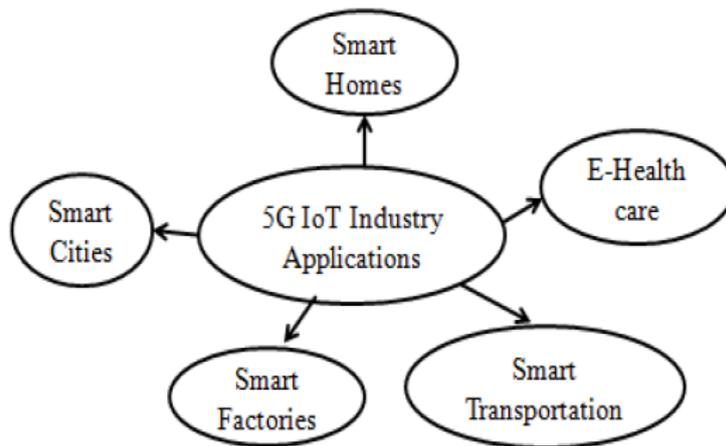


FIGURE 1.5 – Application de l'IOT-5G

Domotique et maisons intelligentes : Les maisons intelligentes constituent une autre application majeure de l'Internet des objets en exploitant la technologie 5G. Grâce à cette nouvelle génération de connectivité sans fil, les appareils électroménagers peuvent être interconnectés au sein de la maison. La technologie 5G permet une communication fluide et sans interruption entre les machines et les appareils, sans nécessiter d'intervention humaine. Les réfrigérateurs, les climatiseurs, les télévisions et autres dispositifs électroniques sont connectés à Internet pour un fonctionnement efficace. Les maisons du futur seront équipées de fenêtres et de portes intelligentes qui fonctionnent grâce à la connectivité Internet, ainsi que de capteurs intelligents et de télécommandes. Dans l'ensemble, la technologie 5G offre une connectivité Internet haut débit au sein des foyers, créant ainsi un environnement domestique intelligent et connecté [7].

Domaine de la santé : La télémédecine est la technologie la plus récente pour améliorer les services de soins de santé, car elle permet la communication à longue distance par le biais de liaisons 5G. Ce système assure une surveillance efficace des patients, en transmettant des signaux vitaux tels que l'EKG, SpO2, la température et la pression des hôpitaux éloignés aux

principaux hôpital via des liens de communication 5G. Les principaux hôpitaux disposent d'installations électroniques et sans fil modernes pour une transmission de données plus élevée et une meilleure connectivité Internet. Après avoir reçu des signes réussis du patient, les médecins diagnostiquent et rapportent les résultats via le même lien. À l'avenir, les liaisons 5G doivent être des systèmes de communication duplex complets, avec des traitements effectués dans des hôpitaux éloignés sur la base des résultats diagnostiques envoyés par les principaux hôpital. Une connectivité Internet élevée et une communication fluide entre les hôpitaux, les médecins, la pharmacie et l'administration fourniront des services de santé de pointe dans le monde entier [7] [6].

Domaine de l'agriculture : Dans le domaine de l'agriculture, l'utilisation de réseaux de capteurs interconnectés et de l'Internet des objets (IoT) offre des opportunités prometteuses. Ces réseaux de capteurs permettent de surveiller en temps réel l'environnement des cultures, fournissant ainsi des données précieuses pour une gestion agricole plus efficace. En surveillant des paramètres tels que l'humidité du sol, la température, l'humidité de l'air et la qualité de l'eau, les agriculteurs peuvent obtenir des informations précises sur les conditions environnementales. Cela leur permet de prendre des décisions éclairées concernant l'irrigation, l'utilisation des intrants agricoles tels que les engrais et les pesticides, ainsi que la planification des travaux agricoles [6] [7].

Transport intelligent : Les systèmes de transport intelligents (STI) sont une application typique de l'Internet des objets 5G, intégrant les réseaux de gestion, de contrôle et de communication intelligents du futur pour développer des systèmes plus fiables, efficaces et sûrs de transport. Chaque véhicule intelligent est équipé de contrôleurs intelligents et d'une unité de contrôle électronique pour surveiller et contrôler le véhicule. La technologie radar 5G utilise des longueurs d'onde millimétriques se propageant dans le vent et la pluie, fournissant des systèmes automatiques de collision et de verrouillage automatique. Cette communication permet aux véhicules d'échanger des informations sur les conditions de circulation et de route, d'éviter les accidents et de fournir des expériences de voyage plus sûres. Par conséquent, la technologie 5G combinant HetNets avec un CRAN basé sur le cloud doit être déployée [7].

1.2.6 Objet Connecté

1.2.6.1 Définition

Un Objet Connecté (OC) est un dispositif qui n'est pas initialement conçu comme un système informatique ou une interface d'accès au web. Cependant, en ajoutant une connexion Internet à un OC, il devient enrichi en termes de fonctionnalités et d'interactions avec son environnement, ce qui le transforme en OC Enrichi (OCE). Par exemple, en ajoutant une connexion Internet à une machine à café, il devient possible de la contrôler à distance.

Un OC a la capacité d'interagir avec le monde physique de manière autonome, sans intervention humaine. Il est soumis à diverses contraintes telles que la mémoire, la bande passante et la consommation d'énergie. Il doit être adapté à un usage spécifique et possède une certaine forme d'intelligence, capable de recevoir et de transmettre des données grâce à ses capteurs embarqués. La valeur d'un objet connecté réside dans sa capacité à se connecter à d'autres objets et à des éléments logiciels. Par exemple, une montre connectée n'a d'intérêt que dans le cadre d'un écosystème axé santé et bien-être, offrant bien plus que la simple indication de l'heure [8].

La figure 1.6 illustre plusieurs objets connectés de notre vie quotidienne.



FIGURE 1.6 – Exemple d'un ensemble d'objet connecté

1.2.6.2 Les éléments clé d'un OC

Un objet connecté repose sur trois éléments essentiels :

- Les données qu'il produit ou reçoit, qu'il peut stocker ou transmettre.
- Les algorithmes utilisés pour traiter ces données.
- L'écosystème dans lequel il interagit et s'intègre.

1.2.7 Les Technologies de Communication des OC

La base de l'Internet des objets réside dans la capacité des objets à communiquer entre eux, indépendamment de leur nature, de leur origine et de leur type. Cela se fait grâce à l'utilisation de divers protocoles Internet :

1.2.7.1 Les technologies de Courte Portées

Bluetooth : Le protocole Bluetooth, est un standard de transfert de données sans fil. Il est largement intégré dans les téléphones mobiles et permet la communication entre téléphones ou entre un téléphone et d'autres objets connectés. Malgré sa faible bande passante et sa portée limitée, Bluetooth est économe en énergie. Il est utilisé dans de nombreux appareils tels que les écouteurs sans fil, les montres intelligentes, les stations météo, les thermostats, etc [9].

ZigBee : Il s'agit d'un réseau étendu à faible consommation utilisé pour la communication IoT. L'utilisation de ZigBee dans la technologie IoT présente divers avantages par rapport aux autres réseaux car elle est plus simple et moins coûteuse. La distance de transmission de ZigBee est de 100 m. Les réseaux ZigBee sont utilisés dans la domotique, la santé et l'IoT industriel [7].

Le protocole NFC : (Near Field Communication) est une technologie sans fil à courte portée qui permet aux objets connectés de communiquer en se rapprochant l'un de l'autre. Il permet des interactions rapides et sécurisées, comme le partage de fichiers, les paiements sans contact et l'appairage d'appareils. NFC est largement utilisé dans les smartphones, les cartes de paiement, les bracelets intelligents et d'autres objets connectés [9].

1.2.7.2 Les technologies de moyenne portée

Wi-Fi : Le Wi-Fi est une technologie sans fil largement utilisée pour la connectivité Internet à moyenne portée. Il permet aux appareils de se connecter à des réseaux sans fil dans un rayon d'environ 30 à 100 mètres, selon les équipements et l'environnement [7].

Z-Wave : Z-Wave est un autre protocole de communication sans fil utilisé pour les applications domotiques. Il offre une portée moyenne d'environ 30 à 100 mètres et permet le contrôle et la communication entre les appareils intelligents dans un réseau Z-Wave [9].

1.2.7.3 Les technologies de longue portée

LoRa : Long Range est une technologie de communication basse consommation d'énergie spécialement conçue pour les objets connectés de l'Internet des objets (IoT). Elle permet de transmettre de petites quantités de données sur de longues distances, allant de plusieurs kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres, en fonction de l'environnement. Le LoRa offre ainsi une portée étendue, ce qui le rend idéal pour connecter des objets sur de vastes territoires tout en conservant une consommation d'énergie réduite [7].

Sigfox : Sigfox est un réseau de communication bas débit dédié à l'IoT. Il utilise des antennes et des passerelles pour permettre la transmission de données sur de longues distances, pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres, avec une faible consommation d'énergie [7].

5G : La cinquième génération de téléphonie mobile, qui fait suite à la 4G, représente notre principale orientation technologique. Cette technologie permet des débits beaucoup plus rapides, avec des vitesses allant jusqu'à 1 à 10 Gbit/s, surpassant ainsi la 4G de 100 à 1000 fois. De plus, l'Internet des objets occupera une place centrale, avec des applications IdO qui se déploieront dans divers domaines, y compris la santé, la domotique et bien d'autres encore. Nous sommes impatients de découvrir les opportunités et les innovations que la 5G apportera dans ces domaines, car elle promet une connectivité plus étendue et plus rapide pour une interconnexion améliorée entre les appareils [7].

1.3 Évolution des réseaux cellulaire

1.3.1 Concept cellulaires

1.3.1.1 Terme cellule

Dans un réseau radio cellulaire, une cellule représente une zone géographique de base où un ensemble de fréquences non réutilisables est affecté pour éviter les interférences avec les cellules adjacentes. Il s'agit également de la zone de couverture d'une antenne GSM. Lorsqu'un opérateur de téléphonie mobile définit la couverture de son réseau, chaque zone couverte par un émetteur spécifique est appelée cellule [10].

1.3.1.2 Réseaux cellulaire

Les systèmes de télécommunications basés sur les réseaux sans fil cellulaire ont connu un développement rapide (Black, 1996 ; Lee, 1996 ; Mac, 1979). Cependant, cela a également entraîné

de nouveaux défis dans l'évaluation des performances de ces systèmes. Le principe fondamental de la radiocommunication mobile cellulaire consiste à diviser l'espace géographique couvert par le réseau en petites zones appelées cellules, comme illustré dans la figure 1.7 suivante. Cette approche permet de partager de manière dynamique les fréquences disponibles entre un maximum d'utilisateurs, afin de faire face à la pénurie de fréquences [10].

Ce concept repose sur la propriété des ondes électriques de s'atténuer en fonction de la distance. Les stations de base (BTS : Base Transceiver Station) assurent la transmission radio au sein des cellules. Contrairement aux réseaux stationnaires, les émetteurs d'appels sont mobiles et ne sont pas connectés par un lien physique (câble) au poste émetteur correspondant [10].

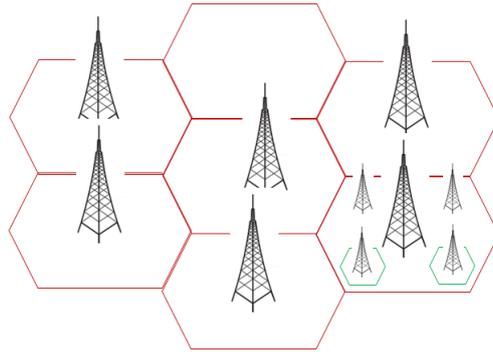


FIGURE 1.7 – Réseaux de téléphonie cellulaire

1.3.1.3 Concept de réseaux mobile

La téléphonie mobile cellulaire est l'une des plus grandes innovations du XXe siècle et a apporté une révolution dans la manière dont les communications sont effectuées à travers le monde. Cette technologie est rendue possible grâce à la combinaison de réseaux cellulaires et d'appareils mobiles qui communiquent entre eux sans fil via un spectre de radiofréquences. Les réseaux cellulaires sont composés de milliers de nœuds qui aident les utilisateurs d'appareils mobiles à effectuer une variété de tâches. Les appareils mobiles sont devenus un outil essentiel après la télévision et l'ordinateur, et ils deviennent de plus en plus abordables et puissants grâce aux progrès technologiques continus. Actuellement, il y a plus de 5 milliards d'abonnés mobiles dans le monde, et pour la plupart d'entre eux, l'appareil mobile est devenu une nécessité pour leurs activités quotidiennes [11].

1.3.2 Evolution des réseaux mobiles

Les échanges entre utilisateurs de téléphonie mobile évoluent rapidement et constituent un secteur différencié par le type de communication véhiculé. Jusqu'à présent, cinq générations de réseaux mobiles se sont déployées, se distinguant par la nature des données transmises.

Le Tableau 1.1 et la figure 1.8 suivante illustre l'évolution des réseaux mobiles de l'analogique vers l'internet of everythings, montrant les avancées technologiques et les nouveautés introduites à chaque génération [12].

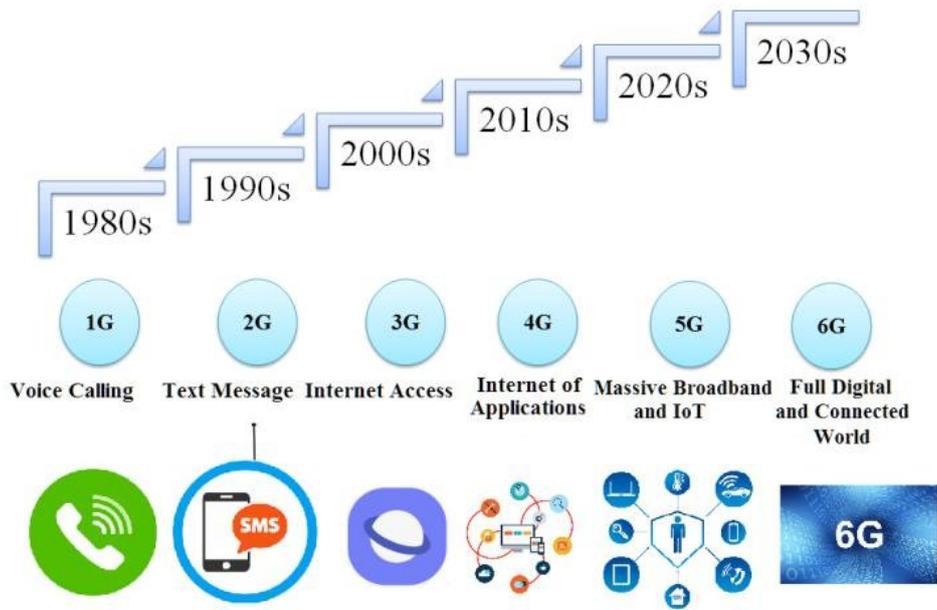


FIGURE 1.8 – Evolution des réseaux mobiles

TABLE 1.1 – Les caractéristiques des différentes générations mobile

Caractéristiques	1G	2G	3G	4G	5G
Débit Maximal	171.2 Kbit/s	9.6 Kbit/s	1.9 Mbits/s	1 Gbit/s	20 Gbit/s
Latence (ms)	/	/	150	10	1
Service	Téléphonie mobile (voix)	Voix numérique, Messagerie courte, Capacité élevée	Audio, vidéo et données intégrés de haute qualité	Accès dynamique à l'information, appareils portatifs	Accès dynamique à l'information, appareils portables avec des capacités d'IA
La bande de fréquence	150 Mhz	1.8 Ghz	2 GHz	2 à 8 GHz	3 à 300 GHz
Accès multiple	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	OFDMA	OFDM
Bande passante de données	2 Kbps	14.4 64 Kbps	2 Mbps	2 Mbps à 1Gbps	1Gbps et plus selon le besoin

1.3.2.1 La première génération (1G)

S'agit de la toute première génération de réseau mobile, apparue à la fin des années 1970, basée sur des signaux analogiques, elle a introduit le concept de réseaux cellulaires et était exclusivement dédiée aux appels vocaux, limités à quelques kilomètres, avec une très mauvaise qualité de son, faible sécurité, pas de support de cryptage avec taux de données très faibles. Elle utilise la technique d'accès FDMA (Frequency Division Multiple Access), qui consiste à attribuer une bande de fréquence à chaque utilisateur dans la cellule où il se trouve, et permettait de diviser la bande de fréquence en canaux individuels pour chaque utilisateur.

La 1G utilisait les standards AMPS (Advanced Mobile Phone System, NMT (Nordic Mobile Téléphonie) et TACS (Total Access Communications System) [13].

1.3.2.2 La deuxième generation (2G)

La 2G, introduite à la fin des années 1980, elle a marqué le démarrage des réseaux mobiles en transition de l'analogique au numérique, offrant une meilleure qualité vocale, des débits de données plus élevés, des connexions plus fiables, une amélioration de la sécurité des appels, optimisation de l'utilisation des canaux radio, et l'introduction des services SMS, MMS, l'envoi de photos par message, et début de l'internet mobile, en réduisant les coûts pour les utilisateurs. Elle utilise la technique d'accès TDMA (Time Division Multiple Access) qui divise le temps en créneaux horaires, permettant à une seule station d'accéder à un créneau horaire particulier, où le temps est divisé en huit tranches de 0,57 milliseconde chacune. Elle inclut un codage permettant la correction des erreurs. Elle utilise essentiellement les standards GPRS ou 2,5 GPRS et L'EDGE ou 2,75 [13].

1.3.2.3 La troisième génération (3G)

La 3G, introduite au début des années 2000, elle a fourni des taux de données plus élevés, permettant l'accès à l'Internet mobile, les appels vidéo, la télévision mobile et des vitesses de téléchargement et d'envoi plus rapides, de plus elle a introduit le mode de transmission en paquets pour tous les types de données, à l'exception des appels vocaux, et le concept du numéro unique, où le propriétaire peut utiliser ce numéro sur différents équipements après une authentification appropriée.

Elle utilise la technique d'accès CDMA où les transmissions sont numérisées, et on peut avoir plusieurs types d'utilisateurs sur une même porteuse. La figure 1.9 illustre les trois améliorations successives de la 3G avec la 3G+ ou HSPA , le H+ ou HSPA+ et le H++ Dual Carrier (DC-HSPA+) [13].

Débit (Mbits/s)	réseau
3.6	3G+
5	H+
10	H++

TABLE 1.2 – Les améliorations de la 3G

1.3.2.4 La quatrième génération (4G)

Également connue sous le nom de LTE, a été introduite à la fin des années 2010, elle a révolutionné les réseaux hertziens en intégrant le monde IP, telle qu'il y'avait aucune déférence entre un réseau fixe et un réseau mobile, où Les applications et la parole téléphonique sont traitées avec le protocole IP.

Elle offre un très haut débit et permet la connectivité simultanée à plusieurs réseaux (Multi-homé). Elle améliore l'efficacité spectrale et augmente la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. De plus assure une mobilité totale à l'utilisateur, rendre le passage entre les réseaux transparents et à éviter les interruptions de service lors des transferts intercellulaires. Les principales normes des réseaux 4 G sont : LTE et WIMAX Cette génération utilise la technique de codage et de multiplexage par fréquence dans le temps qui dit OFDMA.

C'est une combinaison des techniques d'accès FDMA et TDMA utilisés séparément par les générations précédentes [13].

1.3.3 Vers l'ère de la nouvelle génération des réseaux mobiles : la 5G

1.3.3.1 Définition

La 5G est une évolution des standards et des architectures des réseaux mobiles, considérée comme suffisamment importante pour être désignée comme une « nouvelle génération »

La 5G a été officiellement définie en 2021 par les organismes de normalisation, Il s'agit d'un système de données à très haute capacité et à très haut débit avec de nouvelles exigences de conception adaptées aux systèmes à production d'énergie et des dépenses opérationnelles réduites pour les opérateurs. Dans ce contexte, la 5G envisage non seulement une technologie inventée, mais aussi un écosystème technologique de réseaux sans fil travaillant en synergie pour fournir un support de communication transparent à l'utilisateur final. Ainsi, nous pouvons dire que passer de la 4G à la 5G signifie un changement de paradigme de conception d'un système mono-disciplinaire à un système multi-disciplinaire[14].

1.3.3.2 Domaine d'utilisation

Le système 5G est censé prendre en charge divers nouveaux cas d'utilisation, qui peuvent être classés en trois catégories : [15]

- **EMBB (Enhanced Mobile Broadband) :**
 - ✓ Représente les services à haut débit mobile amélioré, avec des débits très élevés jusqu'à plusieurs Gbps.
 - ✓ Cible les applications comme la vidéo HD, la réalité virtuelle/augmentée, le streaming vidéo 4K/8K.
- **URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications) :**
 - ✓ Représente les communications ultra-fiables et à très faible latence.
 - ✓ Cible les applications critiques comme l'automatisation industrielle, la conduite autonome, la chirurgie robotique, etc. nécessitant des temps de réponse extrêmement rapides (quelques millisecondes).
- **MMTC (Massive Machine-Type Communications) :**
 - ✓ Représente les communications de type Machine to Machine (M2M) à grande échelle.
 - ✓ Cible les applications de l'Internet des Objets (IoT) nécessitant la connexion d'un très grand nombre de dispositifs avec des exigences de faible débit et faible consommation.

1.3.3.3 Différence entre 4G et 5G

Dans la figure 1.9 ci-dessous, nous résumons les principales différences entre la 4G et la 5G en terme de mobilité, débit, latence et autres caractéristiques [16].

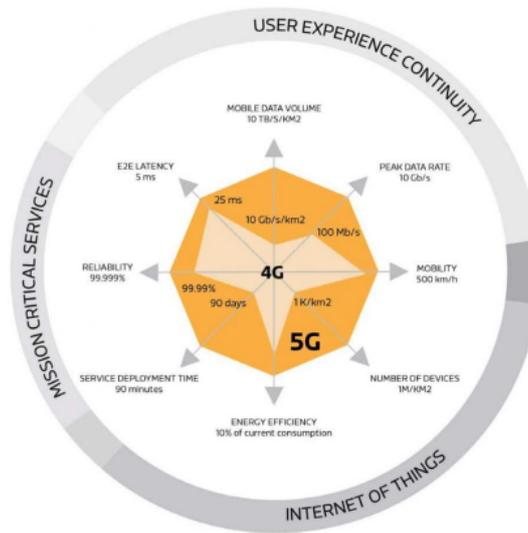


FIGURE 1.9 – La 5G : Une révolution dans les communication sans fil

- **Connexions mobiles rapides** : Jusqu'à 10 Gbit/s de débit de données - > de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G.
- **Nette réduction de la latence** : Délai de réponse réduit jusqu'à 1 ms pour des applications spécifiques.
- **Plus grand nombre d'objets connectés et de capteurs (IoT)** : Jusqu'à 1 million d'appareils par km² (Bruxelles : 7.511 habitants par km² ...). Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils Internet des objets à faible consommation.
- **Couverture du réseau** : 100 % de couverture et 99,999 % de disponibilité (= moins de 5 min d'indisponibilité par an).

1.3.3.4 Défis liés à la mise en œuvre de la technologie 5G

Les réseaux 5G doivent prendre en charge une telle diversité d'optimisation des performances de manière flexible et fiable. Plus précisément, la 5G devrait répondre aux indicateurs de performance clés (KPI) suivants : [6]

- Fournit une capacité de zone sans fil 1 000 fois supérieure.
- Améliorer les capacités de service et économisez jusqu'à 90% d'énergie par service fourni.
- Réduire le cycle de temps moyen de création de service de 90 h à 90 min.
- Facilitez les déploiements très denses de liaisons de communication sans fil pour connecter plus de 7 000 milliards d'appareils sans fil desservant plus de 7 milliards de personnes.
- Activation d'une confidentialité avancée contrôlée par l'utilisateur.

Pour satisfaire les KPI énumérés ci-dessus, une nouvelle architecture ainsi que de nouvelles technologies de communication et un nouveau matériel seront nécessaires. Les exigences que cette architecture doit remplir sont énumérées dans la figure 1.10 ci-dessous : [6]

- Connexions de 1 à 10 Gbit/s aux points finaux sur le terrain.



FIGURE 1.10 – Objectifs techniques de la 5G

- Délai aller-retour de bout en bout (latence) de 1 ms.
- Bande passante 1000x par unité de surface.
- 10 à 100 fois le nombre d'appareils connectés.
- Réduction de 90% de la consommation d'énergie du réseau Jusqu'à 10 ans d'autonomie pour les appareils de type machine à faible consommation.

1.3.3.5 Aperçu des nouvelles techniques de la communication 5G

La 5G représente une nouvelle ère de communication sans fil, offrant des améliorations significatives en termes de vitesse, de capacité, de latence et de connectivité. Elle introduit des technologies innovantes telles que le MIMO massif, le beamforming, le full-duplex et le network slicing, qui révolutionnent les performances et les possibilités offertes par les réseaux mobiles. Ces avancées ouvrent la voie à des applications et des services révolutionnaires, tels que l'Internet des objets.

1.3.3.5.1 OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing est une technique largement étudiée en raison de son utilisation dans les systèmes LTE et de son potentiel pour la technologie 5G. Il présente des avantages tels que la résistance à la distorsion par trajets multiples, la facilité de mise en œuvre avec des FFT et IFFT, et la réduction des interférences intercellulaires grâce à l'orthogonalité des sous-porteuses. De plus, l'OFDM peut fonctionner avec des techniques d'antenne MIMO en adaptant les distorsions de phase et de fréquence. Cependant, il présente des inconvénients tels que le PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) élevé, qui affecte l'efficacité des amplificateurs, et la sensibilité au décalage et à la dérive des porteuses [6].

1.3.3.5.2 MIMO Massive : Le MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) est une technologie clé de la 5G qui utilise plusieurs antennes d'émission et de réception sur le même canal. Chaque antenne de réception (RX) collecte à la fois les signaux directs et indirects provenant des antennes d'émission (TX). En combinant des méthodes avancées d'antennes, telles que les antennes réseau à commande de phase, et l'utilisation de fréquences plus élevées, les dimensions des antennes ont été réduites. De plus, la bande des ondes millimétriques présente un potentiel amélioré de réutilisation des fréquences en raison de pertes de trajet plus élevées. Cela permet

une densification des stations de base (BS) avec un grand nombre d'antennes, ce qui est appelé MIMO massif. Cela permet de desservir simultanément plusieurs utilisateurs sur le même canal. [6].

1.3.3.5.3 Full-duplex : La technologie 4G utilise des fréquences différentes pour les flux montants et descendants afin d'éviter les interférences. En revanche, la 5G utilise le reroutage sur une même fréquence, permettant ainsi de transmettre simultanément les données montantes et descendantes sur une seule fréquence. Cette approche améliore la fluidité du réseau et l'expérience utilisateur en évitant les interruptions de connexion liées aux changements de fréquence. Grâce à cette fonctionnalité, la 5G optimise l'utilisation des ressources et offre une meilleure efficacité spectrale pour répondre aux besoins croissants de connectivité [17].

1.3.3.5.4 Beamforming : La technologie du beamforming a transformé le fonctionnement des antennes-relais dans le déploiement de la 5G. Contrairement aux antennes actuelles qui émettent dans toutes les directions, le beamforming permet de concentrer les ondes émises par une antenne vers des smartphones spécifiques. Les antennes 5G sont donc dirigées et agissent comme des phares directionnels plutôt que de diffuser le signal dans toutes les directions comme les antennes 4G. Cette approche présente plusieurs avantages. Tout d'abord, elle permet de fournir un signal plus précis et puissant à un appareil spécifique, même lorsque les utilisateurs sont en mouvement. De plus, le beamforming permet aux antennes de ne pas émettre en permanence, mais seulement lorsque cela est nécessaire, ce qui se traduit par une économie d'énergie significative. Ainsi, grâce au beamforming, les antennes 5G offrent une connectivité plus ciblée, économe en énergie et adaptée aux besoins spécifiques des utilisateurs [17].

1.3.3.5.5 Network slicing : Le découpage de réseau permet de diviser un réseau physique en plusieurs réseaux virtuels, personnalisés pour des applications spécifiques. Grâce au cloud computing et à la virtualisation, les ressources réseau peuvent être programmées de manière dynamique pour répondre aux besoins changeants des utilisateurs. Les tranches réseau 5G sont des combinaisons de fonctions et de paramètres adaptés à des cas d'utilisation spécifiques, offrant des capacités sur mesure et une flexibilité pour s'adapter aux exigences changeantes. Le découpage de réseau se distingue par la possibilité de fournir un environnement virtualisé ouvert à des tiers, différenciant ainsi cette approche du partage traditionnel de réseau [15].

1.4 Conclusion

Dans ce chapitre, notre attention s'est portée sur une vue d'ensemble du réseau IoT 5G et sur l'utilisation des réseaux cellulaires pour développer et créer des applications pour l'Internet des objets. Avec une architecture réseau extrêmement évolutive, l'objectif principal était de fournir des services IoT 5G abordables en connectant un grand nombre d'appareils. En ce qui concerne les applications IoT, le réseau IoT de cinquième génération a la capacité de connecter jusqu'à 100 milliards d'appareils, et il représente une avancée technologique prometteuse offrant des débits de transfert de données plus élevés grâce à l'utilisation des réseaux 5G. Avec des offres de données illimitées, les technologies 5G sont en mesure de conduire l'une des plus grandes révolutions technologiques de notre époque.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons l'une des toutes dernières révolutions de la communication 5G : le découpage de réseau (network slicing).

Chapitre 2

Étude Préalable de Network Slicing

2.1 Introduction

La demande croissante de connectivité et d'applications pour les objets intelligents pose des défis majeurs en termes de débit de données, de latence et de bande passante. Les technologies 3G et 4G existantes ne sont pas suffisantes pour répondre à ces besoins. La technologie 5G est considérée comme une solution prometteuse pour l'Internet des objets en offrant des vitesses plus rapides, une meilleure durée de vie de la batterie et une meilleure efficacité du spectre. Cependant, la communication entre plusieurs appareils dans la 5G-IoT peut rencontrer des problèmes d'interférences. C'est pour cette raison que les réseaux 5G actuels tentent de progresser vers davantage de virtualisation. Par conséquent, le découpage de réseau peut être l'une des suggestions efficaces pour résoudre le problème prédéfini.

Dans ce chapitre, nous commencerons par définir le principe du découpage de réseau (network slicing) dans le contexte de la 5G-IoT. Ensuite, nous examinerons les différentes recherches et travaux qui se sont concentrés sur cette approche de découpage de réseau.

2.2 Découpage de réseau dans la 5G

2.2.1 Définition

Le « découpage de réseau » remplira une tâche importante en améliorant la flexibilité des réseaux existants et des réseaux cellulaires à l'avenir. Avec le network slicing, le physique du « réseau cellulaire » est séparé en plusieurs réseaux virtuels également appelés « slice » aux capacités hétérogènes. Ensuite, chaque « tranche » fonctionnait pour effectuer les tâches de l'utilisateur final. Le découpage construit le réseau virtuel qui peut permettre une capacité flexible et puissante de créer plusieurs « réseaux logiques » au-dessus de l'infrastructure physique comme expliqué dans la figure 2.1.

Chaque tranche est une instance logique du réseau 5G, avec ses propres caractéristiques de réseau (bande passante, latence, priorité, etc.). Cela permet d'adapter le réseau aux différents cas d'usage 5G (IoT, véhicules connectés, services à très haute fiabilité, etc.) [15].

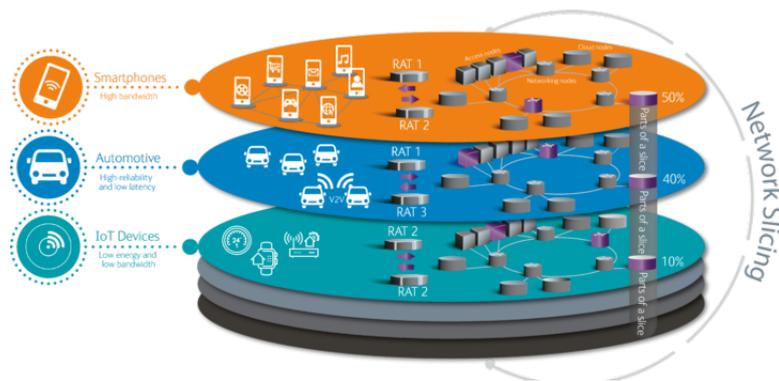


FIGURE 2.1 – Network slicing in 5G

Le network slicing est rendu possible grâce à la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et à l’orchestration logicielle (SDN) qui permettent de créer dynamiquement ces tranches virtuelles sur la même infrastructure physique.

SDN : (Software-Defined Networking) est un composant clé de l’architecture de réseau 5G, permettant de surmonter les limitations matérielles. Il sépare le plan de contrôle des commutateurs et offre un contrôle externe des données via un contrôleur SDN. L’objectif du SDN est de créer un réseau entièrement automatisé avec une administration centralisée, simplifiant la gestion et permettant l’introduction de nouveaux services. Les avantages du SDN incluent la programmabilité du réseau, la gestion centralisée, la réduction des coûts et l’agilité [15].

NFV : (Network Functions Virtualization) Le découpage de réseau utilise la technologie (NFV) pour créer des services de communication personnalisés. Les fonctions réseau sont virtualisées et connectées pour répondre aux besoins des cas d’utilisation. Une fonction réseau virtualisée est constituée de machines virtuelles exécutant différents logiciels et processus sur des serveurs, des commutateurs, des périphériques de stockage et une infrastructure cloud. Les tranches de réseau sont créées pour fournir différents services de communication et peuvent inclure un ou plusieurs sous-réseaux. Chaque sous-réseau exécute une fonction réseau spécifique en fonction des besoins du cas d’utilisation [15].

2.2.2 Couches de découpage de réseau

Le service, le réseau et la ressource sont trois couches fonctionnelles distinctes qui sont prises en compte lors du découpage du réseau. Plusieurs instances peuvent être configurées au niveau de la couche réseau et des ressources pour une tranche de couche de service dédiée [15].

2.2.2.1 Couche de service :

La couche de service du découpage de réseau est chargée de fournir des services aux utilisateurs finaux ou aux entreprises. Il est configuré en fonction des besoins spécifiques de ses derniers et spécifie les exigences strictes pour chaque tranche, notamment des caractéristiques telles que le débit de données, la latence et la fiabilité. Elle est fournie par un fournisseur de services de télécommunications ou un opérateur de réseau et constitue l’interface entre l’utilisateur final et le réseau. Il s’agit de la couche la plus élevée de l’architecture de découpage du réseau et est chargée de fournir la qualité de service (QoS) souhaitée aux utilisateurs finaux.

2.2.2.2 Couche de réseau :

La couche d'instance de tranche de réseau peut ou non incorporer des couches de sous-réseau. Elle établit des instances de tranche par isolation physique ou logique directe à travers plusieurs domaines tels que RAN, Edge, Core Network, Transport, etc. Cette couche se présente sous la forme d'un réseau logique utilisant des fonctions de réseau virtualisées. Les instances de tranche de réseau peuvent être totalement ou partiellement isolées en intégrant une isolation physique ou logique. Le réseau logique est établi avec des caractéristiques de réseau prédéfinies requises par l'instance de service.

2.2.2.3 Couche de ressources :

La couche de ressources comprend l'infrastructure NFV, les machines virtuelles (stockage, informatique, réseau), les ressources radio et d'autres ressources permettant de créer des tranches de réseau ou des instances de sous-réseau. Il comprend à la fois les ressources physiques et logiques pour le réseau physique et logique. Il facilite l'utilisation efficace des réseaux cellulaires, des nœuds d'accès, des nuages, des appareils intelligents, du stockage et de l'informatique, y compris l'informatique avancée, pour répondre aux spécifications et aux exigences de latence.

2.2.3 Les défis liés au découpage de réseau

Le plus grand défi consiste en fait à comprendre comment générer ces tranches, puis à les gérer et à les identifier. Les réseaux 5G présentent de plus grands défis que les versions antérieures des réseaux mobiles. Les exigences importantes adressées pour s'adapter à l'ensemble du réseau incluent la bande passante et la latence. C'est l'idée de diviser un réseau réel en plusieurs réseaux logiques. Voici quelques défis auxquels est confronté le découpage du réseau avec la génération 5G : [18]

- **Solutions indépendantes de la technologie** : le grand défi consiste à trouver une méthode permettant d'effectuer librement l'allocation des ressources et la séparation du réseau sans fil en plusieurs tranches. Cela peut s'avérer difficile lors de la division d'un réseau hétérogène en tranches.
- **Mobilité des utilisateurs** : La mobilité des utilisateurs est un attribut spécifique des réseaux sans fil qui pose de nouveaux problèmes de « découpage ». Les réseaux sans fil traitent de la gestion de la mobilité des utilisateurs et tentent de trouver et de gérer l'emplacement de l'utilisateur.
- **Dynamique et limites de temps** : Les paramètres existants pour la transmission sur les techniques de découpage diffèrent au fil du temps de manière dynamique, de nombreuses normes sans fil choisissent les paramètres de transmission les plus élevés pour les conditions existantes.
- **Sécurité** : Le caractère principal du « slicing » est l'abstraction, lorsque la « tranche » est considérée comme un réseau dans son ensemble. L'élasticité constitue une menace majeure pour les réseaux sans fil.

2.2.4 Cas d'utilisation

L'émergence de l'Internet des objets a élargi les possibilités d'utilisation du réseau 5G. Le découpage de réseau dans le contexte du réseau 5G permet de fournir les tranches de réseau

appropriées pour répondre aux différentes demandes et exigences des cas d'utilisation. Cela inclut l'IoT massif, qui connecte des capteurs à l'échelle mondiale pour des applications telles que les villes intelligentes et les services publics intelligents. De plus, les applications ultra-fiables à faible latence nécessitent des connexions à faible latence et hautement fiables pour des applications industrielles et de contrôle à distance. Le découpage de réseau dans le réseau 5G permet de répondre à ces besoins spécifiques et d'optimiser les performances pour chaque cas d'utilisation.

La figure 2.2 montre une démonstration simple des différents cas d'utilisation qui seront servis par les tranches du réseau 5G.

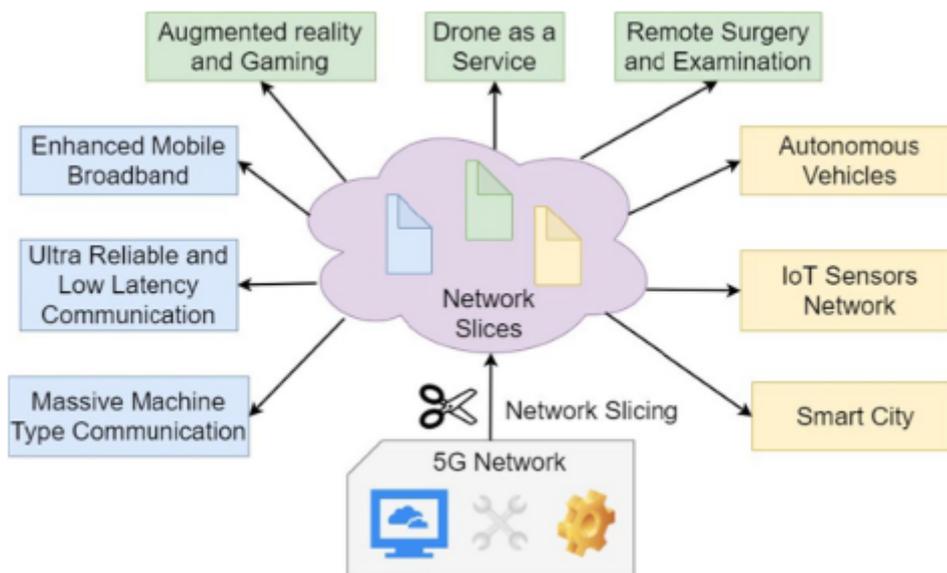


FIGURE 2.2 – Cas d'utilisation du découpage de réseau..

Les cas d'utilisation permettront d'identifier la nature des tranches qui doivent être créées par le réseau 5G. Il était donc essentiel de considérer les cas d'utilisation dans le cadre de la classification. Différents sous-facteurs dans les cas d'utilisation ont été utilisés pour la classification. Les principaux incluent la mobilité, la gestion des ressources, la sécurité, l'IoT, les cas d'utilisation à faible latence et à bande passante ultra élevée. Ces différents cas d'utilisation peuvent s'adapter à de nombreuses industries, entreprises et utilisateurs finaux que le réseau 5G desservira [19].

2.3 Synthèse sur les travaux autour de Network Slicing

La combinaison de la 5G et du découpage de réseau facilite la connexion et la gestion efficace de nombreux appareils au sein de l'IoT. Cette approche joue un rôle essentiel pour répondre aux diverses exigences en matière de bande passante, de latence et de sécurité. Elle est largement utilisée dans des secteurs tels que la santé, le transport et la sécurité, offrant ainsi des avantages considérables en termes de personnalisation des services et d'optimisation des ressources. Dans cette partie, nous allons étudier les cas d'utilisation de l'IoT dans le contexte du découpage de réseaux.

2.3.1 Network slicing dans le domaine de la sécurité

Alex Mathew (2020) [20]

A exploré la technologie de découpage de réseau et il a examiné les problèmes de sécurité qu'elle introduit dans la 5G. L'étude utilise une revue systématique, une méthodologie qualitative, pour collecter et analyser des données. Le processus d'analyse des données est de nature thématique, en se concentrant sur les défis de sécurité, leurs solutions et les avantages du découpage de réseau. Les résultats de la littérature indiquent que le découpage de réseau présente deux défis majeurs, à savoir la sécurité et la mise en œuvre du réseau d'accès radio (RAN) 5G pour prendre en charge le découpage. Les solutions potentielles à ces défis comprennent l'isolation du réseau par le découpage, la cryptographie, l'authentification et l'allocation manuelle du découpage à différents appareils. Les principales conclusions tirées de l'étude proposée sont que le découpage de réseau convient à la 5G et que les solutions restent efficaces pour minimiser les risques de sécurité qu'il pose au réseau.

Il existe différents algorithmes de découpage de réseau et diagrammes de bloc qui ont été proposés pour la mise en œuvre du découpage de réseau dans la 5G. Kasgari et al. créent un modèle de système qui met en œuvre une tranche de réseau pour permettre aux fournisseurs de services d'avoir des applications personnalisées prises en charge par leurs fournisseurs d'infrastructure. La technique de découpage garantit un niveau de qualité de service (QoS) souhaité et l'isolation des tranches les unes des autres. Dans le système, les auteurs réintroduisent les signaux de rétroaction $F_i(t)$ et $G_i(t)$ respectivement des tranches S_e et S_v , et le contrôleur utilise ces signaux pour optimiser les ressources pour chaque utilisateur dans chaque tranche. La figure 2.3 présente le diagramme de bloc de leur modèle d'allocation des ressources proposé.

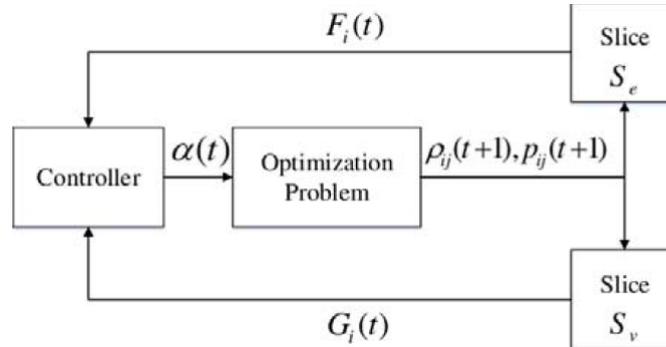


FIGURE 2.3 – Diagramme en bloc de découpage de réseau par Kasgari et al.

La tranche de réseau comprend différents composants réseau. Les principaux composants comprennent l'infrastructure cloud, le réseau d'accès, les réseaux externes et les appareils ou systèmes à connecter. La figure 2.4 présente un diagramme de bloc de l'infrastructure 5G découpée à haut niveau.

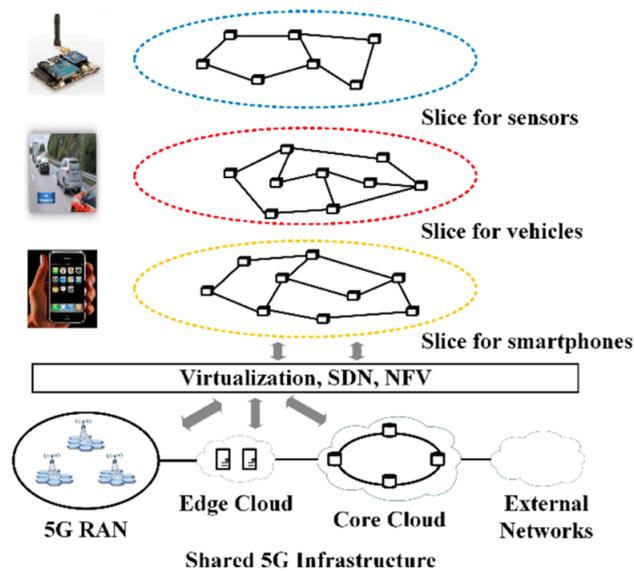


FIGURE 2.4 – Infrastructure pour le découpage de réseau 5G.

L'isolation est l'élément clé d'une tranche de réseau pour les communications mobiles 5G. Ainsi, un document de travail de 5G Americas propose un algorithme simple qui décrit l'implémentation hiérarchique de l'isolation des données de sécurité dans une tranche de réseau. L'algorithme est présenté dans le tableau suivant .

Security isolation algorithm

1. Identify the isolation mechanism
 - Specify enforcement locations (physical host, hardware, supervisor, or intra-application).
 - Identify the granularity of the isolation (guest, application group, application, and the sub-application).
 2. Establish the isolation policy
 - Generate policy, either automatic or manual.
 - Establish configurability (reconfigurable or non-reconfigurable).
 - Specify the policy lifetime (always-on or on-demand).
 3. Implement isolation policy.
-

Le découpage de réseau présente des défis en termes de mise en œuvre et de sécurité, tels que les attaques DoS et les vulnérabilités liées à la diversité des fournisseurs. Des solutions de sécurité, telles que l'isolation des tranches et la personnalisation des schémas de sécurité, sont proposées. Malgré ces défis, le découpage de réseau offre des avantages tels que l'amélioration des performances, l'évolutivité et une meilleure optimisation des ressources.

2.3.2 Network slicing dans le domaine de transport(Véhicule)

Ciprian Zamfirescu, et al(2023) [21]

La communication Véhicule-à-Tout (V2X) fait parti des capacités des réseaux 5G pour faciliter les échanges entre les véhicules et leur environnement, en répondant à des exigences telles que la faible latence, la fiabilité élevée et le débit élevé. Ils sont proposé une solution pour satisfaire ces exigences dans les réseaux 5G. En segmentant le réseau en tranches logiques, chaque tranche dispose de ressources dédiées garantissant une qualité de service optimale. Une approche basée sur l'apprentissage par renforcement permet d'optimiser l'allocation des ressources entre les différentes tranches, avec une attention particulière portée à la communication V2X. Les évaluations du système démontrent que le découpage de réseau permet d'obtenir des débits de données plus élevés pour la communication V2X par rapport à une allocation uniforme des ressources. Il est essentiel d'assurer une répartition adéquate des ressources entre la communication V2X et les autres services afin de garantir une qualité de service satisfaisante pour tous les utilisateurs finaux. Ainsi, le découpage de réseau facilite le développement de la communication V2X dans les réseaux 5G, ouvrant de nouvelles opportunités pour les véhicules connectés et autonomes. Le découpage de réseau dans les réseaux 5G permet de diviser le réseau en tranches logiques adaptées à différents cas d'utilisation tels que l'eMBB, l'URLLC, le mMTC et le V2X.

Une approche basée sur l'apprentissage par renforcement peut être utilisée, permettant d'optimiser dynamiquement l'affectation des ressources en fonction des besoins changeants du réseau.

Dans la figure 2.5, nous présentons un schéma de l'architecture proposée de découpage de réseau pour les applications V2X en tenant compte de la coexistence du trafic eMBB, mMTC et URLLC. Dans ce cadre, nous avons défini trois composants ou instances de découpage de réseau comme décrit ci-dessous. Les trois instances de découpage doivent interagir et communiquer entre elles, comme illustré dans cette figure.

- **Client** : Une instance Client qui doit être installée dans chaque véhicule.
- **Station de base** : L'instance Station de base est responsable de la réception des demandes des clients et de leur transmission à l'instance de gestion des tranches (Slice Management).
- **Tranches ou Gestion des tranches** : L'instance de gestion des tranches vérifie la disponibilité des ressources radio et alloue en conséquence des ressources à chaque tranche.

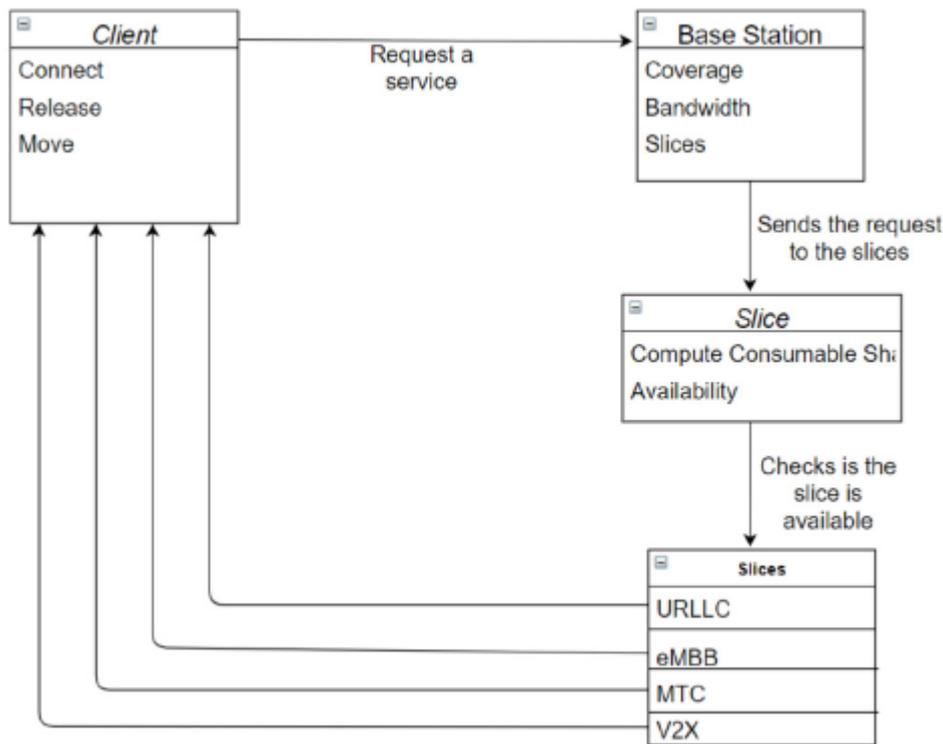


FIGURE 2.5 – Aperçu de la structure proposée de découpage de réseau.

Lorsque le cadre est en fonctionnement, une instance Client lance une demande de service vers la station de base la plus proche. À ce moment-là, la Station de base, qui dispose d’une couverture, d’une largeur de bande et d’un ensemble de ressources de tranche allouées spécifiées, envoie une demande à l’instance de gestion des tranches pour vérifier si la tranche demandée dispose de suffisamment de ressources. L’instance de gestion des tranches calcule la part consommable et vérifie la disponibilité des ressources de tranche demandées. Si la tranche peut fournir les services demandés à l’utilisateur final, les ressources correspondantes sont allouées au client respectif. Ensuite, une tranche, qui peut être URLLC, eMBB, mMTC ou V2X, est chargée d’établir une connexion avec le client.

Algorithmes pour les trois instances de découpe

Dans cette sous-partie, nous présentons les algorithmes essentiels pour chaque instance de tranche. Pour l’instance Client, les étapes à effectuer à chaque cycle de session de connexion sont :

- **Les statistiques** : comptent le nombre d’utilisateurs connectés

Algorithm 2 Release consume function

```

Input: Client
Output: Release_consume()
1: if Client is connected and last usage > 0 then
2:   Release _consume();
3:   if remaining usage <= 0 then
4:     disconnect;
5:   end if
6: end if
  
```

- **Le verrouillage** : correspond à la connexion à la station de base la plus proche.

Algorithm 1 Connect function

Input: Slice
Output: Connected clients in coverage

```

1: if Client is connected then
2:   Return;
3: end if
4: Connect attempt ++;
5: if Slice is available then
6:   Connected users ++;
7:   Connected ← True;
8:   return True;
9: else
10:  Assign closest basestation;
11:  if Basestation exists and slice is available then
12:    Handover count ++;
13:    if Base station exists and slice is not available then
14:      Block count ++;
15:    else
16:      print 'Client is not in coverage'
17:    end if
18:  end if
19: end if

```

- **La libération** : consiste à libérer les ressources occupées

Algorithm 3 Disconnect function

Input: Client is connected
Output: Disconnected client

```

1: if connected == False then
2:   print 'Client is already disconnected from this slice';
3: else
4:   get slice;
5:   connected users ← connected users - 1;
6:   Connected ← False;
7:   print 'Client connected to this slice';
8:   return not connected;
9: end if

```

- **Le déplacement** : permet au client de changer de position dans l'espace.

Algorithm 4 Movement of the client

Input: Initial position of the client (x,y)
Output: Final position of the client

```

1: x, y take the mobility pattern and generate movement;
2: x ← x + x;
3: y ← y + y;
4: if Base station exists then
5:   if client is not in coverage then
6:     disconnect;
7:     assign closest base station;
8:   end if
9: else
10:  assign closest base station;
11: end if

```

L'instance Station de base stocke les données relatives aux stations de base, telles que la couverture, la capacité et les tranches qu'elle contient. Elle envoie ces informations aux autres instances.

L'instance de gestion des tranches est responsable de la vérification de la disponibilité des ressources demandées. Elle gère les tranches d'une station de base, attribue des blocs de ressources et prend en compte la qualité de service et la tolérance au retard de chaque tranche.

- L'algorithme global assure la coordination entre les stations de base, les instances de gestion des tranches et les clients. Il fonctionne en initialisant les paramètres, puis en exécutant une boucle principale qui comprend les étapes suivantes : les clients effectuent leurs actions, les instances de gestion des tranches mettent à jour les capacités des tranches, les communications sont effectuées entre les instances et les stations de base, et la disponibilité des ressources est vérifiée pour les demandes de connexion et de transfert. L'algorithme se termine lorsque la session de connexion est terminée pour tous les clients.

Algorithm 5 Slice management class

Input: name, ratio, connected users, client weight, delay, QoS class, guaranteed bandwidth, maximum bandwidth, initial capacity;

Output: Selected slice

```
1: Define the used parameters: name, ratio, connected users, client weight, delay, QoS
   class, guaranteed bandwidth, maximum bandwidth, initial capacity;
2: def function get_consumable_share:
3: if connected users == 0 then
4:   return min(initial capacity, maximum bandwidth);
5: else
6:   return min(initial capacity / connected users, maximum bandwidth);
7: end if
8: def function is_available:
9: real capacity ← min(initial capacity, maximum bandwidth);
10:
11: next bandwidth for use ← real capacity / (connected users + 1);
12:
13: actual QoS of slice = floor(delay * client weight);
14: if next bandwidth for use < guaranteed bandwidth and
   actual QoS of slice < QoS class then
15:   return True;
16: else
17:   return False;
18: end if
```

2.3.3 Network slicing dans le domaine de la domotique

Dzogovic, et al (2019) [22]

Ils ont illustré comment le découpage de réseau dans la 5G peut être utilisée pour prendre en charge les applications de Smart Home de l'Internet des objets. L'étude décrit l'état de l'art de l'implémentation du Smart Home et explore comment le découpage de réseau peut répondre à ses exigences en termes de performances, de gestion, de sécurité et de coûts. Le concept de découpage de réseau dans la 5G est expliqué, et une mise en œuvre pilote dans un laboratoire est présentée. Le document souligne les limitations des solutions actuelles du Smart Home basées sur d'autres technologies sans découpage de réseau, et montre comment le découpage de réseau peut remédier à ces lacunes. Des suggestions pour des travaux futurs comprennent

une mise en œuvre plus élaborée avec davantage d'applications et de dispositifs domestiques, des tests avec de vrais utilisateurs pour recueillir des retours d'expérience, et l'identification d'opportunités commerciales et de modèles économiques pour la promotion du Smart Home 5G.

Pour améliorer le réseau domestique et répondre aux différentes exigences de qualité de service (QoS) des appareils, trois tranches de réseau 5G sont proposées pour le Smart Home.

- **La première tranche** est dédiée au système de sécurité du Smart Home, qui nécessite des mesures de sécurité renforcées. Elle dispose de ses propres fonctions virtuelles de réseau pour l'accès et le cœur du réseau, avec une instance AUSF pour l'authentification des appareils.
- **La deuxième tranche** appelée Enhanced Mobile Broadband (eMBB), offre une connectivité à haut débit pour les appareils tels que les téléphones mobiles, les ordinateurs portables, les tablettes et les caméras. L'accès à cette tranche peut être inclus dans un abonnement global pour les membres individuels ou l'ensemble du foyer.
- **La troisième tranche** Massive IoT, est dédiée aux appareils à faible consommation d'énergie nécessitant une connectivité à faible débit. Il s'agit notamment de capteurs divers (mouvement, proximité, fumée/gaz, etc.) et d'appareils électroménagers tels que les réfrigérateurs, les machines à café et les machines à laver.

2.3.4 Network slicing dans le domaine de la santé

Neha Gupta¹, et al(2024) [23]

Les systèmes de soins de santé intelligents nécessitent des résultats en temps réel pour un meilleur traitement et une prescription. Cependant, IoT ne fournit pas de solutions hautement fiables avec l'infrastructure réseau existante dans les applications de soins de santé intelligentes. Ainsi, l'intégration de la 5G peut améliorer les services fournis par les applications de soins de santé intelligentes. La latence et le retard sont deux facteurs communs qui entravent un meilleur résultat et une enquête en temps réel. Le découpage du réseau est l'un des facteurs clés par lesquels des paramètres importants peuvent être améliorés pour les générations futures.

Pour résoudre les problèmes clés du découpage du réseau, ils ont proposé un modèle efficace qui peut être utilisé pour l'équilibrage de charge et les conditions de surcharge, et fournir une tranche alternative en cas de panne de tranche.

Le modèle proposé se compose de cinq modules principaux : prétraitement, élimination de caractéristiques récursives, module de découpe réseau, construction de modèles, et module d'évaluation paramétrique. La fonctionnalité de tous les modules est présentée à la figure 2.6 avec le flux d'information. L'ensemble de données collecté appartient au trafic réseau qui se compose de valeurs de données distinctes basées sur le réseau 5G.

Dans le premier module, les données sont filtrées avec certaines caractéristiques. Alors que, dans le deuxième module, les données extraient les caractéristiques avec un algorithme d'élimination de caractère récursive. Un module de découpe réseau est utilisé pour gérer les tranches réseau en fonction des exigences du système de soins de santé. Le quatrième module est utilisé pour construire les modèles à l'aide d'algorithmes FLautoML qui sont utilisés pour générer des modèles efficaces automatiquement en fonction des performances. Enfin, le dernier module est utilisé à des fins d'évaluation et d'essai paramétriques. Le modèle proposé est basé sur la

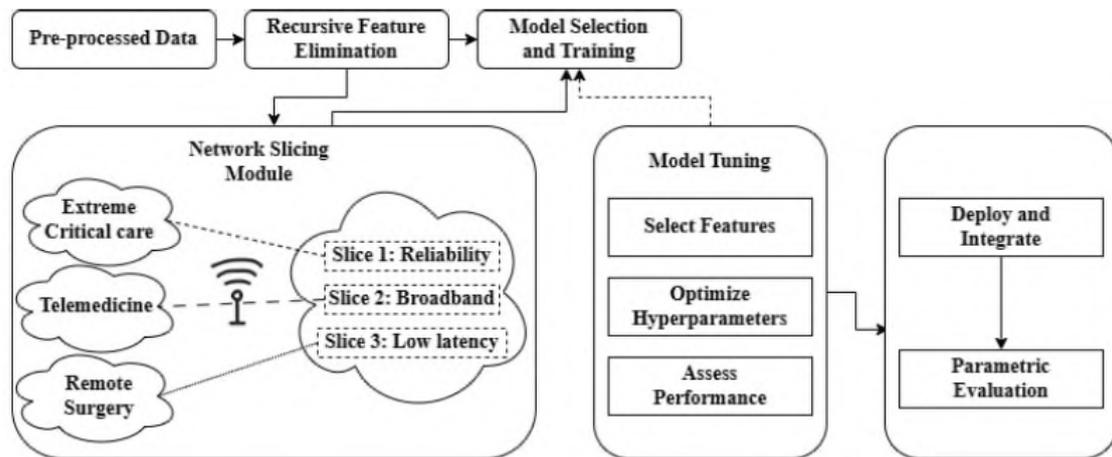


FIGURE 2.6 – Méthodologie proposée du système.

modélisation automatique afin qu'il puisse gérer un plus grand réseau de soins de santé si le nombre de dispositifs est augmenté.

Et afin de bien comprendre l'importance du découpage de réseau dans le domaine de la santé, cet article propose un algorithme de découpage de réseaux.

Le module de découpage de réseau proposé est utilisé pour créer des tranches de réseau en fonction des exigences et de la criticité des données. Il assure le contrôle et la gestion de la fonction réseau pour la création de tranches appropriées. Les données sont divisées en trois tranches distinctes : une pour les soins extrêmement critiques, une pour la télémédecine et une pour les chirurgies à distance.

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord présenté la technique du network slicing et ses différents domaines d'application. Ensuite, nous avons étudié les travaux de recherche et les propositions existantes concernant le découpage de réseaux dans les divers domaines de l'Internet des Objets .

Le troisième et dernier chapitre de notre travail sera consacré à la définition de l'algorithme de découpage de réseau qui a été proposé, dans le domaine de la santé. Nous procéderons ensuite à son implémentation sous Python.

Chapitre 3

Implémentation d'un algorithme de network slicing sous python

3.1 Introduction

Le network slicing constitue l'une des dernières avancées révolutionnaires de la technologie 5G. Cette technique de virtualisation des ressources réseau s'avère désormais essentielle dans de nombreux domaines de l'Internet des objets, notamment dans les secteurs de la sécurité, de la santé, de la domotique et des transports.

Dans les articles précédent, nous avons examiné plusieurs études portant sur les applications du network slicing dans le contexte de l'IoT 5G. Parmi ces cas d'usage, nous avons constaté que le déploiement du network slicing dans le domaine de la santé est encore en cours, en raison de son importance pour l'avenir. C'est pourquoi, dans ce chapitre, nous commencerons par présenter l'environnement de développement Anaconda, qui sera notre outil de travail. Une fois familiarisés avec Anaconda et les langages qu'il prend en charge, nous nous concentrerons sur l'implémentation d'un algorithme de découpage de réseaux dans le domaine de la santé.

3.2 L'algorithme de network slicing dans le domaine de la santé

3.2.1 Description de l'algorithme

Le module de découpage de réseau proposé permet de créer des tranches de réseau en fonction des exigences et de la criticité des données. Il assure le contrôle et la gestion de la fonction réseau pour la création de tranches appropriées. Les données sont ainsi divisées en trois tranches distinctes :

La première tranche est dédiée aux soins extrêmement critiques, qui bénéficie d'une connectivité haut débit améliorée (eMBB).

La deuxième tranche est réservée à la télémédecine, qui nécessitent une communication ultra-fiable et à faible latence (mMTC).

Enfin, la troisième tranche est allouée aux chirurgies à distance, qui requièrent une faible latence, une grande fiabilité et une haute sécurité (URLLC).

Algorithm 1 Network slicing (eMBB, URLLC, MF, mMTC)

```

1: Begin:
2: 1) mMTC, eMBB, NS, MF, URLLC = 0/* initialize network parameters with vector length l. */
3: 2) Initiate the looping variable k = 0;
4: 3) Loop: k ≤ l till
5: /* Load balancing for network slice */
6: 1) Percentage utilization of the network slice
7: M1 = eMBBi/sizeof(eMBB) × 100
8: M2 = URLLCi/sizeof(URLLC) × 100
9: M3 = mMTCi/sizeof(mMTC) × 100
10: M4 = MFi/sizeof(MF) × 100
11: 1) Perform the slicing with conditions
12: If (M1 < 90) && (high throughput):
13:     assign critical care unit for eMBB
14: Else if (M3 < 90) && (reliability and broadband connectivity):
15:     assign telemedicine unit for mMTC
16: Else if (M2 < 90) && (low-latency, high reliability, and high security):
17:     assign remote surgeries for URLLC
18: Else:
19:     MF = in case of network slice fails.
20: End loop.

```

FIGURE 3.1 – Algorithme de découpage de réseau

Ce découpage en trois tranches distinctes permet ainsi de répondre aux besoins spécifiques de chaque cas d'usage, en termes de performance, de fiabilité et de latence du réseau.

3.2.2 Déroulement de l'algorithme

Étape 01 : Initialisation

mMTC, eMBB, Ns, MF, URLLC sont initialisés à 0, avec une longueur de vecteur $l = 100$ (supposition).

- La variable de boucle k est initialisée à 0.
- Les tranches sont initialement remplies :

- **La tranche eMBB.**

R1	R5	R10	R30
----	----	-----	-----

TABLE 3.1 – Tranche eMBB

- **La tranche URLLC**

R3	R15	R20	R60
----	-----	-----	-----

TABLE 3.2 – Tranche URLLC

- **La tranche mMTC.**

R6	R19	R	48 R80
----	-----	---	--------

TABLE 3.3 – Tranche mMTC

- **La tranche MF**

R13	R28	R79	R100
-----	-----	-----	------

TABLE 3.4 – Tranche MF.

Étape 02 : Première itération de la boucle ($k = 0$)

Supposons que le service demande un haut débit.

- Calcul du pourcentage d'utilisation des tranches réseau :

- $M1 = (eMBB0 / \text{sizeof}(eMBB)) \times 100 = (0/120) \times 100 = 0\%$
- $M2 = (URLLC0 / \text{sizeof}(URLLC)) \times 100 = (0/135) \times 100 = 0\%$
- $M3 = (mMTC0 / \text{sizeof}(mMTC)) \times 100 = (0/119) \times 100 = 0\%$
- $M4 = (MF0 / \text{sizeof}(MF)) \times 100 = (0/99) \times 100 = 0\%$

« $\text{sizeof}(eMBB)$ » représente la taille ou la capacité totale déployée à la tranche eMBB du réseau 5G.

"eMBBI" représente la charge de trafic ou l'utilisation actuelle de cette tranche eMBB.

Le rapport entre ces deux valeurs ($eMBBI / \text{sizeof}(eMBB)$) permet de calculer le pourcentage d'utilisation de la tranche eMBB.

Étape 03 : Découpage du réseau en tranches.

Comme M1 inférieur à 90% et la condition de haut débit est vérifiée, l'algorithme affecte le service à la tranche eMBB assignée au service de vidéo haute définition.

Étape 04 : deuxième itération de la boucle ($k = 1$).

Supposons que le service demande une faible latence, haute fiabilité et sécurité élevée

- Le calcul des pourcentages d'utilisation donne :

- $M1 = (eMBB1 / \text{sizeof}(eMBB)) \times 100 = (109.2/120) \times 100 = 91\%$ (tranche eMBB proche de la saturation)
- $M2 = (URLLC1 / \text{sizeof}(URLLC)) \times 100 = (0/135) \times 100 = 0\%$
- $M3 = (mMTC1 / \text{sizeof}(mMTC)) \times 100 = (0/119) \times 100 = 0\%$
- $M4 = (MF1 / \text{sizeof}(MF)) \times 100 = (0/99) \times 100 = 0\%$

Étape 05 : Ajustement des tranches.

Comme M2 est inférieur à 90% et la condition faible latence, haute fiabilité et sécurité élevée est vérifiée, l'algorithme affecte le service à la tranche URLLC.

Étape 06 : troisième itération de la boucle ($k = 2$).

Supposons que le service demande une fiabilité élevée et connectivité large bande

- Le calcul des pourcentages d'utilisation donne :

- $M1 = (eMBB2 / \text{sizeof}(eMBB)) \times 100 = (109.2/120) \times 100 = 91\%$
- $M2 = (URLLC2 / \text{sizeof}(URLLC)) \times 100 = (67.5/135) \times 100 = 50\%$
- $M3 = (mMTC2 / \text{sizeof}(mMTC)) \times 100 = (0/119) \times 100 = 0\%$
- $M4 = (MF2 / \text{sizeof}(MF)) \times 100 = (0/99) \times 100 = 0\%$

Étape 07 : Ajustement des tranches.

Comme M3 est inférieur à 90% et la condition une fiabilité élevée et connectivité large bande est vérifiée, l'algorithme affecte le service à la tranche mMTC.

Étape 08 : quatrième itération de la boucle ($k = 3$).

Supposons que le service demande un haut débit et la tranche eMBB est saturée - Le calcul des pourcentages d'utilisation donne :

- $M1 = (eMBB3 / \text{sizeof}(eMBB)) \times 100 = (109.2/120) \times 100 = 91\%$
- $M2 = (URLLC3 / \text{sizeof}(URLLC)) \times 100 = (67.5/135) \times 100 = 50\%$
- $M3 = (mMTC3 / \text{sizeof}(mMTC)) \times 100 = (71.4/199) \times 100 = 60\%$
- $M4 = (MF3 / \text{sizeof}(MF)) \times 100 = (0/99) \times 100 = 0\%$

Étape 09 : Ajustement des tranches.

Comme M1 est supérieur à 90% (la 1er condition n'est pas vérifiée), et la condition haut débit est vérifiée, l'algorithme affecte le service à la tranche MF.

La tranche MF elle sera activée si une tranche dédiée est saturée ou bien elle venait de défaillir.

- $M1 = (eMBB3 / \text{sizeof}(eMBB)) \times 100 = (109.2/120) \times 100 = 91\%$
- $M2 = (URLLC3 / \text{sizeof}(URLLC)) \times 100 = (67.5/135) \times 100 = 50\%$
- $M3 = (mMTC3 / \text{sizeof}(mMTC)) \times 100 = (71.4/199) \times 100 = 60\%$

- $M4 = (MF3 / \text{sizeof}(MF)) \times 100 = (44.55/99) \times 100 = 45\%$

Étape 10 : Itérations suivantes.

L'algorithme continue à surveiller l'utilisation des différentes tranches et à ajuster dynamiquement l'allocation des ressources en fonction des besoins. Il active également la tranche MF si une des tranches dédiées dédiée est saturée ou bien elle venait de défaillir.

Cet exemple illustre comment l'algorithme de découpage de réseau réagit aux changements de trafic et d'exigences des services en réallouant dynamiquement les ressources entre les différentes tranches afin d'optimiser l'utilisation du réseau.

3.3 Présentation de l'environnement

3.3.1 Anaconda

Anaconda est un outil de distribution Python open source utilisé pour la gestion de packages et d'environnement de développement. Il sert à la réalisation de projets Python et de langages de programmation connexes, tel que R et Julia. Anaconda simplifie le processus de configuration et de gestion de différents packages et bibliothèques Python, ce qui en fait un outil indispensable pour les développeurs et les data scientist.

Son importance en data science est marquée par les packages qu'il propose comme : Numpy, Panda, Jupyter et Python. On peut aussi directement gérer ses environnements de développement et ses packages depuis son outil "conda". Il est également multi-plateforme, ce qui permet de l'installer sur Linux, Windows ou MacOS [24] .



FIGURE 3.2 – Anaconda

3.3.2 Bibliothèque Python et package Anaconda

Une **bibliothèque Python** est un ensemble de modules destiné à résoudre des problèmes spécifiques.

Un **package Anaconda** est un groupe de logiciels et de bibliothèques Python compilés pour simplifier l'installation et la gestion de bibliothèques Python et d'autres langages comme R [24] .

3.3.3 Anaconda navigator

Anaconda Navigator est l'interface de navigation d'Anaconda, elle permet de lancer les différentes API disponibles et de gérer les différents packages et environnements du logiciel. Cette interface permet de naviguer simplement dans le logiciel, sans devoir connaître toutes les lignes de code de Conda. L'interface Anaconda Navigator offre l'accès à une variété d'outils et de services, comme l'illustre la figure 3.2 suivante : [24]

- JupyterLab
- Jupyter Notebook
- Spyder
- Pycharm
- VS Code
- Orane 3 APP
- RStudio
- Anaconda powerShell

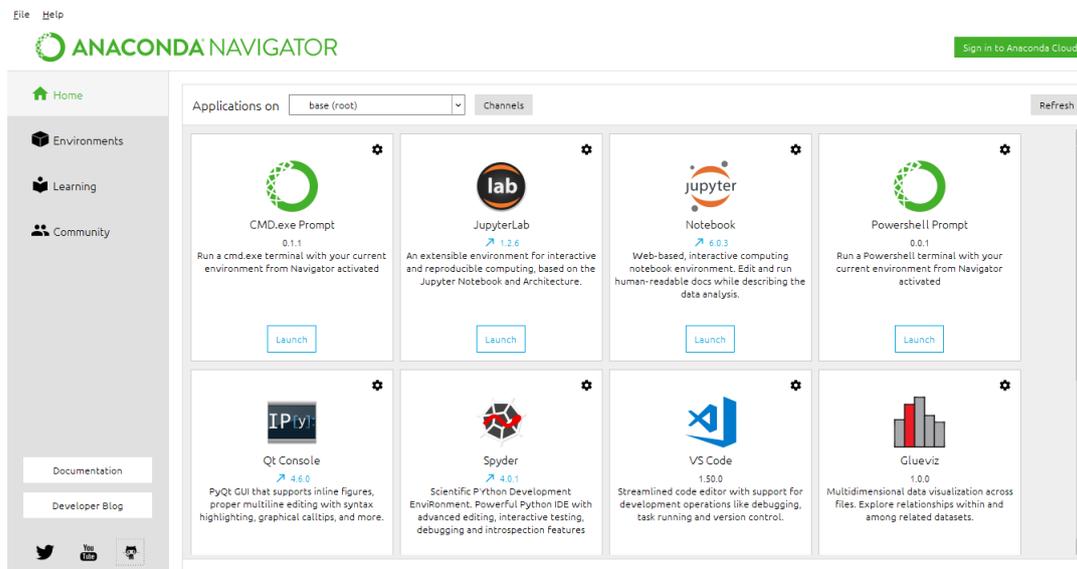


FIGURE 3.3 – Logiciel de programmation

3.3.4 Environnement de programmation Spyder

Spyder est un environnement scientifique gratuit et open source écrit en Python, pour Python, et conçu par et pour des scientifiques, ingénieurs et analystes de données. Il présente une combinaison unique des fonctionnalités avancées d'édition, d'analyse, de débogage et de profilage d'un outil de développement complet avec l'exploration des données, l'exécution interactive, l'inspection approfondie et les superbes capacités de visualisation d'un package scientifique [25].

3.4 Implémentation de l'algorithme sous python

L'implémentation de l'Algorithme sous Python simule le fonctionnement du "network slicing" dans un environnement 5G. Il crée quatre types de tranches virtuelles (eMBB, mMTC, URLLC et MF) et gère l'allocation des ressources à ces différentes tranches en fonction de certaines conditions.

Chaque graphe montre donc l'évolution du pourcentage d'utilisation de chaque tranche 5G (eMBB, mMTC, URLLC et MF) au fil des itérations du processus d'allocation des ressources.

- L'axe des abscisses représente les itérations (numéros d'itération).
- L'axe des ordonnées représente le pourcentage d'utilisation de la tranche (eMBB, mMTC, URLLC et MF).

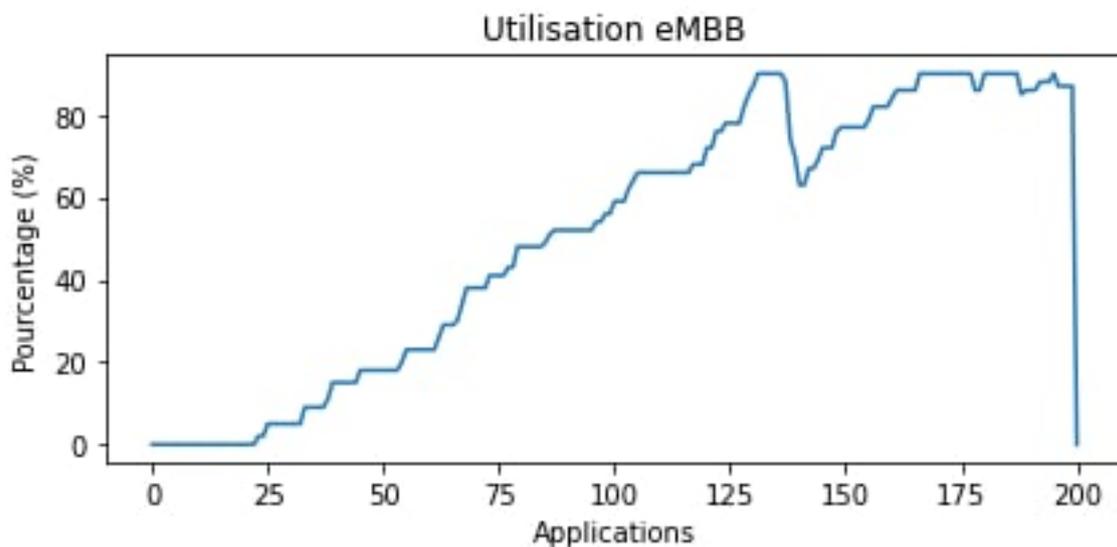


FIGURE 3.4 – Utilisation de la tranche eMBB

La figure 3.4 illustre l'utilisation de la tranche eMBB en fonction du nombre d'applications de soins critiques, il montre que l'utilisation du service eMBB suit une évolution en plusieurs phases. De 0 à 25 applications, l'utilisation est très faible, proche de 0%, avant d'augmenter progressivement. Puis de 25 à 125 applications, l'utilisation plafonne à 90%, indiquant une saturation complète de cette tranche. Dans ce cas il serait nécessaire d'activer la tranche MF pour accueillir les applications supplémentaires. Ensuite, on observe une chute importante de l'utilisation, qui passe d'environ 90% à seulement 60% entre 130 et 140 applications. L'utilisation remonte ensuite jusqu'à atteindre à nouveau la saturation de la tranche à 160 applications. Enfin, à 200 applications, l'utilisation diminue jusqu'à 0% car il n'y a plus d'autres applications qui sont en train d'utiliser cette tranche.

La figure 3.5 illustre l'utilisation de la tranche URLLC en fonction du nombre d'applications. On peut distinguer quatre phases distinctes dans l'évolution de cette utilisation. Tout d'abord, de 0 à 80 applications, l'utilisation démarre de 0%, puis elle augmente progressivement jusqu'à dépasser les 90%. Ensuite, entre 80 et 140 applications, l'utilisation est bloquée, la tranche est complètement saturée et ne peut plus accueillir d'autres applications. Cela impliquera l'activation de la tranche MF, pour pouvoir accueillir les applications supplémentaires qui en ont besoin.

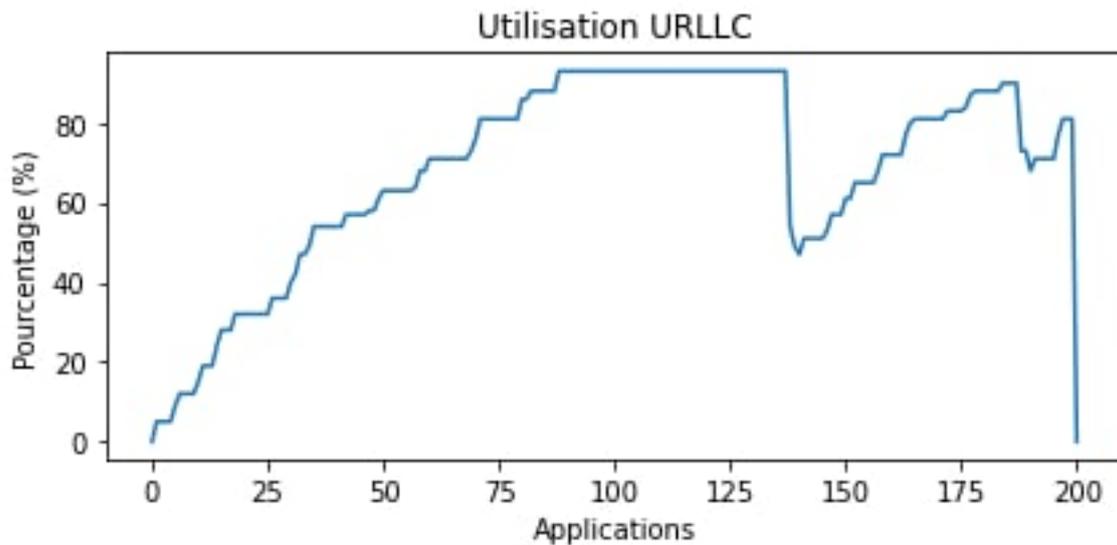


FIGURE 3.5 – Utilisation de la tranche UURLC

D'autre part, on observe une chute de l'utilisation, qui passe d'environ 90% à seulement 40-50% entre 140 et 150 applications. Enfin, de 150 à 200 applications, l'utilisation remonte de manière plus progressive, atteignant 60-70%. Enfin, à 200 applications, l'utilisation diminue jusqu'à 0% car il n'y a plus d'autres applications qui sont en train d'utiliser cette tranche.

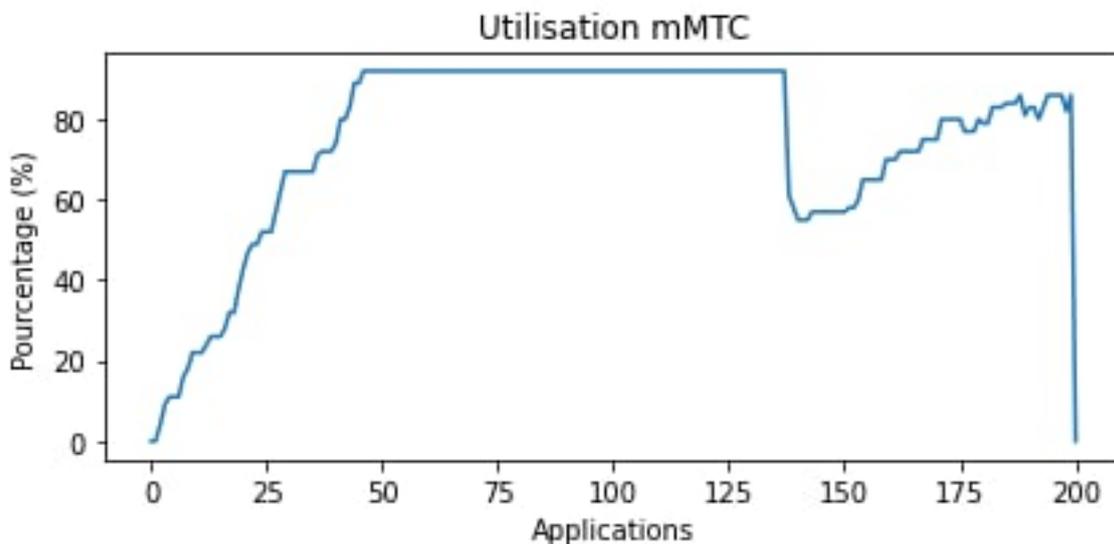


FIGURE 3.6 – Utilisation de la tranche mMTC

La figure 3.6 représente l'utilisation de la tranche mMTC en fonction du nombre d'applications. Nous pouvons observer plusieurs phases distinctes dans l'évolution de cette utilisation. Tout d'abord, de 0 à 50 applications, l'utilisation démarre à un niveau très bas, puis augmente rapidement pour atteindre les 95%. Ensuite, entre 50 et 140 applications, l'utilisation est bloquée à 95%, ce qui signifie que la tranche est complètement saturée et ne peut plus accueillir d'autres applications. Cela impliquera l'activation de la tranche MF pour pouvoir accueillir les autres applications qui demandent cette tranche. D'autre part, on observe une chute d'utilisation, qui passe d'environ 95% à seulement 50%, puis elle commence à augmenter à nouveau entre 140 et 150 applications. Enfin, à 200 applications, l'utilisation diminue jusqu'à 0% car il n'y a plus d'autres applications qui sont en train d'utiliser cette tranche mMTC.

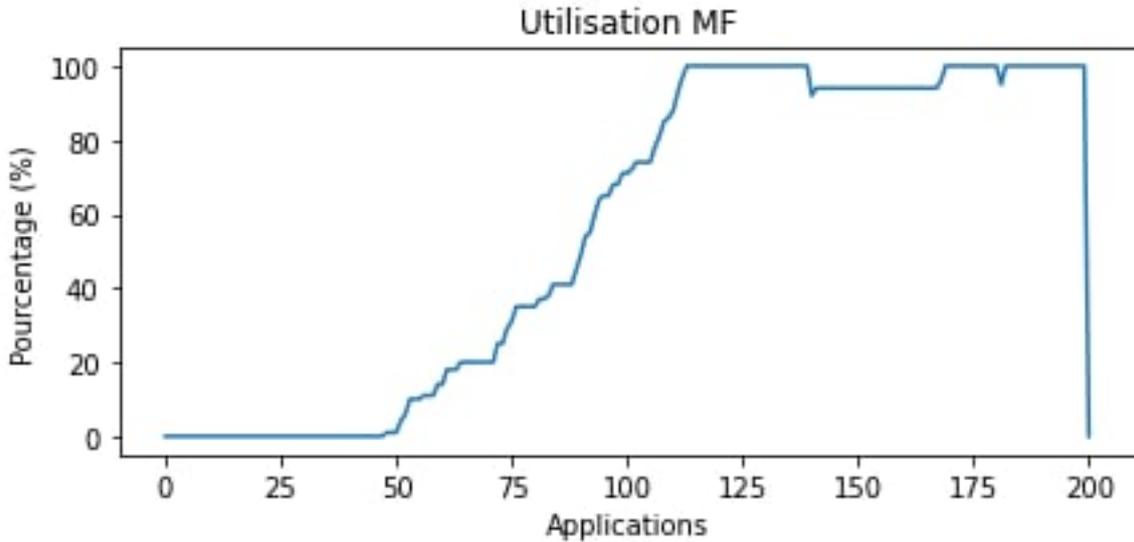


FIGURE 3.7 – Utilisation de la tranche MF

La figure 3.7 montre l'évolution de l'utilisation de la tranche MF à mesure que le nombre d'applications augmente. Nous pouvons observer plusieurs phases distinctes dans cette évolution :

Dans un premier temps, de 0 à 50 applications, l'utilisation de la tranche MF est inactive, son pourcentage d'utilisation est 0%. Cela indique que cette tranche n'est activée par aucune tranche à ce stade. Ensuite, elle a été activée pour la première fois par la tranche mMTC à 50 applications, son utilisation augmente rapidement, atteignant près de 98% de saturation. Cette montée en charge traduit le fait que de plus en plus d'applications nécessitent l'utilisation de cette tranche MF. Au-delà de 125 applications, on observe une chute importante de l'utilisation, qui passe de 98% à 88%, puis entre 150 et 200 applications, l'utilisation de la tranche MF remonte progressivement, atteignant à nouveau un niveau proche de la saturation à 100%. Enfin, à 200 applications, l'utilisation diminue jusqu'à 0% car il n'y a plus d'autres applications qui sont en train d'utiliser la tranche..

Ces graphes permettent de visualiser comment le "network slicing" répartit dynamiquement les ressources entre les différents types de services 5G, en fonction des conditions de trafic et des besoins spécifiques de chaque application. Cela permet d'optimiser l'utilisation des ressources réseau et de garantir les performances requises par chaque type d'application.

- **Comparaison entre les graphes**

Lorsque l'on compare ces graphiques, plusieurs points peuvent être analysés :

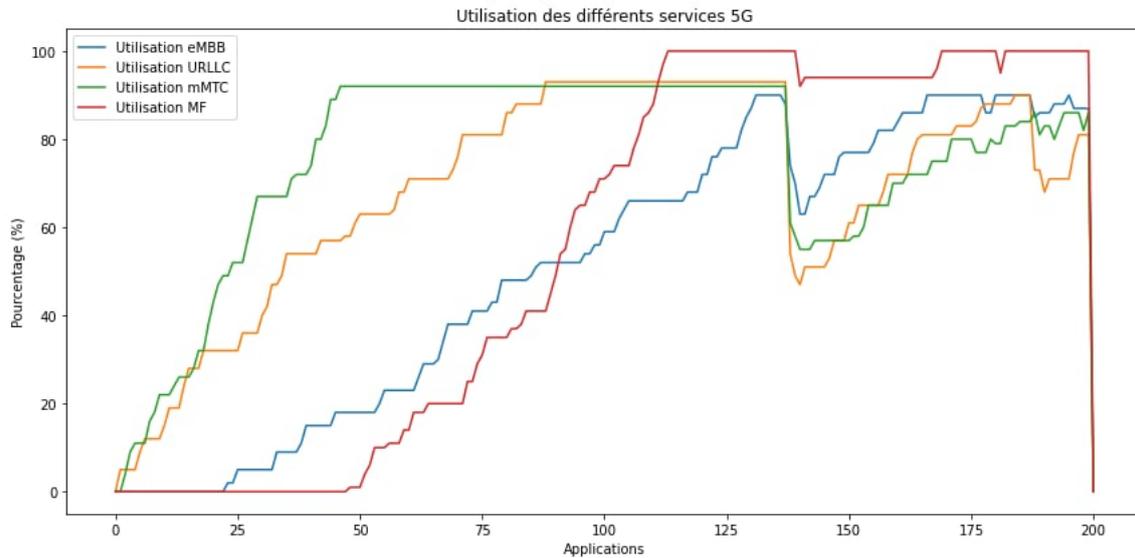


FIGURE 3.8 – Comparaison entre les tranches

Les courbes d'utilisation des tranches eMBB, URLLC et mMTC augmentent de manière assez linéaire avec le nombre d'applications, jusqu'à atteindre des niveaux de saturation proche de 100%.

Lorsque ces autres tranches atteignent leur limite, on voit alors l'utilisation de la tranche MF augmenter de façon plus marquée.

La tranche MF joue le rôle de réserve ou de complément pour absorber la charge lorsque les autres ressources spécialisées sont saturées.

Le graphe montre bien que la tranche MF est activée pour pallier à la saturation des autres tranches (eMBB, URLLC, mMTC), afin de permettre la prise en charge d'un nombre croissant d'applications sans dégradation des performances.

La tranche MF agit donc comme un amortisseur pour maintenir un niveau global d'utilisation élevé malgré les limitations individuelles des autres ressources spécialisées.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié en détail l'algorithme de découpage de réseau (network slicing) appliqué au domaine de la santé. Nous avons commencé par présenter l'environnement de programmation Anaconda et Spyder, puis nous avons implémenté cet algorithme en Python. Les résultats obtenus sont illustrés sous forme de graphiques montrant l'évolution du pourcentage d'utilisation des différentes tranches 5G (eMBB, mMTC, URLLC et MF) au fil des itérations.

Cette visualisation permet de comprendre comment le "network slicing" équilibre dynamiquement la répartition des ressources réseau afin de garantir les performances requises par chaque type d'application médicale. Cette étude approfondie nous a permis de mieux saisir les enjeux liés à l'optimisation de l'utilisation des ressources 5G pour les services de santé.

Conclusion Générale

La 5G, la nouvelle génération de réseaux mobiles, promet de transformer radicalement nos communications à l'échelle mondiale. Cette technologie sans fil permettra de connecter massivement les objets connectés (IoT), des véhicules autonomes aux robots chirurgicaux en passant par la réalité augmentée et les drones. L'évolution des réseaux 5G, de plus en plus accessible, constitue un moteur essentiel pour la croissance des applications IoT. La 5G-IoT connectera ainsi un nombre considérable de dispositifs IoT, contribuant à répondre à la demande du marché en services sans fil et stimulant de nouveaux développements économiques et sociaux. Au-delà de l'extension des infrastructures de réseaux conventionnels, la 5G vise à satisfaire de manière optimale les besoins croissants de la société en connectivité, entraînant des changements globaux dans la numérisation, la société et l'économie.

Dans ce mémoire, nous avons implémenté l'une des nouvelles applications de la 5G qui se base principalement sur l'internet des objets : la santé , en utilisant Python et le logiciel Spyder. L'objectif était d'étudier les réseaux 5G et leur utilisation dans l'IoT, en mettant l'accent sur la technique du network slicing.

Nous avons constaté que les générations de réseaux mobiles ont évolué pour offrir de meilleures performances, de nouvelles applications et une meilleure gestion. Maintenant, le monde se tourne vers la 6G pour de nouvelles améliorations dans l'IoT.

Ce projet a été une expérience très intéressante, nous permettant d'appliquer nos connaissances en informatique, réseaux et programmation, tout en acquérant de nouvelles connaissances sur la 5G et ses avantages pour l'IoT.

En perspectives, nous envisageons d'approfondir notre étude sur les réseaux 5G et la 6G, et d'acquérir plus de connaissances sur la technique de network slicing, et sur les autres techniques de réseau 5G.

Bibliographie

- [1] Lu Tan and Neng Wang. Future internet : The internet of things. In *2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE)*, volume 5, pages V5–376. IEEE, 2010.
- [2] Mohammad Javed and Ahmad Talha Siddiqui. Transformation of mobile communication network from 1g to 4g and 5g. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(3), 2017.
- [3] Somayya Madakam, Ramya Ramaswamy, and Siddharth Tripathi. Internet of things (iot) : A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5) :164–173, 2015.
- [4] Pradyumna Gokhale, Omkar Bhat, and Sagar Bhat. Introduction to iot. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 5(1) :41–44, 2018.
- [5] Hend Ben Hadji. Les fondamentaux de l’iot. *PhD, KAIST (Corée du Sud)*, 2020.
- [6] Jordi Mongay Batalla. *Internet of Things (IoT) in 5G Mobile Technologies*. Modeling and Optimization in Science and Technologies 8, 2016.
- [7] Lalit Chettri and Rabindranath Bera. A comprehensive survey on internet of things (iot) toward 5g wireless systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1) :16–32, 2019.
- [8] Imad Saleh. Internet of things (iot) : Concepts, issues, challenges and perspectives. 2017.
- [9] Atta ur Rhman Khan Qusay F.Hasssan and Sajjad A.Madani. *Internet of things Challenges, Advances, and Applications*. CHAPMAN HALL/CRC COMPUTER and INFORMATION SCIENCE SERIES, 2018.
- [10] Ir Dieudonné Libenge Mongambo. Les enjeux de la maintenance des réseaux des opérateurs de téléphonie mobile entre operateurs, prestataire et sous-traitant, cas de huawei et elms en rdc. *IJRDO-Journal of Computer Science Engineering*, 9(5) :1–13, 2023.
- [11] Saad Z.Asif. *5G Mobile Communications Concepts and Technologies*. International Standard Book Number-13 : 978-1-4987-5155-1 (Hardback), 2019.
- [12] M Abdullah, A Sultan, and A Hassan. 4g and 5g mobile communication networks : Features analysis, comparison and proposed architecture. *International Journal of Computer Science and Technology*, 7(2) :154–160, 2016.
- [13] Guy Pujoll. *l’ère des réseaux cloud et de 5G*. 2020.
- [14] Jonathan rodrigues. *Fundamentals of 5G MOBILE Networks*. Instituto de Telecomunicações, Aveiro, Portugal, 2015.
- [15] Shunliang Zhang. An overview of network slicing for 5g. *IEEE Wireless Communications*, 26(3) :111–117, 2019.
- [16] Asvin Gohil, Hardik Modi, and Shobhit K Patel. 5g technology of mobile communication : A survey. In *2013 international conference on intelligent systems and signal processing (ISSP)*, pages 288–292. IEEE, 2013.

- [17] Shree Krishna Sharma, Tadilo Endeshaw Bogale, Long Bao Le, Symeon Chatzinotas, Xianbin Wang, and Björn Ottersten. Dynamic spectrum sharing in 5g wireless networks with full-duplex technology : Recent advances and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1) :674–707, 2017.
- [18] Xenofon Foukas, Georgios Patounas, Ahmed Elmokashfi, and Mahesh K Marina. Network slicing in 5g : Survey and challenges. *IEEE communications magazine*, 55(5) :94–100, 2017.
- [19] Prashant Subedi, Abeer Alsadoon, PWC Prasad, Sabih Rehman, Nabil Giweli, Muhammad Imran, and Samrah Arif. Network slicing : A next generation 5g perspective. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2021(1) :102, 2021.
- [20] Alex Mathew. Network slicing in 5g and the security concerns. In *2020 Fourth International conference on computing methodologies and communication (ICCMC)*, pages 75–78. IEEE, 2020.
- [21] Ciprian Ciprian Zamfirescu, Radu Iugulescu, Răzvan Crăciunescu, Alexandru Vulpe, Frank Yong Li, and Simona Halunga. Network slice allocation for 5g v2x networks : A case study from framework to implementation and performance assessment. 2023.
- [22] Bruno Dzogovic, Bernardo Santos, Josef Noll, Boning Feng, Thanh Van Do, et al. Enabling smart home with 5g network slicing. In *2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, pages 543–548. IEEE, 2019.
- [23] Sachin Sharma Umang Garg Neha Gupta¹, Pradeep Kumar Juneja¹. An intelligent technique for network resource management and analysis of 5g-iot smart healthcare application. *Journal of Autonomous Intelligence (2024) Volume 7 Issue 1*, 7(1), 2024.
- [24] Anaconda pour python présentation et installation. <https://datascientest.com/>. Consulté le 03/06/2024.
- [25] Spyder. <https://www.spyder-ide.org/>. Consulté le 03/06/2024.

RÉSUMÉ

L'Internet des Objets est un nouveau paradigme donnant accès aux systèmes de communication sans fil et aux technologies d'intelligence artificielle, avec un potentiel applicable à une variété de domaines et d'applications intéressants. Parallèlement, le développement des technologies de réseau cellulaire de cinquième génération crée la possibilité de déployer d'énormes capteurs dans le cadre de l'Ido et de traiter des données massives, remettant en question les technologies de communication et d'exploration de données existantes. Dans ce mémoire, nous avons premièrement présenté un aperçu de l'Internet des Objets, de son évolution et de son architecture. Ensuite, nous avons exposé les différentes générations de réseaux mobiles, en nous basant sur la 5G et plus précisément sur sa technique de "découpage de réseau". Enfin nous avons implémenté un pseudo-algorithme de découpage de réseau 5G appliqué au domaine de la santé connectée, illustrant les bénéfices potentiels de cette convergence 5G-Ido.

Mots clés : Ido, 5G, réseau mobiles, découpage de réseau, domaine de la santé.

ABSTRACT

The Internet of Things is a new paradigm that provides access to wireless communication systems and artificial intelligence technologies, with potential applications in a variety of interesting domains and applications. At the same time, the development of fifth-generation cellular network technologies creates the possibility of deploying massive sensors as part of the IoT and processing large amounts of data, challenging the existing communication and data exploration technologies. In this dissertation, we first presented an overview of the Internet of Things, its evolution and architecture. Then, we discussed the different generations of mobile networks, focusing on 5G and more specifically on its "network slicing" technique. Finally, we implemented a pseudo-algorithm for 5G network slicing applied to the domain of connected health, illustrating the potential benefits of this 5G-IoT convergence.

key words : IOT, 5G, mobile networks, network slicing, domain of health.