

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمار التليجي بالأغواط
UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI LAGHOUE
كلية العلوم
FACULTÉ DES SCIENCES
قسم الإعلام الآلي
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE



Domaine : Mathématique et Informatique
Filière : Informatique
Option : Systèmes et réseaux informatiques

THÈME

Edge Computing et la 5G pour les services E-santé

Présenté par :

M^r BOUAKAZ Ilyas

M^r RAYANE Mohammed Ayoub

Devant le jury composé de:

Président: *M^r GEULLOUMA Younes*

M.C.A, Université AMAR TELIDJI LAGHOUE

Examineur: *M^{me} BOUSBAA Fatima*

M.C.B, Université AMAR TELIDJI LAGHOUE

Encadreur: *M^r LAGRAA Nasreddine*

Pr, Université AMAR TELIDJI LAGHOUE

Année Universitaire 2020/2021

ملخص

في السنوات الأخيرة ، أصبحت الحوسبة الطرفية شائعة بشكل متزايد مع ظهور تطبيقات إنترنت الأشياء. تتميز بمتطلبات جودة الخدمة الصارمة ، والتي لا تستطيع البنية التحتية السحابية الحالية تلبيتها. في هذا العمل ، درسنا بعض هندسات القائمة على الحوسبة الطرفية واقترحنا تحسينا على البروتوكول المستخدم في الحوسبة الطرفية يتمثل هذا التحسين في اختيار أفضل خادم يلبي طلب المستهلك باستخدام الحوسبة المتطورة. أخيراً ، قدمنا تطبيقاً وصفيًا يجعل فكرة الحوسبة المتطورة أقرب.

الكلمات المفتاحية :

إنترنت الأشياء، الحوسبة الطرفية، حوسبة سحابية

Abstract

In recent years, edge computing has become increasingly popular with the advent of Internet of Things (IoT) applications. These are characterized by stringent quality of service (QoS) requirements, which the current cloud infrastructure cannot satisfy. In this work, we studied some architectures-based edge computing (EC) and we proposed an improvement to the protocol used in architectures-based edge computing. This improvement consists in the selection of the best server satisfying the consumer's request using edge computing. Finally, we have presented a descriptive application that brings the idea of Edge computing closer.

Keywords :

Internet of Things, Cloud Computing, Edge Computing, Quality of service.

Résumé

Au cours des dernières années, l'informatique en périphérie (Edge computing) est devenue de plus en plus populaire avec l'avènement des applications Internet des objets (IdO). Ces dernières sont caractérisées par des exigences strictes de qualité de service (QoS), que l'infrastructure actuelle du cloud ne peut pas satisfaire. Dans ce travail, nous avons étudié quelques architectures basées sur l'Edge Computing (EC) et nous avons proposé aussi une amélioration au protocole utilisé dans les architectures basées sur l'Edge computing. Cette amélioration consiste en la sélection du meilleur serveur satisfaisant la demande du consommateur en utilisant l'Edge computing. Enfin, nous avons présenté une application descriptive qui rapproche l'idée de l'Edge computing.

Mots-clé :

Internet des objets, Cloud Computing, Edge Computing, Qualité de service.



Remerciements



Nous remercions avant tous ALLAH pour son aide, ses innombrables dons, ALLAH qui nous a donné la force, la volonté et le moral pour accomplir nos études en Master informatique.

Nous adressons nos sincères remerciements et nos profond respect à notre encadreur Monsieur LAGRAA Nasreddine Maître Professeur à l'Université de Laghouat, pour leur aides sans limite, sa disponibilité et leur précieux conseils et orientations.

Nos profonde gratitude s'adresse particulièrement à Monsieur GEULLOUMA Younes Maître de conférences à l'Université de Laghouat qui a accepté d'être le président de jury de ce mémoire.

Nous tenons aussi à remercier Madame BOUSBAA Fatima Maître de conférences à l'Université de Laghouat, d'avoir accepté d'examiner ce travail et nos faire l'honneur de participer au jury.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin, nous ont accompagné et soutenu pour mener à bien ce travail.

Nous remercions aussi nos professeurs et nos collègues.





Dédicace

Je dédie ce travail accompagné d'un profond
amour :

A celle qui m'a arrosé de tendresse et
d'espoir, à ma source d'amour, à celle qui ma
bénie par ces prières, à ma mère.

A celui qui m'a appris le sens de la
responsabilité, de l'optimisme et de la
confiance en soi face aux difficultés de la vie,
à celui qui m'a guidé vers la réussite, à mon
cher père.

A mon cher frère et mes chères sœurs, et ceux
qui ont partagé avec moi tous les moments
d'émotion, ils m'ont chaleureusement
supporté et encouragé tout au long de mon
parcours.

A ma petite famille Bouakaz et Mihoubi.



BOUAKAZ Ilyas



Dédicace

Je dédie ce travail accompagné d'un profond
amour :

A celle qui m'a arrosé de tendresse et
d'espoir, à ma source d'amour, à celle qui ma
bénie par ces prières, à ma mère.

A celui qui m'a appris le sens de la
responsabilité, de l'optimisme et de la
confiance en soi face aux difficultés de la vie,
à celui qui m'a guidé vers la réussite, à mon
cher père.

A mes chers frères et mes chères sœurs, et
ceux qui ont partagé avec moi tous les
moments d'émotion, ils m'ont
chaleureusement supporté et encouragé tout
au long de mon parcours.

A ma petite famille Rayane et Adi.



RAYANE Mohammed Ayoub

Table des matières

Table des figures	vi
Liste des tableaux	viii
1 INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 Contexte et problématique	1
1.2 Organisation du mémoire	2
2 Réseau cellulaire	3
2.1 Introduction	3
2.2 Réseau cellulaire	4
2.2.1 Notions de base sur les réseaux cellulaires	4
2.2.2 La deuxième génération 2G (GSM)	4
2.2.3 La troisième génération 3G (UMTS)	7
2.2.4 La quatrième génération 4G (LTE)	8
2.2.5 La cinquième génération 5G	11
2.2.6 Comparaison de toutes les générations de technologies mobiles	15
3 Architectures de l'Edge computing : État de l'art	16
3.1 Introduction	16
3.2 Internet of Things (IoT)	16
3.2.1 Qu'est ce qu'un objet connecté?	17
3.2.2 Définition du IoT	18
3.2.3 Architecture du IoT	19
3.3 Cloud Computing (CC)	20
3.3.1 Définitions du cloud computing	20
3.3.2 Services du cloud	21
3.3.3 Type de cloud	21
3.4 Du Cloud vers Edge	21
3.4.1 Cloudlet	21
3.4.2 Edge Computing (EC)	22
3.4.3 Fog Computing (FC)	23
3.4.4 Mobile Edge Computing (MEC)	23
3.5 Design and Simulation of a Hybrid Architecture for Edge Computing in 5G and Beyond [21]	24
3.5.1 Technologies de l'Edge Computing	24
3.5.2 Étude de l'architecture	25
3.5.3 Conclusion	27

4	Notre architecture proposée	28
4.1	Introduction	28
4.2	E-santé	28
4.2.1	Objectifs de l'e-santé	28
4.2.2	Services de l'e-santé	29
4.2.3	Avantages de l'e-santé	29
4.3	E-santé basée sur le EC	30
4.3.1	Composants de l'architecture	30
4.4	Architecture proposée	31
4.4.1	Notre vision de la nouvelle architecture	31
4.4.2	Scénario proposé	32
4.4.3	Architecture	33
4.4.4	Diagramme de l'architecture	35
4.4.5	Avantages de l'architecture	36
4.5	Application	36
4.5.1	L'outil de développement	36
4.5.2	Diagramme cas d'utilisation	37
4.5.3	Présentation de l'application mobile	38
4.6	Conclusion	41
5	CONCLUSION GÉNÉRALE	42
	Bibliographie	43

Table des figures

2.1	L'évolution des réseaux de télécommunications.	3
2.2	Architecture de base des réseaux cellulaires.	4
2.3	Architecture 2G(GSM).	5
2.4	Base Station Subsystem (BSS).	5
2.5	Network Switching Subsystem (NSS).	6
2.6	Appel mobile en GSM.	7
2.7	L'évolution de la 2G vers la 4G.	9
2.8	Architecture 4G (LTE).	9
2.9	Signalisation de connexion LTE.	10
2.10	Applications et défis de la 5G.	11
2.11	La 5G phase 1.	12
2.12	La 5G phase 2.	12
2.13	La 5G phase 3.	13
2.14	Architecture 5G.	13
2.15	Les solutions envisagées pour la 5G.	14
2.16	Les solutions envisagées pour la 5G.	15
3.1	Évolution de l'internet.	17
3.2	Les objets connectés	17
3.3	Les objets connectés	18
3.4	Valeur potentielle / niveau de risque de l'IoT par vertical.	19
3.5	Architecture physique et logique du IoT.	20
3.6	Schéma général du cloud computing.	20
3.7	Services du cloud computing.	21
3.8	Démonstration générale du Edge computing.	22
3.9	Démonstration générale du fog computing.	23
3.10	Schéma générale du MEC.	24
3.11	Architecture propose pour 5g Edge computing.	25
3.12	Résumé générale de la couche Network Access	26
3.13	Modèle de déploiement de l'architecture.	27
4.1	Spectre des soins [24].	30
4.2	Architecture proposé pour le système de la e-santé [22].	30
4.3	Vision de la nouvelle architecture.	31
4.4	Scénario proposé.	32
4.5	Architecture proposée.	33
4.6	Couche Cloud Computing.	34
4.7	Couche Fog Computing.	34
4.8	Couche de détection.	35
4.9	Diagramme de l'architecture.	36
4.10	Diagramme cas d'utilisation.	37

4.11	Page d'authentification.	38
4.12	Page d'accueil.	39
4.13	Fréquence cardiaque.	40
4.14	Edge serveur.	40
4.15	Rythme cardiaque normal.	41
4.16	Rythme cardiaque anormal.	41

Liste des tableaux

2.1	Table comparatif entre 2G, 3G, 4G et 5G.	15
4.1	Catégories de l'e-santé.	29

Liste des abréviations

1G	Première Génération.	3
2G	Deuxième Génération.	3
3G	Troisième Génération.	3
3GPP	3rd Generation Partnership Project.	8, 11
4G	Quatrième Génération.	3
5G	Cinquième Génération.	3
AUC	Authentication Center.	6
BS	Base Station.	4
BSC	Base Station Controller.	5
BSS	Base Station Subsystem.	vi, 5
BTS	Base Transceiver Stations.	6
CC	Cloud Computing.	iv, 20, 33
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.	9
E2E	End to End.	36
EC	Edge Computing.	iv, 22, 28, 33, 40
EPC	Evolved Packet Core.	9, 10
FC	Fog Computing.	iv, 23, 34
GSM	Global System for Mobile Communications.	4, 15
HLR	Home Location Register.	6
HSS	Home Subscriber Server.	10
ICT	Information and Communication Technologies.	29
IoT	Internet of Things.	iv, 16
LTE	Long Term Evolution.	8, 15
MEC	Mobile Edge Computing.	iv, 23, 33, 40
MIMO	Multi-Input Multi-Output.	8
MME	Mobility Management Entity.	10
MS	Mobile Station.	5, 9
MSC	Mobile Switching Center.	6

NGCN Next Generation Core Network. 12

NSS Network Switching Subsystem. vi, 6

P-GW PDN GW. 10

PDN Packet Data Network. 10

PSTN Public Switched Telephone Network. 7

RAN Radio Access Network. 12

S-GW Serving GW. 10

SM Server Mobile. 33, 34

UMTS Universal Mobile Telecommunications System. 8, 15

VLR Visitor Location Register. 6

Chapitre 1

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 Contexte et problématique

Au cours des dernières décennies, en raison de la rentabilité élevée du cloud computing et de la flexibilité obtenue grâce à l'intégration, le cloud computing a été largement développé et appliqué. Dans le cloud computing, les fonctions d'informatique, de stockage et de gestion de réseau peuvent être gérées de manière centralisée. Avec le développement rapide des applications Internet mobiles et Internet des objets (IoT), l'architecture de cloud computing centralisée existante est confrontée à de graves défis. Les appareils mobiles connectés à des serveurs cloud centralisés distants tentent de mettre en œuvre des applications complexes, ce qui ajoute une charge supplémentaire au réseau d'accès radio (RAN) et au réseau de collecte, et entraîne une latence élevée [1]. De plus, avec la croissance explosive de divers dispositifs d'accès et les besoins des utilisateurs finaux, l'Internet des objets est le moteur de la transformation numérique de tous les aspects de la vie moderne d'aujourd'hui [2]. Cisco estime que d'ici 2023, le nombre d'appareils connectés à l'IoT atteindra 29,3 milliards. L'émergence de l'Internet des objets pose de nouveaux défis, tels que la latence stricte, les contraintes de capacité, les appareils à ressources limitées, les services ininterrompus avec des connexions intermittentes et une sécurité renforcée. Les architectures de cloud computing centralisées ne peuvent pas résoudre ces problèmes de manière adéquate [3]. Afin de relever ces défis, il est urgent d'établir un paradigme de cloud computing avancé qui devrait rompre avec l'architecture centralisée et réduire les contraintes de capacité et de latence.

L'Internet des objets est l'interaction et la communication entre des milliards des dispositifs exponentiels qui génèrent et échangent des données sur des objets du monde réel [4]. Les caractéristiques de l'Internet des objets, y compris le réseau d'objets à très grande échelle, l'hétérogénéité des équipements et des niveaux de réseau, et le grand nombre d'événements générés par ces objets, rendront très difficile le développement de diverses applications et services [5]. Dans le scénario IoT + cloud, ces exigences deviennent difficiles à satisfaire. Les applications IoT utilisent des capteurs IoT pour générer de grandes quantités de données. Ensuite, analysez-les big data pour déterminer la réponse à l'événement ou extrayez des analyses ou des données statistiques. Cependant, l'envoi de toutes les données vers le cloud nécessite une bande passante réseau extrêmement élevée. Des travaux de recherche récents se sont concentrés sur la manière d'utiliser efficacement les fonctions de l'Edge du réseau pour prendre en charge l'Internet des objets et ses besoins [6].

En Edge computing, en raison de problèmes de bande passante et de consommation d'énergie, des quantités massives de données générées par différents types d'appareils IoT peuvent être traitées à l'Edge du réseau au lieu d'être transmises à l'infrastructure cloud centralisée. Par rapport au cloud computing, l'Edge computing peut fournir une réponse plus rapide et une meilleure qualité des services. L'Edge computing est plus adapté à l'intégration avec

l'IoT afin de fournir à un grand nombre d'utilisateurs finaux des services efficaces et sécurisés, et l'architecture basée sur l'Edge computing peut être considérée comme la future infrastructure IoT [7]. Récemment, les technologies et applications émergentes sont à l'origine des tendances dans le domaine de l'informatique et des communications, qui déplacent les fonctions du cloud computing centralisé vers les périphériques réseau [8].

L'amélioration de l'efficacité des systèmes de soins de santé est une priorité nationale dans le monde entier. Cependant, la nécessité de fournir des services de santé évolutifs aux patients tout en réduisant les coûts est un défi. Parmi les approches les plus prometteuses pour permettre des soins de santé, on trouve les capacités de Edge computing et les technologies de réseau sans fil de nouvelle génération qui peuvent fournir une surveillance à distance des patients en temps réel et à moindre coût.

1.2 Organisation du mémoire

Ce mémoire est composé de trois chapitres organisés comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à présenter une vue générale sur les réseaux cellulaires.
- Le deuxième chapitre de ce mémoire présente l'état de l'art. d'abord nous commençons par présenter l'Internet des objets (Internet of Things), puis nous décrivons le Cloud Computing et la transformation du Cloud au Edge, ensuite nous détaillons les architectures proposées.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de notre travail, nous décrivons en premier lieu le concept de l'e-santé, au deuxième lieu, nous présentons avec détails le principe de l'idée proposée pour l'amélioration des calculs, ensuite nous présentons une application de ce travail.

Chapitre 2

Réseau cellulaire

2.1 Introduction

L'industrie de la télécommunication mobile a commencé depuis le début des années 1970. Cette industrie a assisté à une croissance explosive. Passant de l'ère de l'analogique Première Génération (1G) dans les années 80 à l'ère du numérique Deuxième Génération (2G) dans les années 90, la demande croissante de cette technologie a permis l'évolution vers d'autres générations qui peuvent permettre de surfer aussi sur internet avec un débit confortable au début des années 2000, la Troisième Génération (3G) a permis de se connecter en ligne grâce au haut débit mobile intégrant la voix, la vidéo et les données. La décennie de 2010 à 2020 a été caractérisée par l'utilisation de la Quatrième Génération (4G) qui a considérablement augmenté la vitesse et la capacité des réseaux cellulaires. A partir de 2020 et dans la décennie à venir, la Cinquième Génération (5G) sera au premier plan. La 5G apporte des changements indéniables, avec une vitesse jusqu'à 10 fois supérieure à celle de la 4G, une latence jusqu'à 10 fois inférieure à celle de la 4G, un nombre d'appareils jusqu'à 100 fois supérieur à celui de la 4G et une consommation d'énergie jusqu'à 90 % inférieure à celle de la 4G [9].

Dans ce chapitre nous allons décrire ces générations de réseaux mobiles.

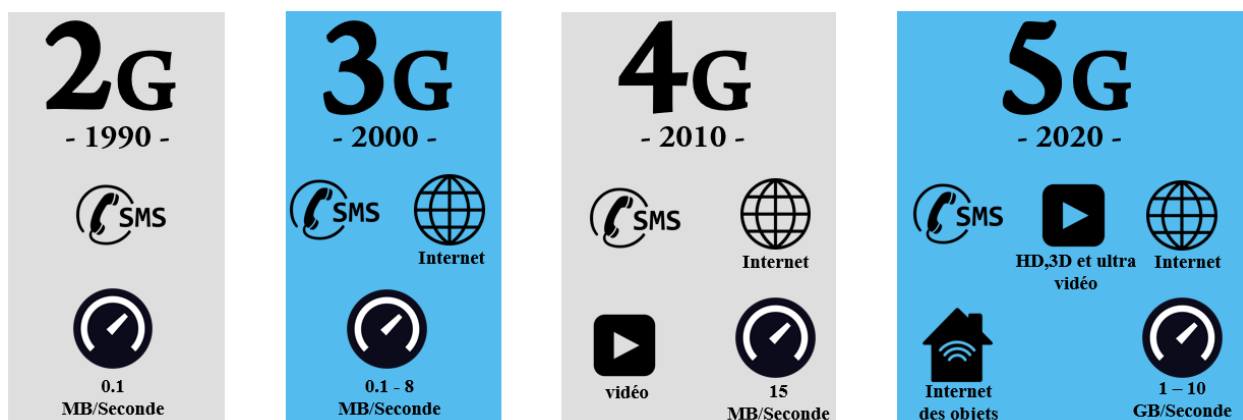


FIGURE 2.1 – L'évolution des réseaux de télécommunications.

2.2 Réseau cellulaire

2.2.1 Notions de base sur les réseaux cellulaires

Dans les réseaux cellulaires, comme les Global System for Mobile Communications (GSM), chaque Base Station (BS) couvre un territoire défini et lors des déplacements de l'utilisateur les téléphones mobiles changent de cellule.

Les réseaux cellulaires de téléphonie mobile reposent sur la technique des cellules qui sont des zones élémentaires de couverture qui s'interpénètrent et permettent de couvrir une zone à desservir d'un territoire. [10].

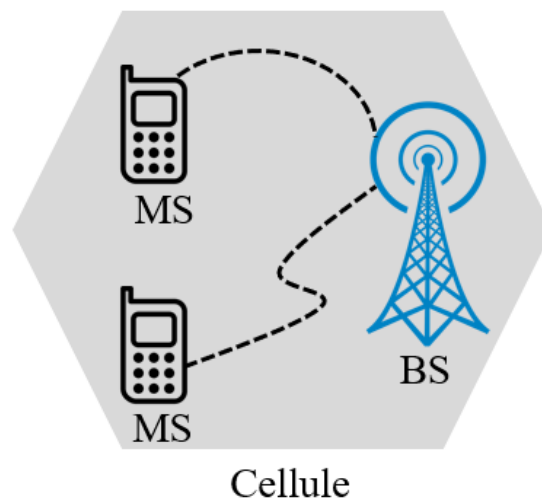


FIGURE 2.2 – Architecture de base des réseaux cellulaires.

Évaluation des générations de communications mobiles sans fil, de la 1ère à la 5ème génération, et compare les différentes technologies. Il est bénéfique de décrire les générations précédentes de communications mobiles sans fil [11]. On commence par :

2.2.2 La deuxième génération 2G (GSM)

Un réseau 2G ou bien Global System for Mobile Communications (GSM) est de type cellulaire, c'est-à-dire composé d'une multitude d'émetteurs-récepteurs radio, chacun d'entre eux définissant une cellule, soit une zone où le service 2G est accessible aux terminaux qui y sont présents.

Il a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio.

Architecture 2G(GSM)

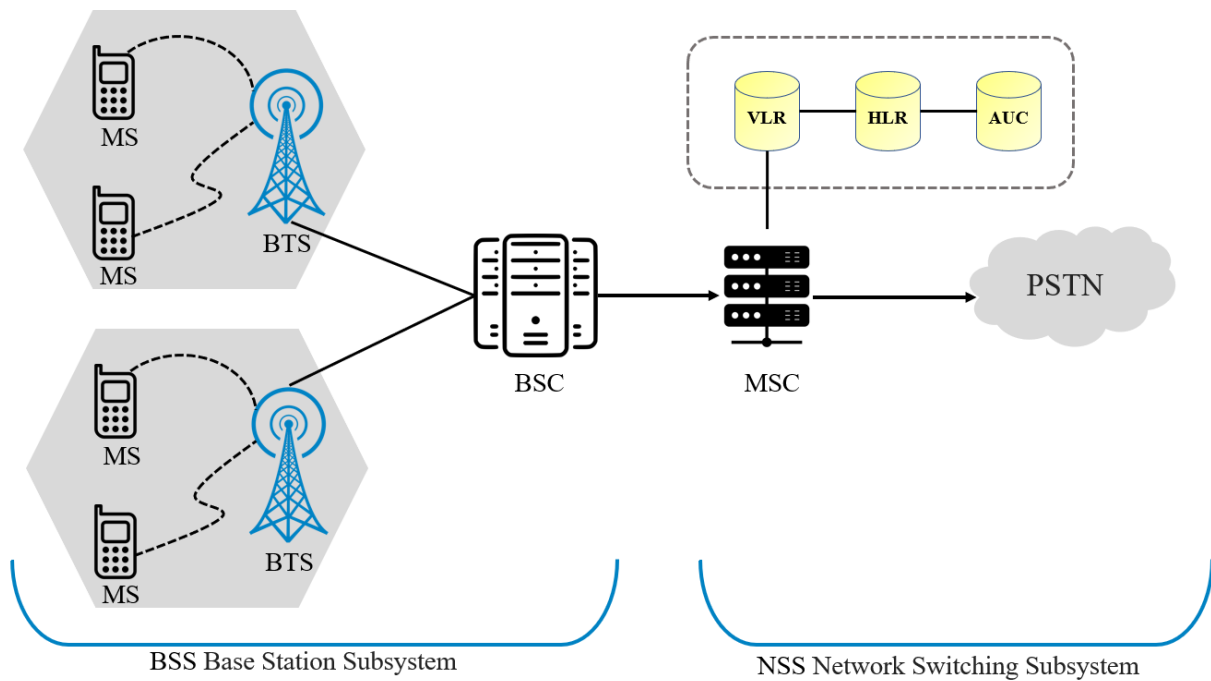


FIGURE 2.3 – Architecture 2G(GSM).

1. Base Station Subsystem (BSS)

Le BSS est la section d'un réseau téléphonique cellulaire traditionnel qui est responsable de la gestion du trafic et de la signalisation entre une MS et le NSS. Le BSS effectue le transcodage des canaux vocaux, l'attribution des canaux radio aux téléphones mobiles, la radiomessagerie, la transmission et la réception sur l'interface radio et de nombreuses autres tâches liées au réseau radio.

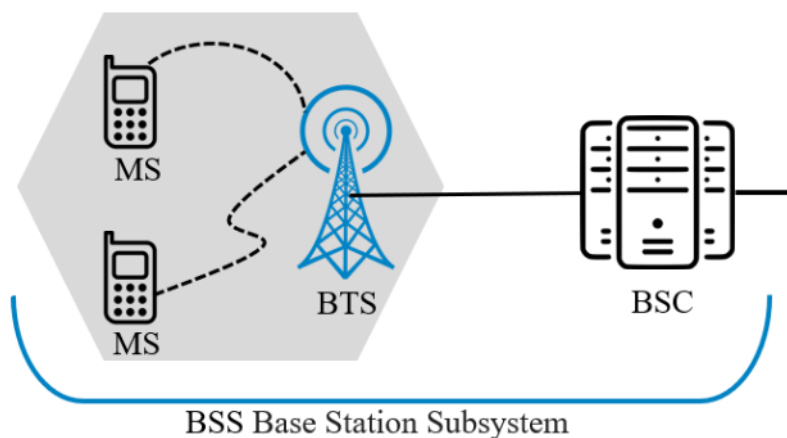


FIGURE 2.4 – Base Station Subsystem (BSS).

BSS se compose de trois parties :

- **Mobile Station (MS).**
- **Base Station Controller (BSC).**

- Contrôle l'allocation de canal implémentée par les BTS.
 - Gérer les handovers au sein de la zone BS.
 - Sait quelles stations mobiles se trouvent dans la cellule et en informe le MSC/VLR.
 - **Base Transceiver Stations (BTS)**
 - Contrôle plusieurs émetteurs.
 - Chaque émetteur dispose de 8 intervalles de temps, dont certains sont utilisés pour la signalisation, sur une fréquence spécifique.
2. **Network Switching Subsystem (NSS)**
- Le NSS, dont la partie principale est le MSC, assure la commutation des appels entre le mobile et les autres utilisateurs du réseau fixe ou mobile, ainsi que la gestion des services mobiles.

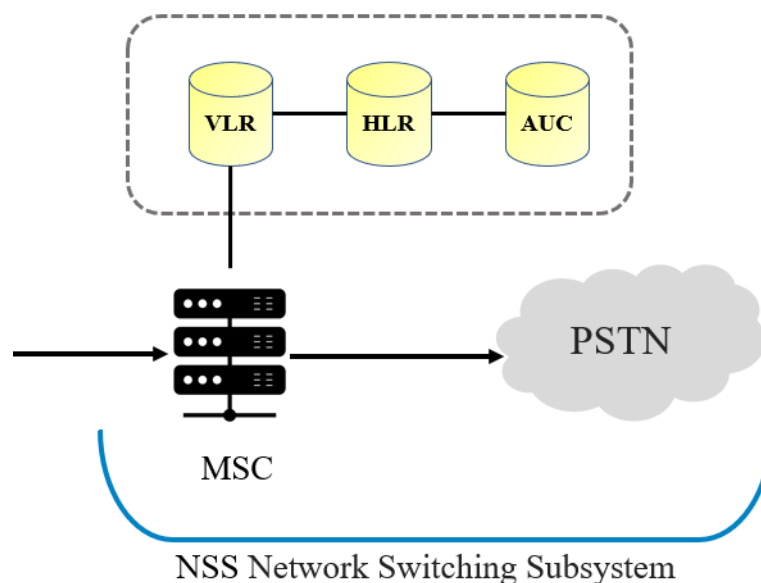


FIGURE 2.5 – Network Switching Subsystem (NSS).

Le système de commutation comprend les éléments fonctionnels suivants :

- **Mobile Switching Center (MSC)**
Le MSC assure la commutation des appels entre le mobile et les autres utilisateurs du réseau fixe ou mobile, ainsi que la gestion des services mobiles.
- **Visitor Location Register (VLR)**
Le VLR est une base de données qui contient des informations temporaires sur les abonnés, dont le MSC a besoin pour servir les abonnés en visite. Le VLR est toujours intégré au MSC.
- **Home Location Register (HLR)**
Le HLR est une base de données utilisée pour le stockage et la gestion des abonnements. Le HLR est considéré comme la base de données la plus importante, car il stocke des données permanentes sur les abonnés.
- **Authentication Center (AUC)**
Le centre d'authentification est une base de données protégée qui stocke une copie de la clé secrète enregistrée dans la carte SIM de chaque abonné, qui est utilisée pour l'authentification et le chiffrement du canal radio.

- **Public Switched Telephone Network (PSTN)**

Un réseau téléphonique public commuté est une combinaison de réseaux téléphoniques utilisés dans le monde entier, notamment des lignes téléphoniques, des câbles à fibres optiques, des centres de commutation, des réseaux cellulaires, des satellites et des systèmes de câbles. Un PSTN permet aux utilisateurs de passer des appels téléphoniques fixes entre eux.

Appel GSM

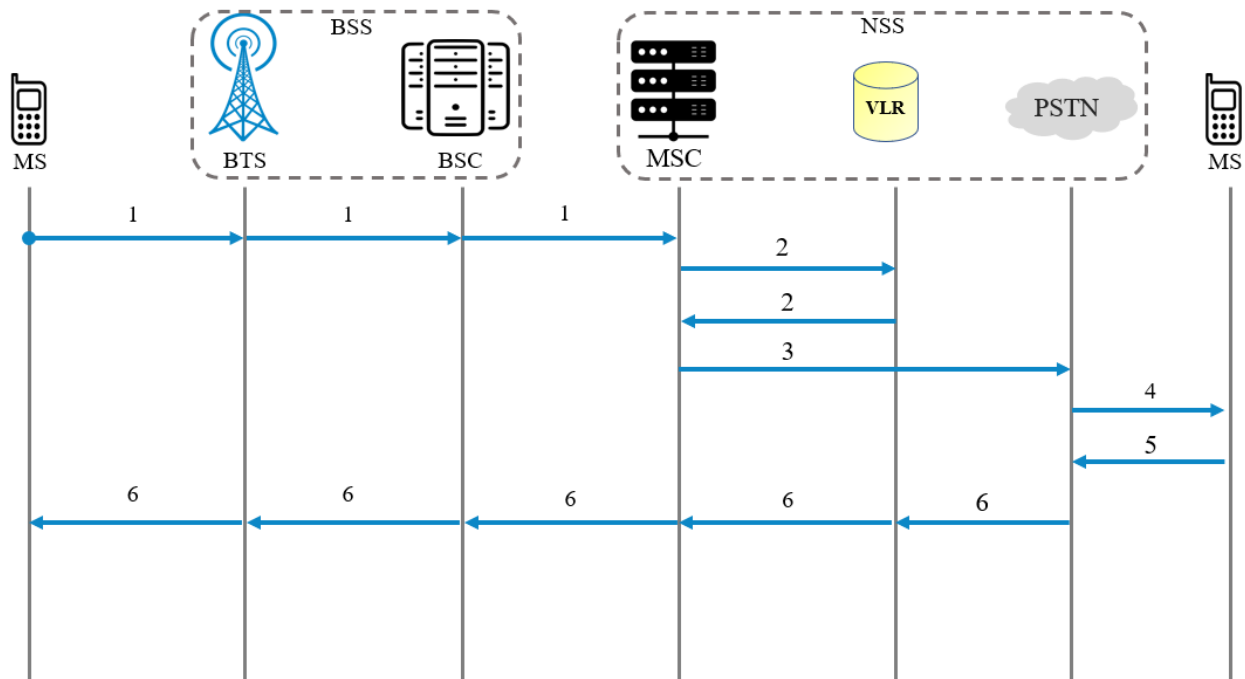


FIGURE 2.6 – Appel mobile en GSM.

1. La MS envoie le numéro composé indiquant le service demandé au MSC (via le BSS).
2. Le MSC vérifie auprès du VLR si la MS est autorisée à utiliser le service demandé. Si c'est le cas, le MSC demande au BSS d'allouer les ressources nécessaires pour l'appel.
3. Si l'appel est autorisé, le MSC achemine l'appel vers le central local de l'utilisateur appelé.
4. Le PSTN alerte (sonner) le terminal appelé.
5. Répondez en retour du terminal appelé au PSTN.
6. Le signal de réponse est acheminé vers le MS par le MSC de service qui complète également le chemin de parole vers le MS.

2.2.3 La troisième génération 3G (UMTS)

Apparue en 2000, la troisième génération (3G) désigne une génération de normes de téléphonie mobile. Elle est représentée principalement par les normes Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) et CDMA2000, permettant des débits (de 2 à 42 Mb/s définis par la dernière génération des réseaux UMTS : l'HSPA+ DC) qui sont bien plus rapides qu'avec la génération précédente, par exemple le GSM.

Les premières applications grand public de la 3G sont l'accès à Internet, le visionnage de vidéos, voire d'émissions de télévision et la visiophonie [12].

2.2.4 La quatrième génération 4G (LTE)

La technologie 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Succédant à la 2G et la 3G, Les normes Long Term Evolution (LTE), définies par le consortium 3rd Generation Partnership Project (3GPP) sont dérivées des normes Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), mais apportent de nombreuses modifications et améliorations afin de permettre des débits plus élevés [9].

Principales technologies radio LTE

- Utilise le multiplexage par répartition en fréquence orthogonale (OFDM) pour la liaison descendante.
- Utilise l'accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique (SC-FDMA) pour la liaison montante.
- Utilise la technologie Multi-Input Multi-Output (MIMO) pour améliorer le débit.
- Consommation d'énergie réduite.
- Rendement plus élevé de l'amplificateur de puissance RF (moins d'énergie consommée par les téléphones).

L'évolution de la 2G vers la 4G

Dans cette évolution nous montrent que BSC/MSC est remplacé par MME, eNodeB remplace le BTS. La Figure 2.7 montre l'évolution de la 2G vers la 4G :

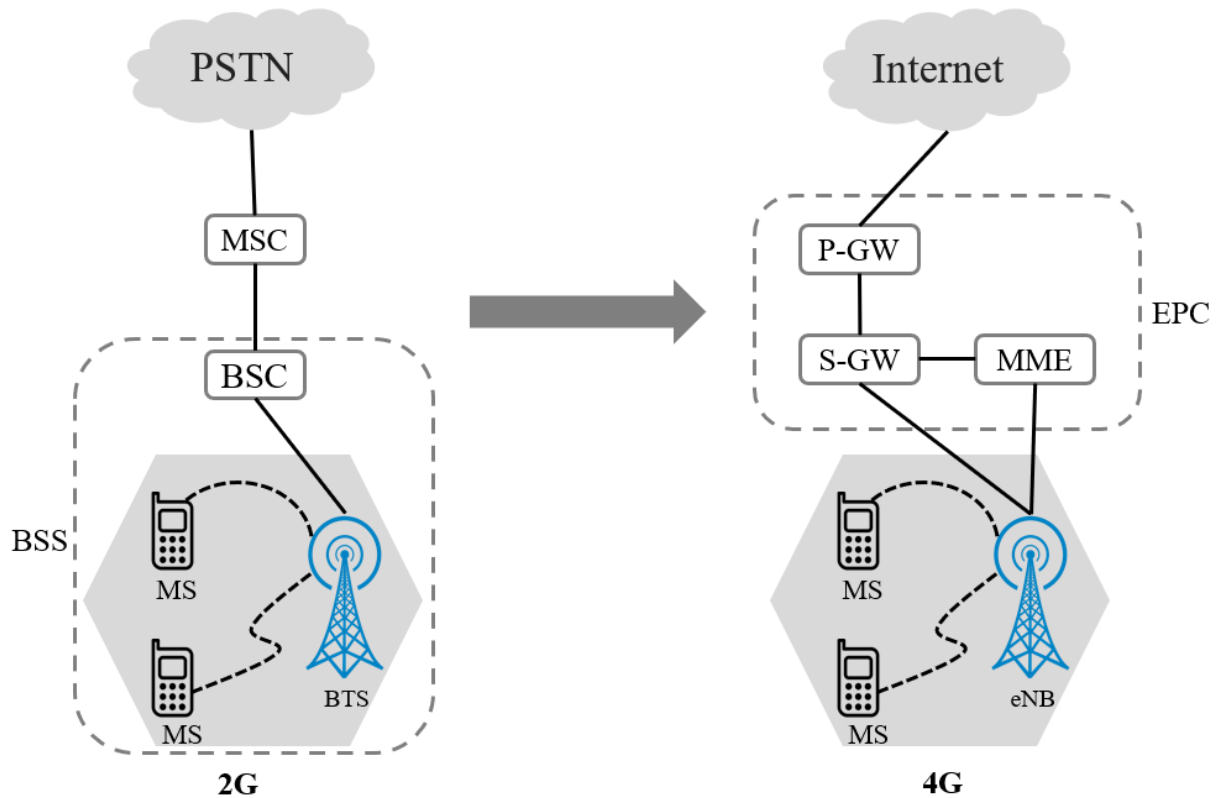


FIGURE 2.7 – L'évolution de la 2G vers la 4G.

Architecture 4G (LTE)

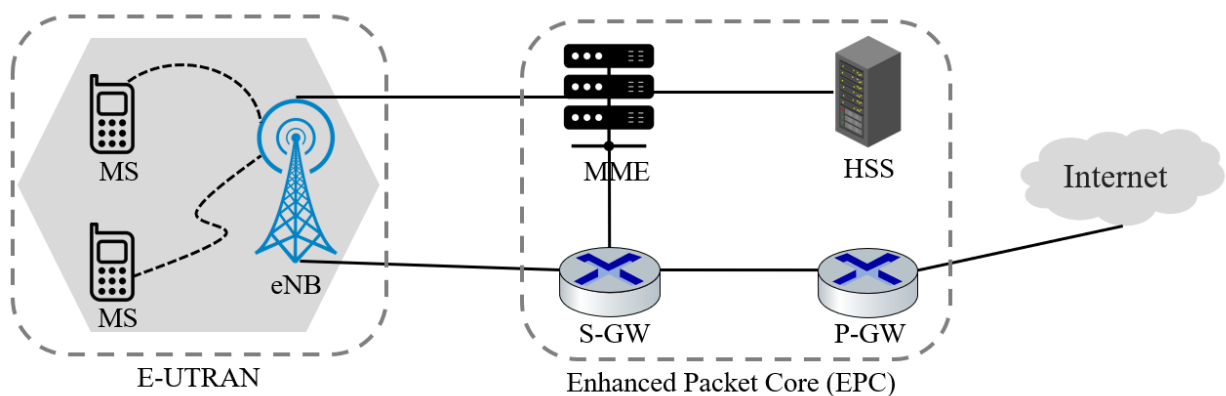


FIGURE 2.8 – Architecture 4G (LTE).

1. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)

- **Mobile Station (MS)**
Smartphone, Tablette, Ordinateur portable, IoT, ... avec radio 4G LTE.
- **Station de base (eNodeB)**
Les stations de base "eNodeB" réalisent la passerelle entre les terminaux mobiles, les antennes radio et le cœur du réseau des opérateurs LTE (appelé Evolved Packet Core (EPC)).

2. Evolved Packet Core (EPC)

Le réseau cœur est constitué des éléments suivants qui sont connectés via un réseau tout IP

- **Mobility Management Entity (MME)**

Le MME s'occupe du plan de contrôle. Elle gère la signalisation liée à la mobilité et à la sécurité pour l'accès E-UTRAN. Le MME est responsable de la localisation et de la recherche de MS en mode inactif.

- **Home Subscriber Server (HSS)**

Le HSS (pour Home Subscriber Server) est une base de données qui contient des informations relatives aux utilisateurs et aux abonnés. Il fournit également des fonctions de support pour la gestion de la mobilité, l'établissement des appels et des sessions, l'authentification des utilisateurs et l'autorisation d'accès.

- **Serving GW (S-GW)**

Les passerelles (Serving GW et PDN GW) s'occupent du plan utilisateur. Elles transportent le trafic de données IP entre la station mobile (MS) et les réseaux externes.

La Serving GW est le point d'interconnexion entre le côté radio et l'EPC. Comme son nom l'indique, cette passerelle sert le MS en acheminant les paquets IP entrants et sortants.

- **PDN GW (P-GW)**

Le GW PDN est le point d'interconnexion entre l'EPC et les réseaux IP externes. Ces réseaux sont appelés Packet Data Network (PDN), d'où leur nom. Le GW PDN achemine les paquets vers et depuis les PDN.

Le GW PDN remplit également diverses fonctions telles que l'allocation d'adresses IP / de préfixes IP ou le contrôle et la tarification des politiques.

Signalisation de connexion LTE

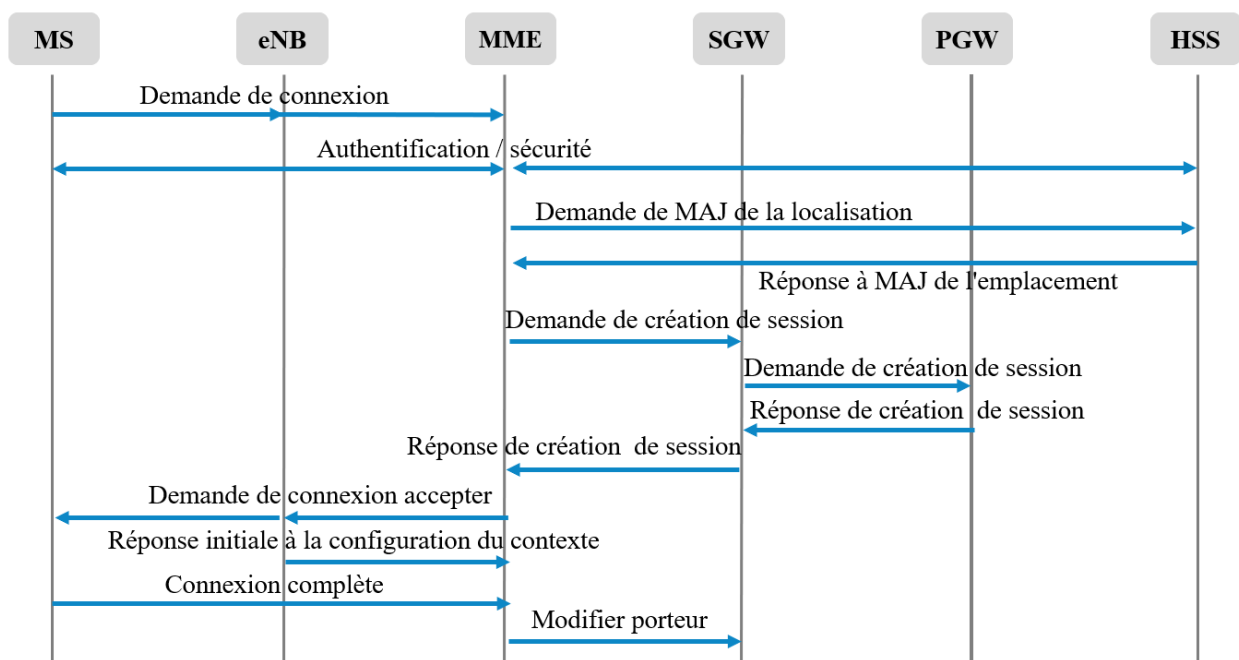


FIGURE 2.9 – Signalisation de connexion LTE.

2.2.5 La cinquième génération 5G

5G est la norme cellulaire de prochaine génération définie par le 3rd Generation Partnership Project (3GPP) qui est également le successeur de la norme cellulaire précédente. La technologie 5G redéfinit la façon conventionnelle dont le monde est connecté sans fil. Une nouvelle génération de technologie cellulaire devrait prendre en charge les nouveaux cas émergents qui nécessitent un débit élevé, un grand nombre d'appareils connectés, une faible latence et une communication fiable qui ne sont pas réalisables dans la norme cellulaire existante. Le réseau 5G utilise plusieurs bandes de fréquences dont la bande 3,5 GHz constitue la "bande cœur". Elle s'appuie sur un certain nombre d'éléments techniques comme des technologies de « découpage » du réseau ou la focalisation des ondes radio sur un point donné. Ceci permet à la 5G d'amener des nouvelles avancées par rapport aux technologies précédentes : un débit jusqu'à 10 fois supérieur à celui de la 4G, une très faible latence et une densification des connexions au sein d'une cellule ouvrant la voie au développement de l'internet des objets [13].

Les applications et défis qui ont fait l'apparition de la 5G

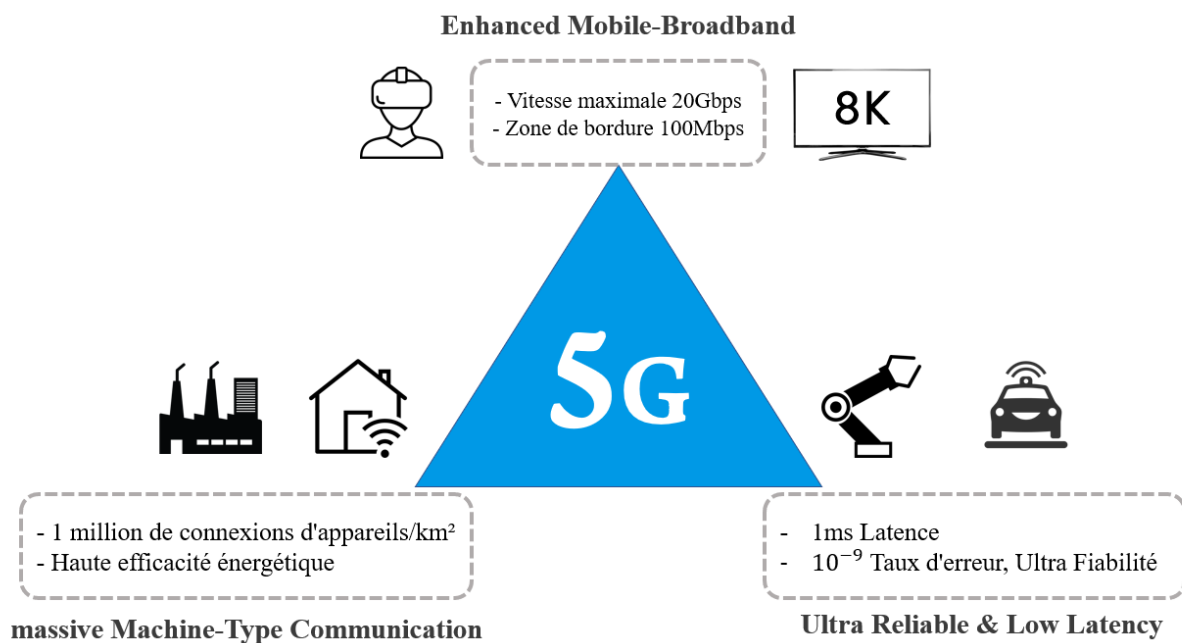


FIGURE 2.10 – Applications et défis de la 5G.

L'évolution de la 4G vers la 5G

Les figures suivantes montrent l'évolution de la 4G vers la 5G en trois phases :

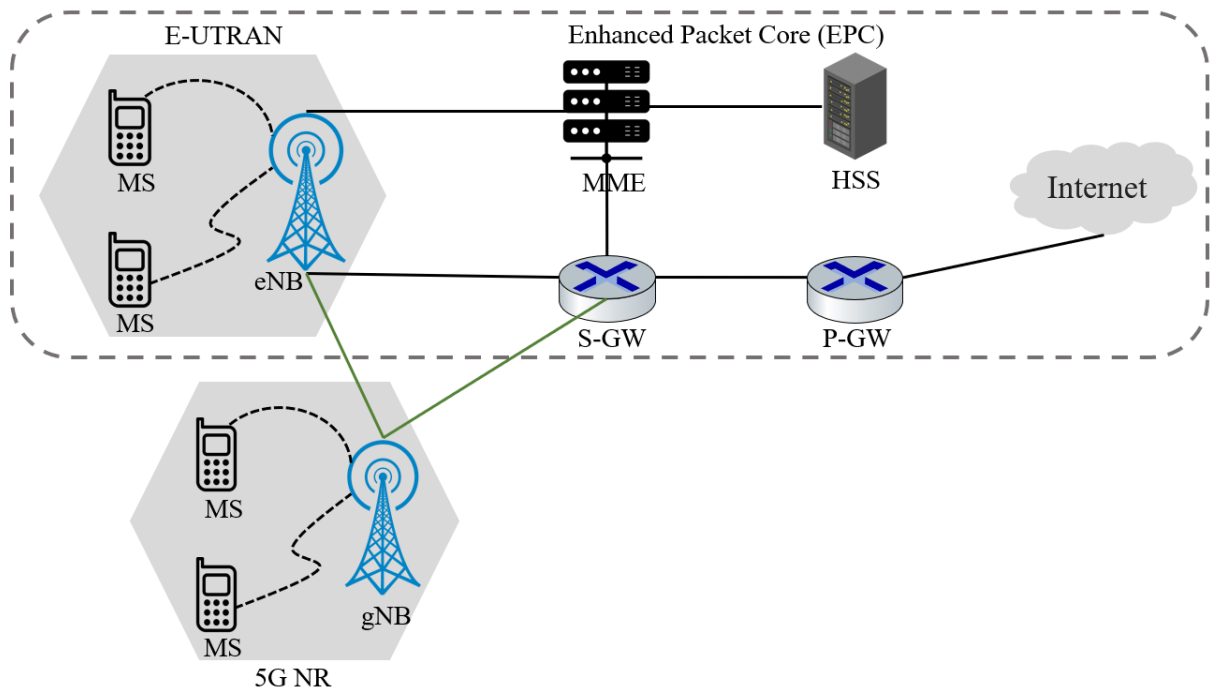


FIGURE 2.11 – La 5G phase 1.

Dans la deuxième phase ils ont introduit : Le réseau central de nouvelle génération de la 5G. Le NGC ou Next Generation Core Network (NGCN) est la partie du réseau qui fournit des services aux abonnés mobiles par le biais du Radio Access Network (RAN). C'est également la passerelle vers d'autres réseaux, par exemple vers le téléphone public commuté ou vers les clouds publics.

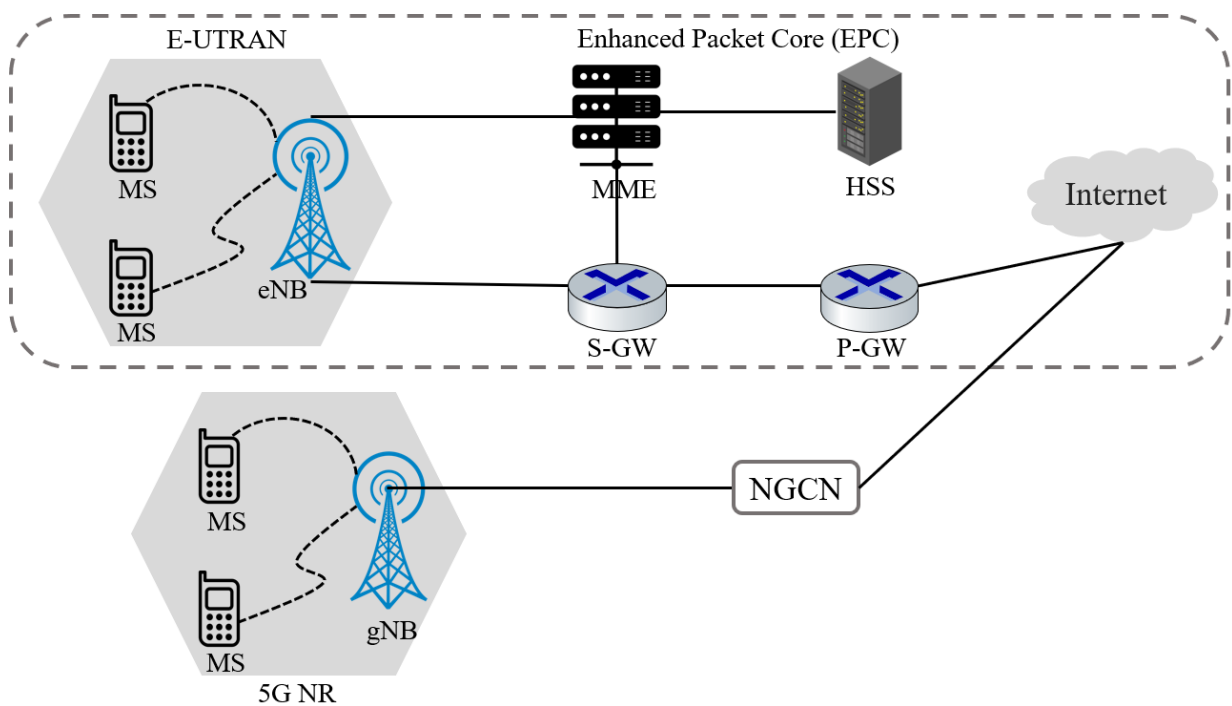


FIGURE 2.12 – La 5G phase 2.

Dans la troisième phase on va introduire les changements des composants dans l'architecture 4G :

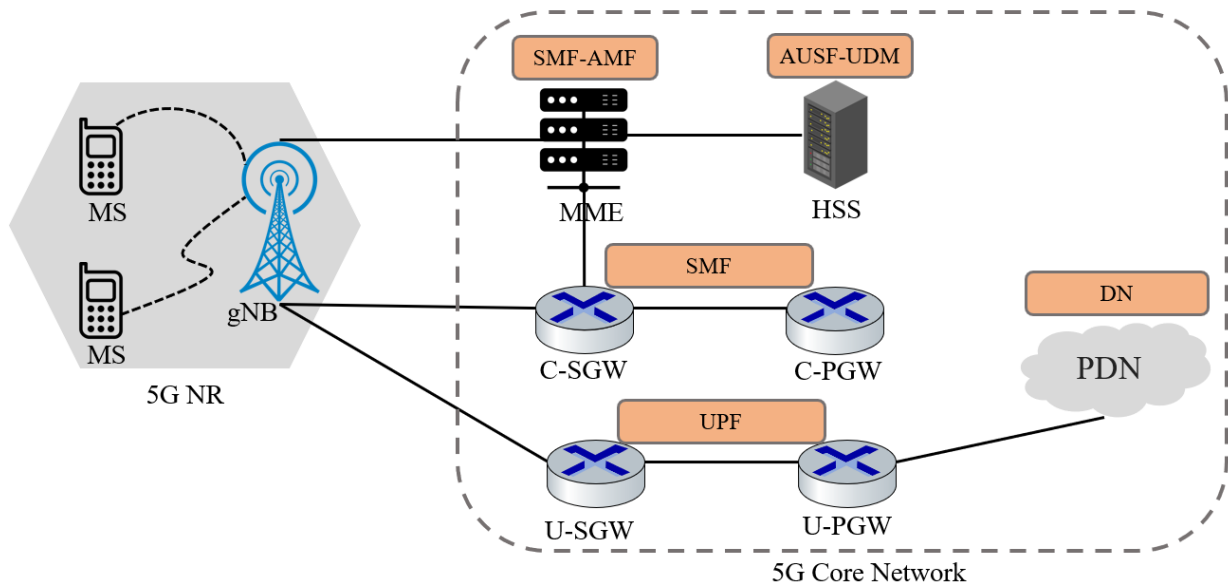


FIGURE 2.13 – La 5G phase 3.

Architecture 5G

La 5G promet une couverture sans fil omniprésente. Les radios exploitant le spectre sous licence et/ou sans licence, les petites cellules, les eNodeBs macro LTE, la fibre, les micro-ondes, l'Ethernet loué ou le backhaul par satellite seront pris en compte lors de l'offre de services. Compte tenu des exigences de performance des services, il est possible que tous les services ne soient pas disponibles dans toutes les zones de couverture omniprésente. Il sera crucial de maintenir la continuité, car les appareils changent régulièrement d'emplacement et se déplacent entre plusieurs types de réseaux [14].

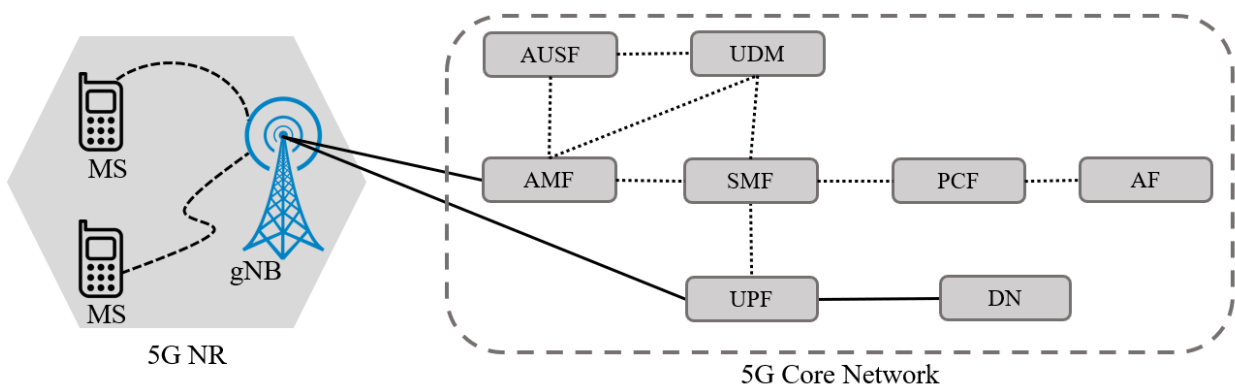


FIGURE 2.14 – Architecture 5G.

1. Réseau d'accès (5G NR)

- Le 5G-RAN comprendra à la fois une nouvelle radio 5G (actuellement appelée gNB) et/ou des radios LTE (eNB) connectées au noyau 5G de nouvelle génération (NG Core).
- Les gNodeB (gNB) fournissent les terminaisons de protocole du plan utilisateur et du plan de contrôle vers l'UE.

2. Fonctions de Core Network

- **AUSF** : Authentication server function (AUC).
- **UDM** : Unified data management (HLR/HSS).
- **AMF** : Access and mobility management function (MME).
- **SMF** : Session management function (MME).
- **PCF** : Policy control function (PCRF).
- **UPF** : User plane function (S/PGW).
- **DN** : Data network (PDN).
- **AF** : Application function.

Les solutions envisagées pour la 5G

Pour atteindre ces objectifs, tout un éventail de technologies doit être mis en œuvre (Figure 2.15).

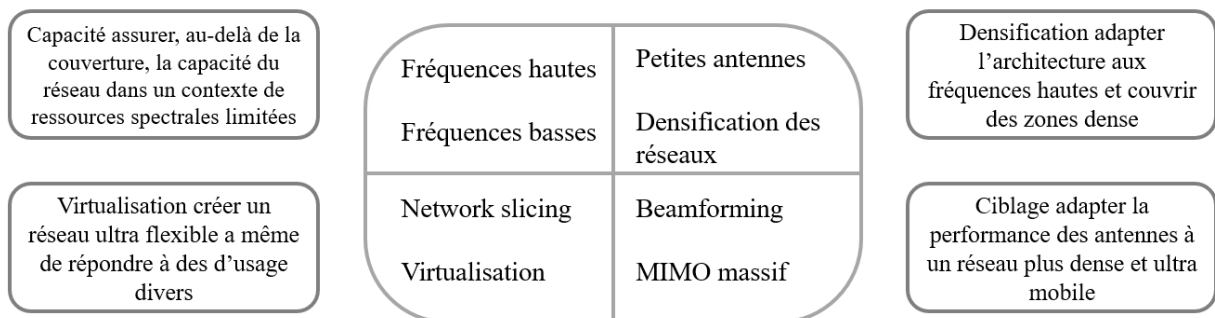


FIGURE 2.15 – Les solutions envisagées pour la 5G.

Illustration comparatif entre les réseaux cellulaire

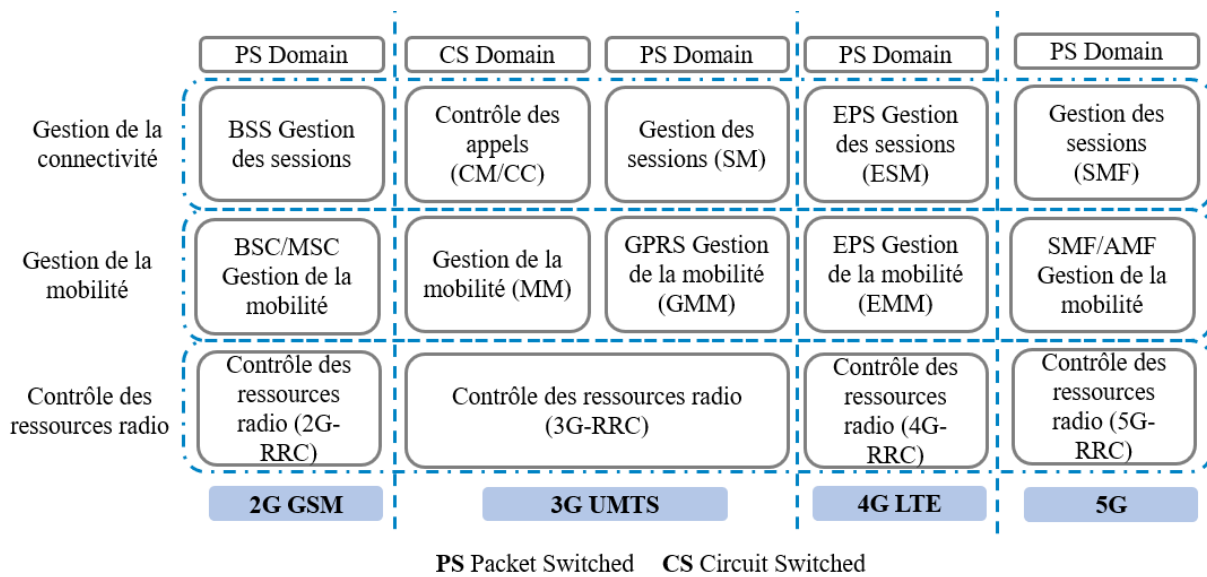


FIGURE 2.16 – Les solutions envisagées pour la 5G.

2.2.6 Comparaison de toutes les générations de technologies mobiles

Dans ce tableau, nous voyons une certaine différence entre 2G, 3G, 4G, 5G [15]

Génération	2G	3G	4G	5G
Déploiement	1999	2002	2010	2015
Intitulé	Global System for Mobile Communications (GSM)	Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)	Long Term Evolution (LTE)	N/C
Débit de données	14,4-64Kbps	3.1Mbps	100Mbps-1Gbps	1Gbps et plus
Fréquence	900-1800MHz	900-2100MHz	2100-2600MHz	3,4-3,8 GHz
Norme	GSM CDMA	WCDMA, CDMA-2000	LTE, WiMAX	N/C
Service	Voix numérique, SMS	Audio, vidéo et données intégrés de haute qualité	Accès dynamique à l'information, appareils portables	Accès dynamique aux informations, appareils portables avec capacités d'IA
Multiplexage	TDMA/CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Commutation	Circuit, Paquet	Paquet	Tout Paquet	Tout Paquet
Core network	PSTN	Packet network	Internet	Internet
Handoff	Horizontal	Horizontal	Horizontal et Vertical	Horizontal et Vertical

TABLE 2.1 – Table comparatif entre 2G, 3G, 4G et 5G.

Chapitre 3

Architectures de l'Edge computing : État de l'art

3.1 Introduction

Au cours des dernières années, nous avons été témoins de l'excitation de l'Internet des objets, également connu sous le nom d'IoT. Il est possible de remarquer l'engagement des entreprises et des universités à la recherche de solutions pour faire le concept de "**l'Internet des objets**" deviennent réelles. De nos jours, nous vivons entourés de dispositifs électroniques, à la maison, au travail ou dans d'autres environnements, même à l'intérieur du corps des gens.

En santé, nous trouvons un domaine ouvert et motivé dans la recherche de solutions technologiques pour une meilleure efficacité et un gain d'argent. Cet avantage peut accroître l'accessibilité à ce domaine par une plus grande population. Dans ce contexte, le cyber santé est introduit. Il est défini comme l'utilisation des dispositifs électroniques et d'autres technologies pour aider à la pratique des soins de santé. Cela comprend les prescriptions médicales et la surveillance à distance des patients.

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux concepts de Internet of Things (IoT) et comment le cloud avait un rôle important dès l'utilisation du l'IoT, ainsi avec l'évolution du IoT qui nécessite le BigData et l'intelligence artificielle nous allons présenter la transformation du cloud vers le Edge computing.

3.2 Internet of Things (IoT)

Il peut s'agir d'un ordinateur de bureau, d'un mobile, peut-être d'une tablette, mais quel que soit l'appareil que vous utilisez, il est très probablement connecté à Internet. Le fait est que la connexion des objets à Internet offre de nombreux avantages incroyables. Nous avons tous vu ces avantages avec nos smartphones, ordinateurs portables et tablettes, mais cela est également vrai pour tout le reste. Et oui, nous voulons dire tout.

La figure suivante montre l'évolution de l'internet de H2H au M2M communication [16].

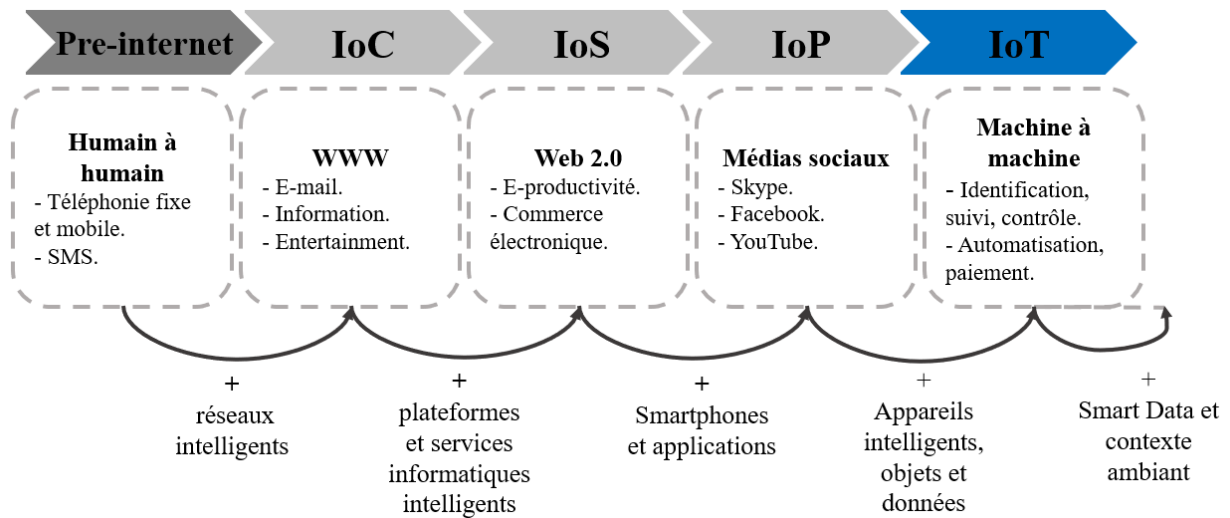


FIGURE 3.1 – Évolution de l'internet.

L'Internet des objets est en fait un concept assez simple, cela signifie prendre tous les lieux et objets physiques du monde et les connecter à Internet.

3.2.1 Qu'est ce qu'un objet connecté ?

Un objet connecté est un objet qui capte, stocke, traite et transmette des données, qui peut recevoir et donner des instructions et qui a pour cela la capacité à se connecter à un réseau d'information. Ce réseau est appelé Internet des Objets (IDO) ou Internet of Things (IoT). On peut distinguer les objets mettables (wearable), mobiles, domestiques ou de loisir, d'infrastructure ou de productivité.



FIGURE 3.2 – Les objets connectés .

Pour communiquer, les objets connectés utilisent différentes technologies de communication dédiées de type M2M (Machine to Machine). Et ils sont le plus souvent enrichie de capteurs qui collectent de manière régulière des données. Mais cela ne suffit pas.

Une fois les données collectées, l'objet doit être capable d'envoyer les données vers des infrastructures dédiées qui pourront stocker ces données. C'est ensuite que celles-ci pourront être analysées via des algorithmes de calculs intelligents afin de restituer à l'utilisateur une information à valeur ajoutée.

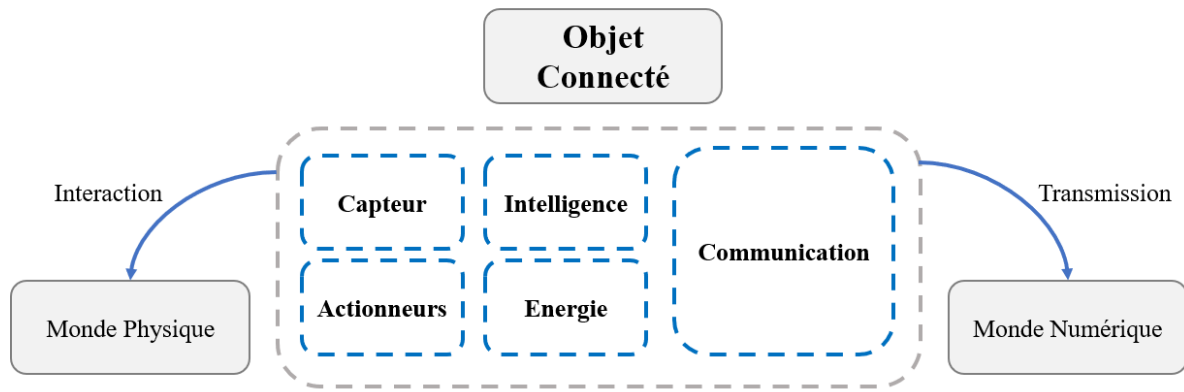


FIGURE 3.3 – Les objets connectés .

3.2.2 Définition du IoT

Le CERP-IoT "Cluster des projets européens de recherche sur IoT" définit l'internet de objets comme "une infrastructure dynamique d'un réseau global. Ce réseau global a des capacités d'auto configuration basée sur des standards et des protocoles de communication interopérables. Dans ce réseau, les objets physiques et virtuels ont des identités, des attributs physiques, des personnalités virtuelles et des interfaces intelligents, et ils ont intégrés au réseau d'une façon transparente".

Une autre définition du IoT, l'Internet des Objets ou IdO est la matérialisation d'Internet dans le monde réel. Il concerne tous les objets, voitures, bâtiments et d'autres éléments reliés à un réseau d'Internet physique par une puce électronique, un capteur, une connectivité réseau leur permettant de communiquer entre eux, de collecter et d'échanger des données.

Dans la figure ci-dessus on va voir la valeur potentielle et le niveau de risque de l'IoT par vertical [16].

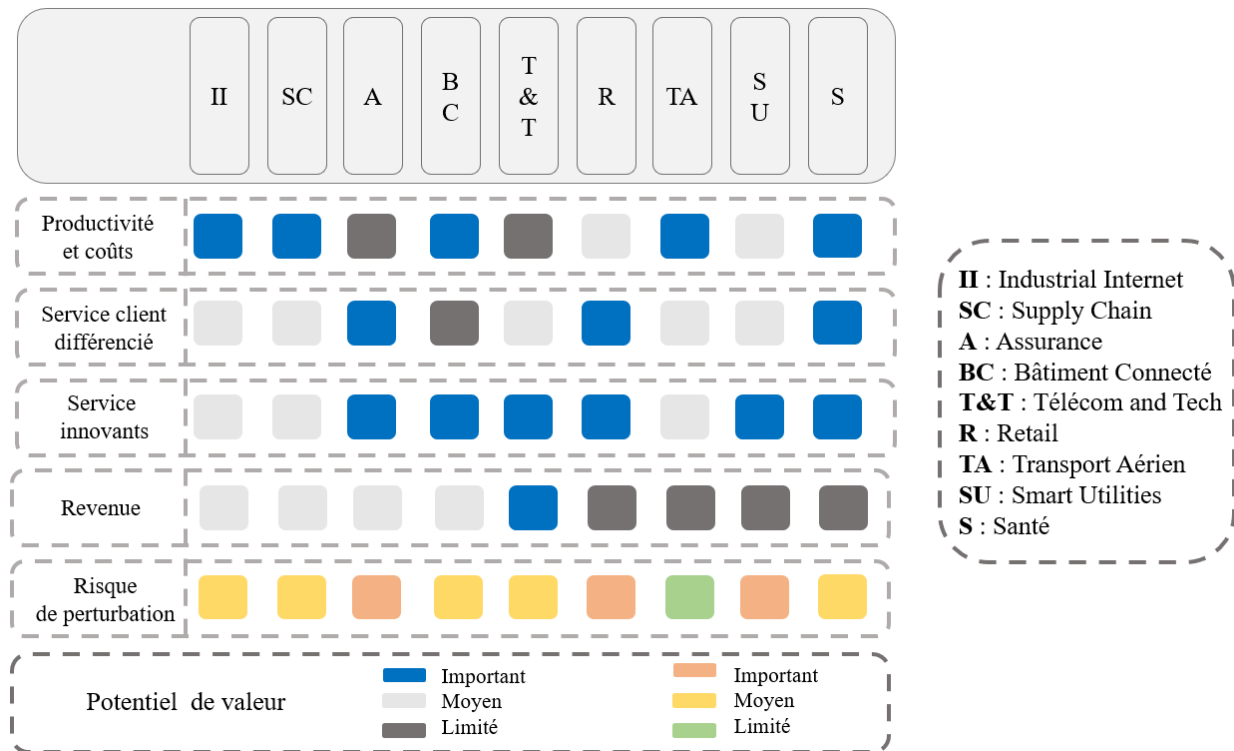


FIGURE 3.4 – Valeur potentielle / niveau de risque de l'IoT par vertical.

3.2.3 Architecture du IoT

Vu le développement rapide des IdO, il devenait nécessaire d'avoir une architecture de référence qui permettrait d'uniformiser la conception des systèmes. Cette notion d'internet des objets peut être expliquée grâce au concept de « Service oriented Architecture » décomposé en quatre couches différentes appelées layer. Nous vous l'expliquons à l'aide de la figure ci-dessus.

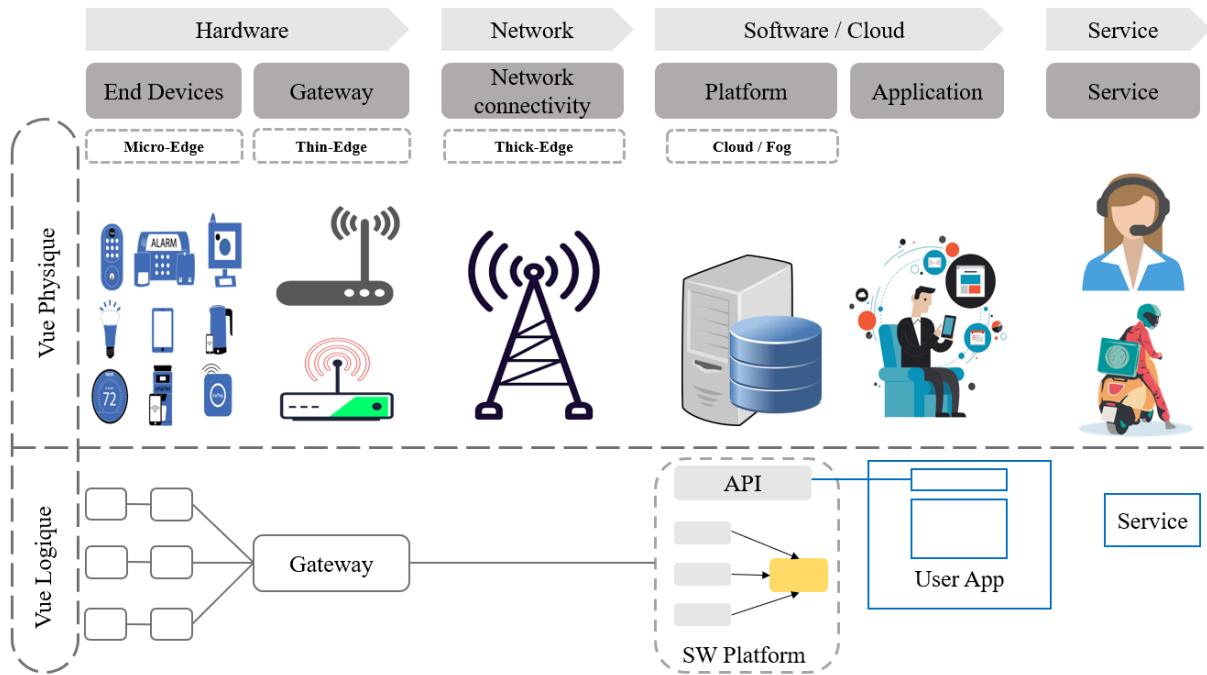


FIGURE 3.5 – Architecture physique et logique du IoT.

3.3 Cloud Computing (CC)

3.3.1 Définitions du cloud computing

Le Cloud computing est un concept de déportation sur des serveurs distants des traitements informatiques traditionnellement localisés sur le poste utilisateur [17]. Pour simplifier, le cloud computing est la fourniture de services informatiques (notamment des serveurs, du stockage, des bases de données, la gestion réseau, des logiciels, des outils d'analyse, l'intelligence artificielle) via Internet (le cloud) dans le but d'offrir une innovation plus rapide, des ressources flexibles et des économies d'échelle. En règle générale, vous payez uniquement les services cloud que vous utilisez (réduisant ainsi vos coûts d'exploitation), gérez votre infrastructure plus efficacement et adaptez l'échelle des services en fonction des besoins de votre entreprise.



FIGURE 3.6 – Schéma général du cloud computing.

3.3.2 Services du cloud

La plupart des services de cloud computing peuvent être classés en trois grandes catégories : IaaS (infrastructure as a service), PaaS (platform as a service) et SaaS (software as a service). On les appelle parfois « pile » de cloud computing, car elles s'empilent les unes sur les autres. Si vous savez en quoi elles consistent et en quoi elles sont différentes, vous pourrez plus facilement atteindre vos objectifs [18].

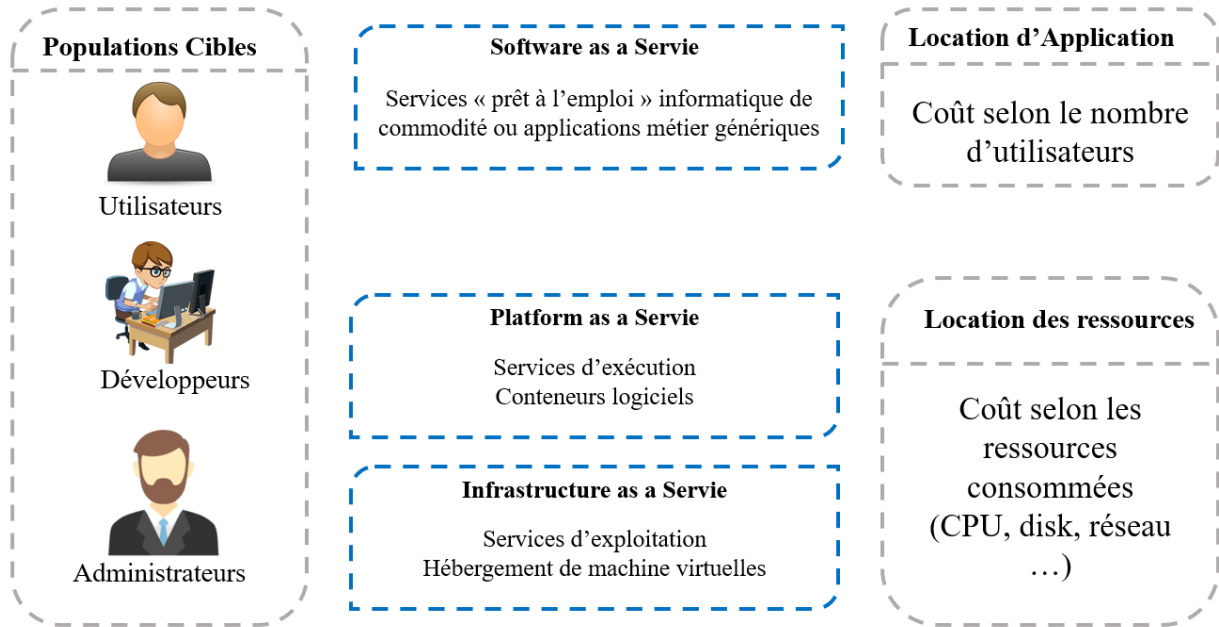


FIGURE 3.7 – Services du cloud computing.

3.3.3 Type de cloud

Tous les clouds ne sont pas identiques et aucun type de cloud computing ne convient à tout le monde. Plusieurs modèles, types et services différents ont évolué pour vous aider à trouver la solution adaptée à vos besoins. Il existe trois modes de déploiement de services cloud : le cloud public, le cloud privé et le cloud hybride [18].

3.4 Du Cloud vers Edge

Alors que la guerre des Cloud semble se placer sur le terrain de la multiplication des services pour être le provider avec la plus large et complète offre, un nouveau front se développe, mais celui-ci en périphérie, l'Edge Computing. L'épicentre de cette guerre est nourri par les services, mais que valent-ils si ces services ne sont pas assez rapides et performants ? L'Edge Computing apparaît pour booster les services, diminuer les coûts liés au Cloud et vient s'introduire dans la stratégie des acteurs classiques : AWS, Azure et GCP. Avant de définir c'est quoi l'Edge computing, on va s'intéresser un peu sur le nouveau terme qui est définie par « Datacenter in a box » ou bien le mini cloud "Cloudlet".

3.4.1 Cloudlet

La Cloudlet est définie par le terme « Datacenter in a box » qui se trouve dans des endroits désignés et qui est connecté au Cloud via Internet. Elle ressemble à un cluster d'ordi-

nateurs multicœurs, avec une large bande passante LAN sans fil. Ainsi, les appareils mobiles sont physiquement proches de la Cloudlet et ils peuvent fonctionner comme des clients alors que tout le calcul et le traitement intense se passe via la Cloudlet. Le dispositif mobile serait relié à la Cloudlet par une connexion sans fil à un saut (One-hop communication) ce qui garantit un temps de réponse très rapide et une meilleure interactivité.

Dans le cas où aucune Cloudlet proche n'est disponible, le mobile peut changer son mode à un autre qui invoque un Cloud distant ou dans le pire cas il va faire le traitement avec ses propres ressources. Les meilleures performances peuvent retourner une fois le mobile découvre une Cloudlet proche.

3.4.2 Edge Computing (EC)

Nous avons tous entendu parler du Cloud Computing avec ses structures traditionnelles de Cloud privé / Cloud public. Mais l'environnement du Cloud tend à se complexifier et à se perfectionner notamment par l'intermédiaire du Edge Computing. Ci-dessous, nous fournissons une définition simple de Edge computing. Certains des autres termes clés définis dans le domaine de l'Edge computing sont inclus.

Le "Edge", c'est la périphérie, le "Computing", c'est l'informatique. Le Edge Computing est donc l'informatique à la périphérie. Edge Computing est une infrastructure de calcul physique positionnée sur le spectre entre l'appareil et le cloud hyperscale, prenant en charge diverses applications. Edge computing rapproche les capacités de traitement de l'utilisateur final / de l'appareil / de la source de données, ce qui élimine le trajet vers le centre de données cloud et réduit la latence.

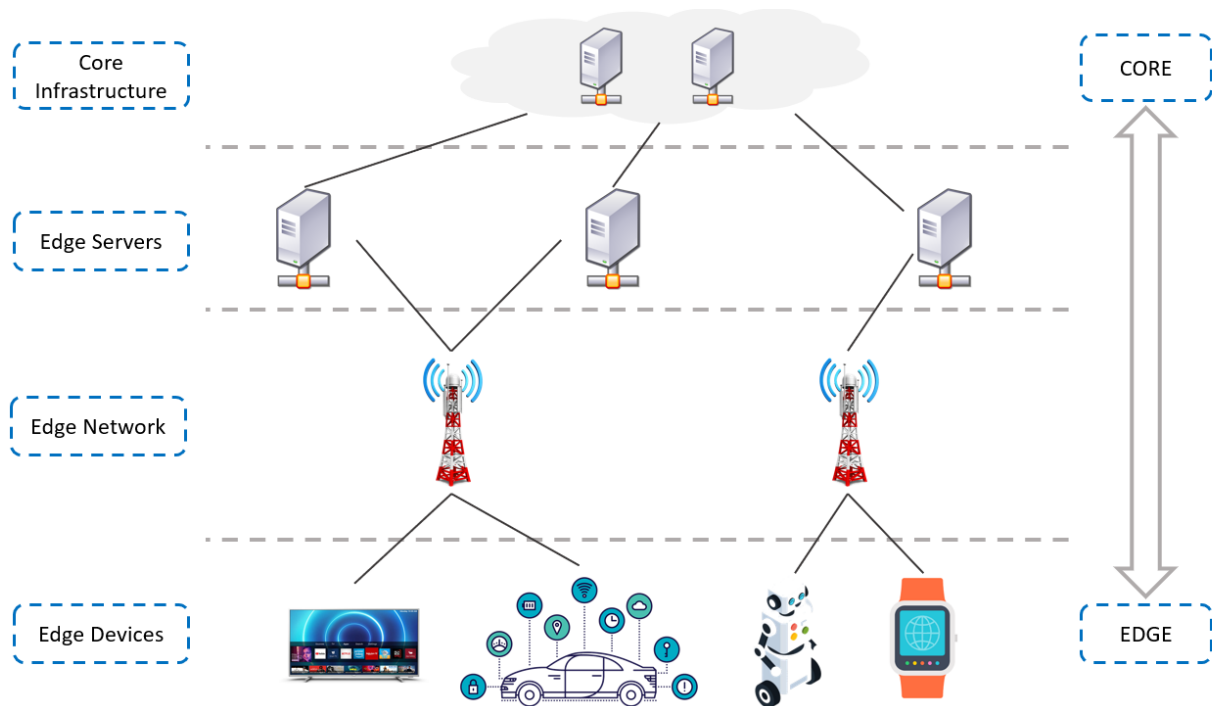


FIGURE 3.8 – Démonstration générale du Edge computing.

Le Edge computing implique souvent un environnement IoT, car les données IoT sont généralement créées dans un emplacement distant loin d'un centre de données central. Alors que le nombre d'objets intelligents connectés à Internet a explosé au cours de la dernière décennie, la quantité de bande passante qu'ils utilisent a également augmenté. En déployant

des capacités de traitement de périphérie IoT à proximité des capteurs et des appareils, les entreprises peuvent réagir plus rapidement aux nouvelles données.

Cependant, il ne doit pas toujours s'appliquer aux environnements IoT. Dans certains cas, l'ensemble du traitement (en particulier l'analyse) est effectué à proximité de la source de données, il n'est donc pas nécessaire de transmettre des données sur Internet à un centre de données. Même sans connexion Internet, des défis tels que les limitations d'espace, les limitations de puissance de traitement et les exigences de sécurité s'appliquent toujours.

3.4.3 Fog Computing (FC)

Le fog computing, aussi appelé "informatique dans le brouillard", définit une infrastructure chargée de stocker et de traiter des données issues d'objets connectés. Concurrent direct, alternative ou solution complémentaire au cloud computing, le fog computing a comme particularité de stocker et de traiter les données via le recours à des équipements implantés à la périphérie du réseau. Il permet donc de réaliser ces deux actions en local, sans avoir à solliciter un datacenter situé à plusieurs centaines de kilomètres ou un cloud. Dans ce domaine du stockage et du traitement des données et de l'IoT, le fog computing crée une interface supplémentaire que l'on peut situer entre le Edge Computing et le Cloud Computing [19].

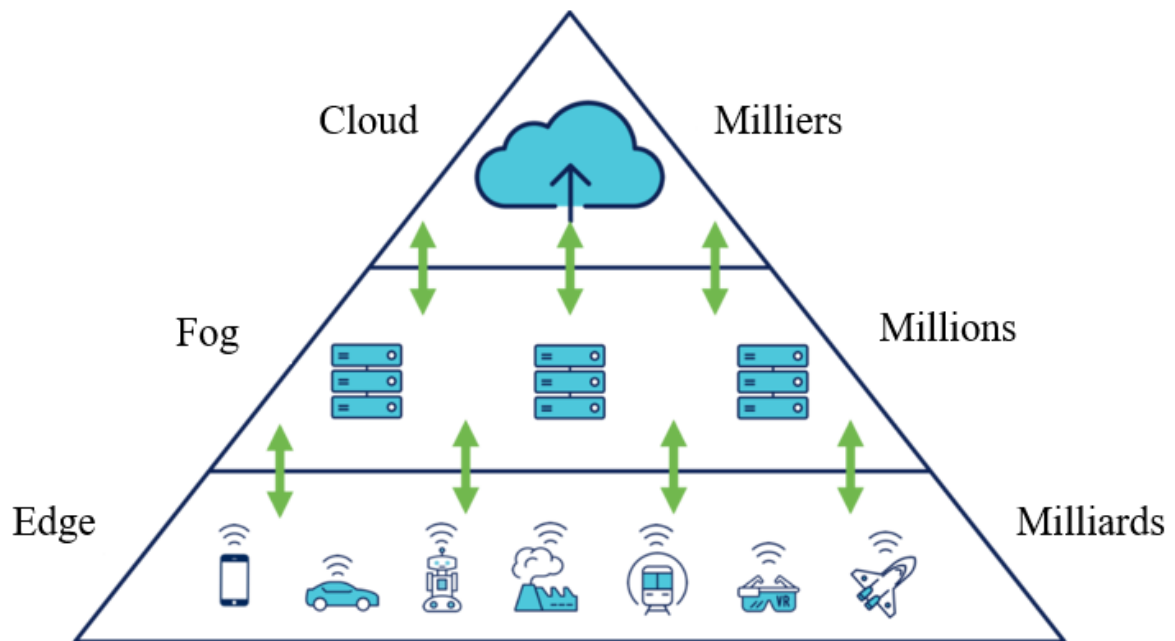


FIGURE 3.9 – Démonstration générale du fog computing.

3.4.4 Mobile Edge Computing (MEC)

Le Mobile Edge Computing (MEC) déplace le calcul du trafic et des services d'un cloud centralisé vers la périphérie du réseau et plus près du client. Au lieu d'envoyer toutes les données à un cloud pour traitement, la périphérie du réseau analyse, traite et stocke les données. La collecte et le traitement des données plus près du client réduit la latence et apporte des performances en temps réel aux applications à large bande passante [20].

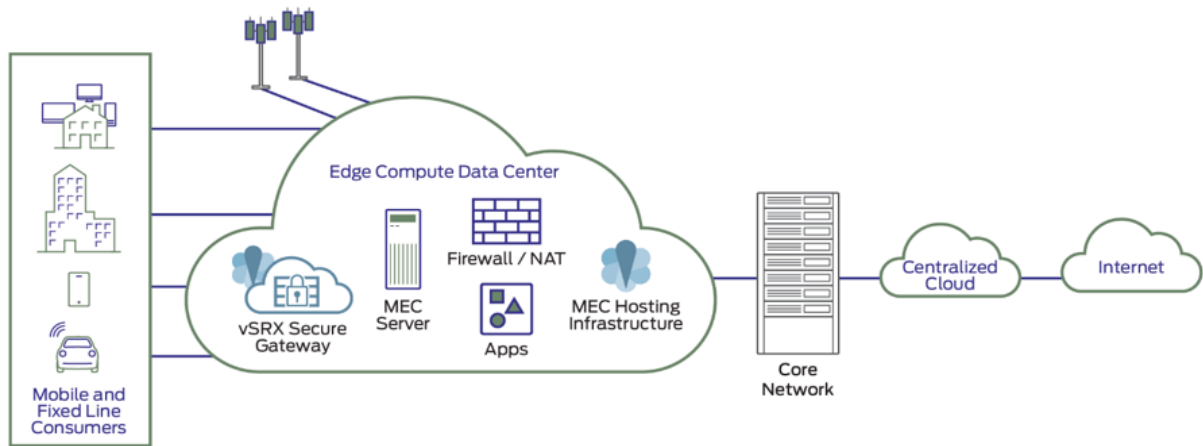


FIGURE 3.10 – Schéma générale du MEC.

3.5 Design and Simulation of a Hybrid Architecture for Edge Computing in 5G and Beyond [21]

La 5G a été appréciée comme la solution sans fil la plus importante pour le réseau cellulaire censé répondre aux exigences des réseaux de nouvelle génération. Il y a trois caractéristiques principales dans les réseaux 5G qui ne sont pas observées dans les générations précédentes. Comme première caractéristique, les réseaux 5G sont confrontés à une quantité massive de données en raison de la transmission de données en temps réel des réseaux 5G par rapport aux générations précédentes de réseaux cellulaires comme la 4G. Deuxièmement, bien que la 4G tienne compte des exigences de QoS, les réseaux 5G offrent une plus grande granularité de QoS pour prendre en charge les applications sensibles aux délais, interactives et à très faible latence. Troisièmement, les réseaux 5G prennent en charge des environnements hétérogènes en permettant l'interopérabilité d'un large éventail de réseaux et de protocoles de communication. Toutes ces caractéristiques originales de la 5G sont le résultat de trois nouvelles technologies majeures qui offrent des capacités plus élevées aux réseaux. Le premier est la communication mmWave, qui utilise des bandes de fréquences élevées telles que 30 GHz à 300 GHz pour fournir un débit élevé à un minimum de 11 Gbps. Deuxièmement, le déploiement de petites cellules qui permettent aux appareils de communiquer via mmWave pour réduire les interférences et la portée de transmission. Enfin, la technologie massive à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) qui permet aux stations de base (BS) d'utiliser un nombre considérable d'antennes pour permettre la formation de faisceaux et réduire les interférences en prenant en charge la communication parallèle.

3.5.1 Technologies de l'Edge Computing

La 5G aide la prochaine génération de systèmes IoT en répondant aux exigences clés de l'informatique de périphérie discutées dans la section précédente avec les principales technologies qui permettent l'informatique de pointe en 5G. Ces technologies sont les suivantes.

- Network Function Virtualisation (NFV).
- Software-Defined Networks (SDN).
- Massive Multiple-Input Multiple-Output (MIMO).
- Computation Offloading.

- Device-to-Device (D2D) communication.
- Cross-Layer Communication.

3.5.2 Étude de l'architecture

Le terme « architecture hybride » désigne une architecture intégrée avec MEC et Fog, et Cloudlets, et prend en charge le prétraitement des données à l'aide de la communication CLC et D2D pour faciliter le calcul collaboratif entre diverses applications. Comme le montre la figure 10, ils ont proposé une architecture hybride composée de deux couches avant le réseau central qui sont la couche Terminal et la couche d'accès au réseau. Comme le déploiement de l'architecture proposée a été illustré sur la figure 11, l'architecture proposée est hétérogène, évolutive et prend en charge les exigences des cas d'utilisation de 5G Edge Computing.

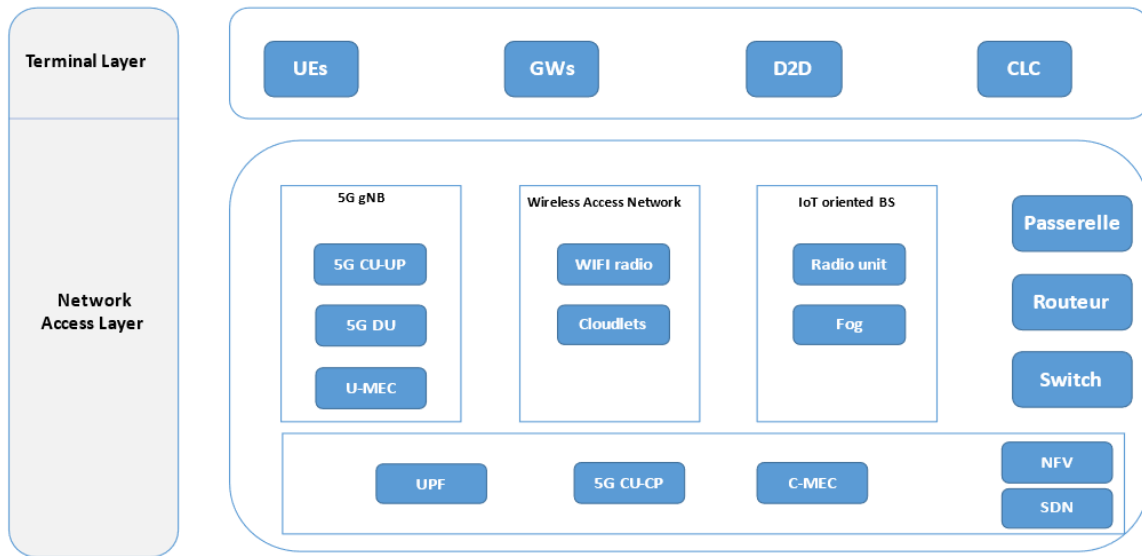


FIGURE 3.11 – Architecture propose pour 5g Edge computing.

Terminal Layer

La couche Terminal se compose d'UE et de passerelles. Dans cette couche, les clients UE se connectent au réseau 5G directement par des émetteurs 5G ou via une passerelle. Le rôle de la première couche "**Terminal Layer**" est d'agir en tant que plate-forme Edge as a service (E-PaaS) afin d'atteindre deux objectifs : Le premier consiste à tirer parti de la capacité du matériel des clients à prétraiter les informations et à effectuer une analyse simple. Le deuxième consiste à utiliser la 5G afin de permettre la communication D2D entre les UE. Par exemple, dans les véhicules autonomes, il est nécessaire de connecter les voitures autonomes via une technologie à très faible latence qui peut communiquer en moins de 100 microsecondes.

Network Access Layer

Comme discuté précédemment, ils ont proposé d'utiliser une structure hybride pour l'informatique de périphérie qui se compose de deux composants vers un arrangement ultra-rapide dynamique qui est une combinaison de MEC, Fog et Cloudlet. Le premier composant est situé sur les stations de base et pourrait être MEC, Fog ou Cloudlets compte tenu du type

de protocole de communication de l'UE. Donc ils ont considéré que le déploiement de l'architecture proposée est équipé de réseaux 5G Multi-RAT qui combinent plusieurs technologies d'accès radio pour fournir le service aux UE. Dans cette section, ils ont classé les stations de base en 3 catégories : 5G gNB, Wireless Access point et IoT oriented Base Station. Le tableau suivant résume cette architecture de la figure 10

	5G gNB	Wireless access point	IoT oriented BS
Modèle de déploiement	MEC	Cloudlet	Fog
Justification	en raison de la puissance de calcul élevée comme Fog Computing et également de divers outils pour fournir des services avec les UE et sur le réseau.	En raison de ses caractéristiques qui offrent des services pour la connectivité LAN sans fil et couvrent les exigences des applications ultrabasses telles que la VR / AR qui sont sensibles aux retards et nécessitent d'utiliser des interactions en temps réel.	en raison de la capacité élevée de traitement des informations et de la capacité d'exécuter des applications Cloud au niveau périphérique.
Cas d'utilisation	Véhicule autonome	VR/AR	Smart Home

FIGURE 3.12 – Résumé générale de la couche Network Access .

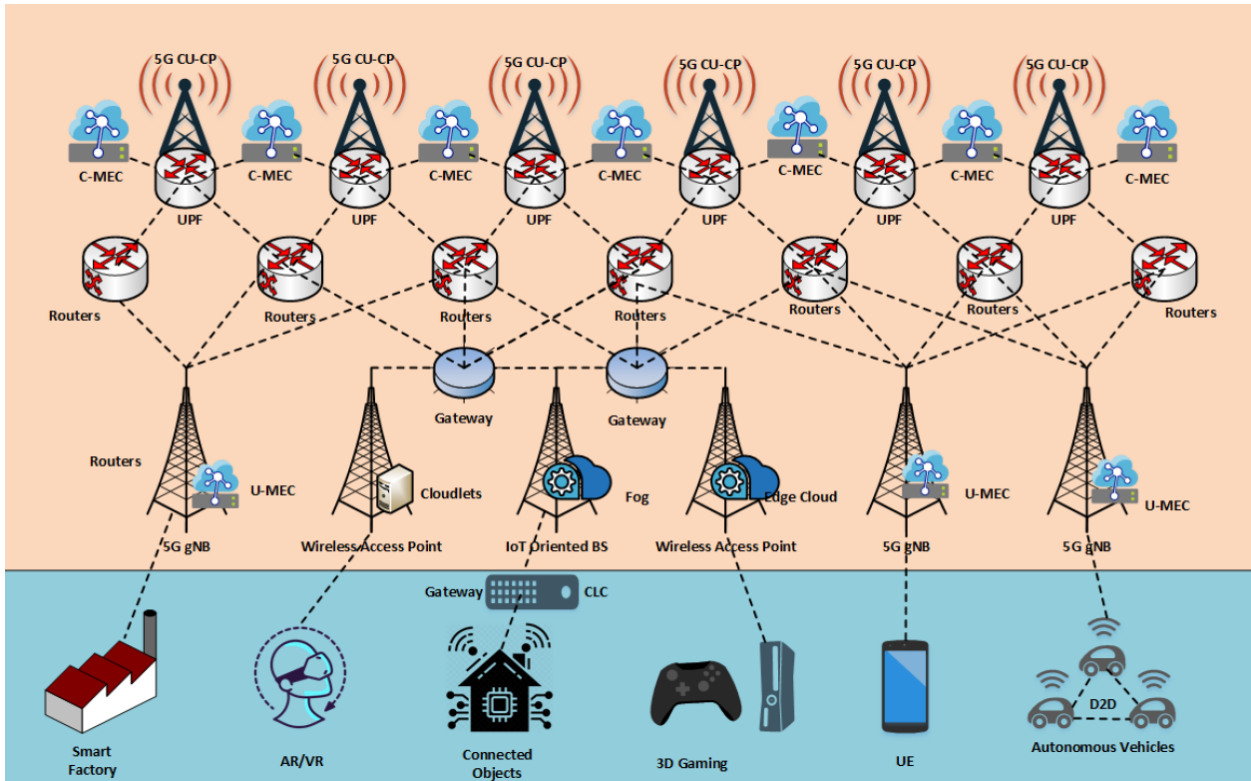


FIGURE 3.13 – Modèle de déploiement de l'architecture.

3.5.3 Conclusion

Edge Computing dans la 5G et au-delà est une solution prometteuse pour les applications à très faible latence qui sont sensibles aux délais et nécessitent un traitement rapide des données. Dans ce chapitre, nous avons étudié en profondeur l'Edge Computing et étudié le rôle de la 5G dans l'Edge Computing. Ensuite, nous avons étudié une architecture hybride qui est proposé par [21].

Dans le prochain chapitre nous allons présenter notre architecture proposée. Enfin, en guise de conclusion, nous allons comparer l'architecture proposée avec l'architecture hybride similaire pour l'Edge Computing dans ce chapitre, et discuté des problèmes en suspens tout en examinant la situation dans son ensemble.

Chapitre 4

Notre architecture proposée

4.1 Introduction

L'amélioration de l'efficacité des systèmes de soins de santé est une priorité nationale dans le monde entier. Cependant, la nécessité de fournir des services de santé évolutifs aux patients tout en réduisant les coûts est un défi. Parmi les approches les plus prometteuses pour permettre des soins de santé, on trouve les capacités de Edge computing et les technologies de réseau sans fil de nouvelle génération qui peuvent fournir une surveillance à distance des patients en temps réel et à moindre coût.

Dans ce chapitre, premièrement nous présentons une généralité de l'e-santé pour mieux comprendre le domaine, deuxièmement nous exposons notre vision de l'exploitation de l'Edge Computing (EC) pour les applications de e-santé. Nous envisageons une architecture basée sur le EC et discutons des avantages qu'elle peut apporter pour réaliser un traitement au sein du réseau et adapté au contexte afin de répondre aux exigences de la e-santé [22].

4.2 E-santé

La e-santé est un domaine émergent à l'intersection de l'informatique médicale, de la santé publique et des affaires, qui fait référence aux services de santé et à l'information fournie ou améliorée par Internet et les technologies connexes. Dans un sens plus large, le terme caractérise non seulement un développement technique, mais aussi un état d'esprit, une façon de penser, une attitude, et un engagement pour la pensée globale en réseau, pour améliorer les soins de santé localement, à l'échelle régionale et mondiale en utilisant les technologies de l'information et de la communication [23].

Nous considérons que cette définition est la plus appropriée car elle met en évidence le rôle particulier joué par l'Internet dans l'e-santé. En conséquence, l'e-santé est définie comme suit :

“L'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication, en particulier l'internet, pour améliorer ou permettre la santé et les soins de santé” [24].

4.2.1 Objectifs de l'e-santé

L'e-santé a deux objectifs principaux :

1. Donner plus de responsabilité, de pouvoir et d'information au patient afin qu'il puisse être un acteur de sa propre santé.

2. Utiliser les Information and Communication Technologies (ICT) de la façon la plus efficace et la plus efficiente possible pour soutenir l'interaction des patients et des fournisseurs de soins de santé dans les soins primaires et secondaires.

4.2.2 Services de l'e-santé

Les services de e-santé englobent tout, des services d'information de base sur la santé aux services interactifs plus avancés. Les services et applications de e-santé les plus couramment abordés sont les ordonnances électroniques, les applications de télémédecine (comme la téléconsultation et la télésurveillance), la médecine fondée sur des données probantes, les fonctions administratives appuyées électroniquement, les dossiers de patients électroniques, la prestation d'information axée sur les spécialistes et les patients, les équipes de santé virtuelles et d'autres services reliant les intervenants des soins de santé ainsi que l'apprentissage à distance [24].

Ces services de santé en ligne peuvent être classés en trois groupes principaux :

Catégorie	Exemple
Service d'information aux consommateurs	- Sites Web biomédicaux - Groupes de soutien en ligne
Télémédecine	- Téléconsultation - Télésurveillance - Systèmes d'aide à la décision
Systèmes de soutien aux entreprises de la santé	- Besoins de gestion dans le domaine de la santé - Dossier médical électronique

TABLE 4.1 – Catégories de l'e-santé.

4.2.3 Avantages de l'e-santé

Il existe différents niveaux de soins de santé, des soins autogérés aux soins primaires, les soins secondaires, les soins tertiaires et, enfin, les soins de long terme. Les soins de longue durée sont subsection orientés vers les maladies chroniques et les handicaps pour lesquels un séjour à l'hôpital n'est plus approprié. Deux grandes tendances se dessinent actuellement dans le domaine de la santé :

1. Adopter des soins plus l'amélioration de la qualité des soins.
2. Essayer de passer des soins institutionnels aux soins à domicile afin de réduire les coûts. Comme on peut le voir dans la Figure 4.1.

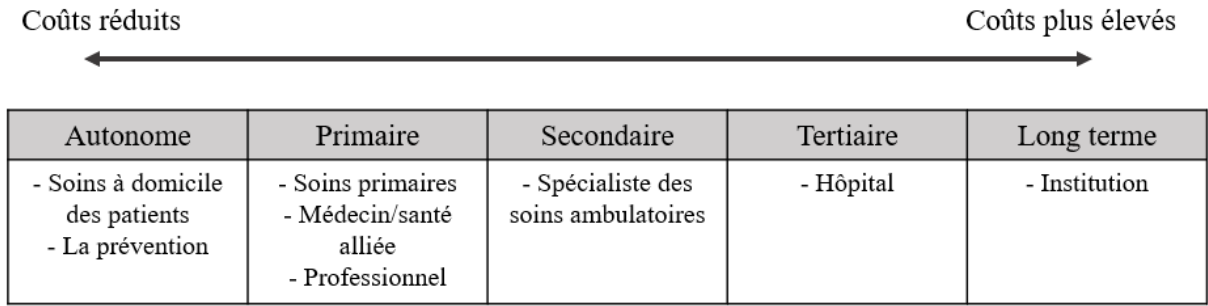


FIGURE 4.1 – Spectre des soins [24].

Pourtant, la e-santé promet d'offrir plus d'avantages aux consommateurs de soins de santé, aux organisations, aux médecins, aux infirmières et aux autres personnes impliquées dans la prestation des soins de santé. En résumé, ceux-ci incluent :

- L'autonomisation des citoyens et la promotion des auto soins ;
- Amélioration de l'accès aux services de soins de santé ;
- Amélioration de la qualité des services de soins de santé axés sur les citoyens ;
- Un flux de communication et un échange d'informations facilités.

4.3 E-santé basée sur le EC

L'architecture du système proposé, illustrée à la Figure 4.2, s'étend des sources de données situées sur ou autour des patients jusqu'aux prestataires de services. Elle contient les principaux composants suivants :

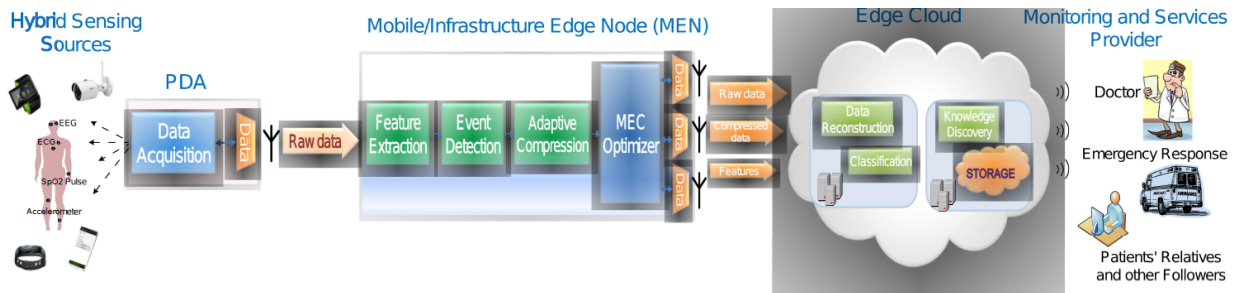


FIGURE 4.2 – Architecture proposé pour le système de la e-santé [22].

4.3.1 Composants de l'architecture

1. Hybrid sensing sources

Une combinaison de dispositifs de détection fixés/proches des patients représente l'ensemble des sources de données. Par exemple : les réseaux de capteurs corporels (y compris les capteurs médicaux et non médicaux implantables ou portables), les caméras IP, les smartphones et les dispositifs médicaux externes. Tous ces dispositifs sont utilisés pour surveiller l'état des patients dans l'environnement assisté intelligent, ce qui facilite la surveillance à distance permanente et la détection automatique des situations d'urgence. Ces sources d'information sont rattachées à un nœud Edge mobile (MEN) pour être traitées et analysées localement avant d'être envoyées dans le cloud.

2. Patient Data Aggregator (PDA)

En général, le réseau corporel sans fil se compose de plusieurs nœuds de capteurs qui mesurent différents signes vitaux, et d'un PDA qui regroupe les données collectées par la source de détection et les transmet à l'infrastructure du réseau. Ainsi, le PDA fonctionne comme un centre de communication qui est déployé près du patient pour transférer les données médicales recueillies à l'infrastructure.

3. Mobile/Infrastructure Edge Node (MEN)

Dans ce cas, un MEN met en œuvre des fonctions intermédiaires de traitement et de stockage entre les sources de données et le cloud.

4. Edge Cloud

Il s'agit d'un Edge cloud local où sont stockées les données, des méthodes d'analyse de données sophistiquées pour la détection de modèles, la découverte de tendances et la gestion de la santé de la population peuvent être activées. Un exemple de Edge cloud peut être un hôpital, qui surveille et enregistre l'état des patients tout en fournissant l'aide nécessaire en cas de besoin.

5. Monitoring and services provider

Un prestataire de services de santé peut être un médecin, une ambulance intelligente ou même un proche d'un patient, qui fournit des services de santé préventifs, curatifs, d'urgence ou de réadaptation aux patients.

4.4 Architecture proposée

4.4.1 Notre vision de la nouvelle architecture

Dans notre cas, nous avons une vision pour combiner notre architecture et l'architecture précédente pour atteindre les meilleurs performances. Comme on peut le voir dans la Figure 4.3.

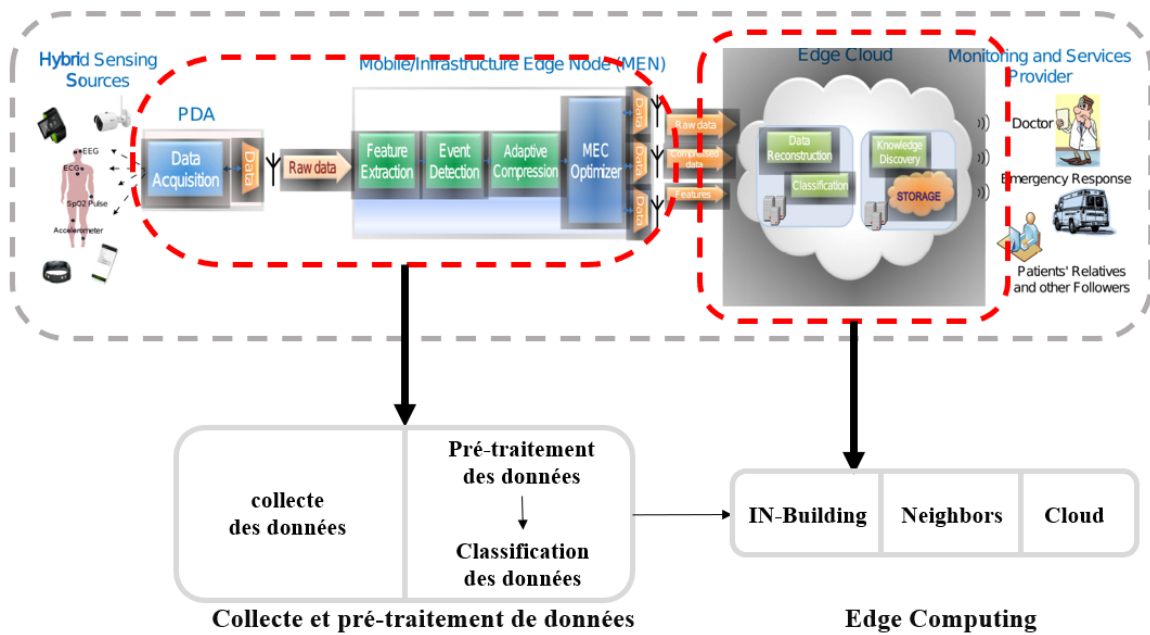


FIGURE 4.3 – Vision de la nouvelle architecture.

4.4.2 Scénario proposé

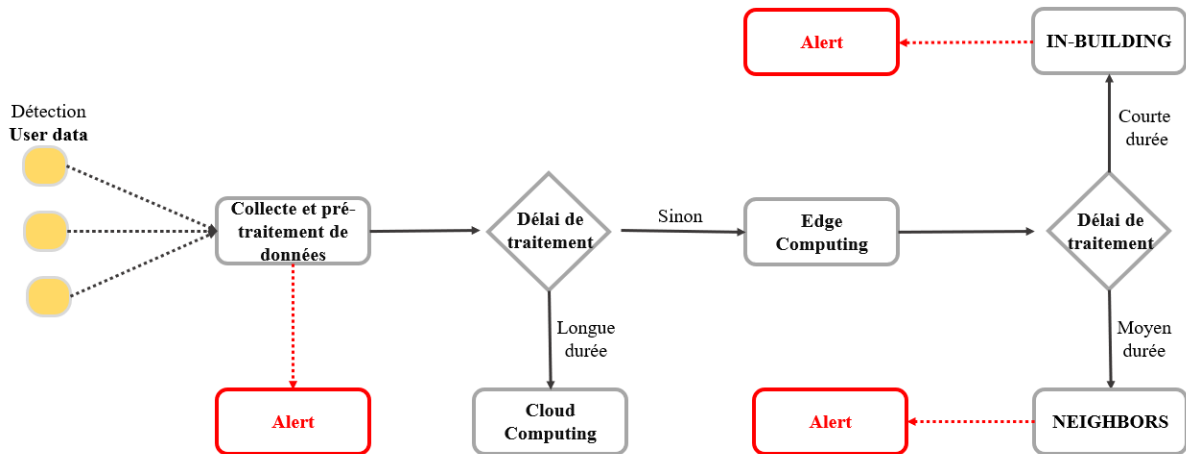


FIGURE 4.4 – Scénario proposé.

Dans notre scénario, nous avons défini les deux étapes suivies, la première étape est la collecte et le pré-traitement des données. La collecte des données provient des dispositifs IoT (User data) après avoir collecté ces données, nous faisons le pré-traitement de ces données, le pré-traitement peut détecter et classifier l'urgence des données pour envoyer une alerte (famille, voisins, ambulance). La deuxième étape consiste à appliquer les classifications pour le délai de traitement. Ces classifications sont : longue durée, moyen durée et courte durée et chaque délai a un serveur spécifique, ces serveurs sont des cloud computing et Edge computing (IN-Building, Neighbors).

1. La collecte et pré-traitement de données

La collecte des données regroupe les données collectées par la source de détection et les transmet à l'infrastructure du réseau. Ainsi, La collecte des données fonctionne comme un centre de communication qui est déployé près du patient pour transférer les données médicales recueillies à l'infrastructure.

Pré-traitement des données met en œuvre des fonctions intermédiaires de traitement et de stockage entre les sources de données et le Edge Cloud. Pré-traitement permet de classer les données selon des critères spécifiques (Longue durée, Moyen durée, Courte durée).

2. Les types des données des patients

Nous considérons trois types de données :

— Longue durée

Longue durée considérée pour les cas non urgents et les cas de calcul plus élevé. Par exemple, nous avons besoin de données pour un patient et nous devons faire une étude de cas sur les données de ce patient, nous considérons cela comme un calcul de longue durée.

— Moyen durée

Moyen durée nous pouvons l'expliquer par un exemple, le traitement de la surveillance régulière pour le patient ce traitement ne nécessite pas des résultats immédiats nous pouvons retarder les résultats pour un certain temps (Moyen durée).

— **Courte durée**

Courte durée considérée pour les cas urgents et les cas nécessitant de calcul immédiat. Par exemple, le patient en danger. La collecte de données sait que ce cas nécessite un résultat de calcul immédiat pour sauver la vie du patient en envoyant les résultats aux médecins plus proches ou en demandant une ambulance.

4.4.3 Architecture

Nous voyons dans les architectures précédentes le problème du placement de l'Edge computing. Alors notre proposition désigne une architecture qui est intégrée avec Mobile Edge Computing (MEC), Edge Computing (EC), Cloud Computing (CC) et Server Mobile (SM). Comme le déploiement de l'architecture proposée a été montré sur Figure 4.5, l'architecture proposée contient trois couches (Détection (Sensing), Fog Computing, et Cloud Computing) et trois placements différents de l'Edge computing (Station de base (BS), IN-Building, Neighbors). L'architecture est hétérogène, évolutive et prend en charge les exigences des cas d'utilisation de la 5G Edge Computing.

Cette architecture est composée de trois couches ce sont les suivants :

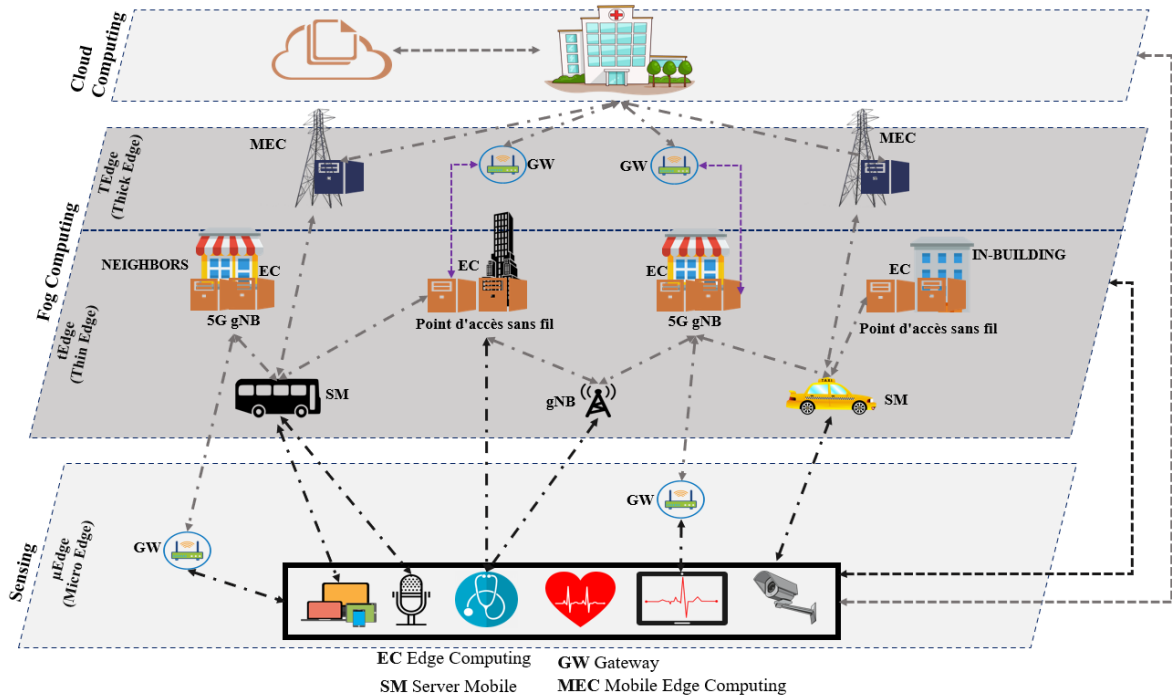


FIGURE 4.5 – Architecture proposée.

1. Couche Cloud Computing

Dans cette couche, nous considérons le cloud computing pour les calculs lourds ou de longue durée. Par exemple, nous avons besoin de données pour un patient et nous devons faire une étude de cas sur les données de ce patient, nous considérons cela comme un calcul de longue durée et pour le calcul lourd comme le Big Data. Le CC peut recevoir des données de la couche Fog Computing et de la couche de détection pour le stockage ou des calculs supplémentaires.



FIGURE 4.6 – Couche Cloud Computing.

2. Couche Fog Computing

Nous proposons d'utiliser une structure hybride pour l'Edge Computing qui se compose de quatre éléments vers un arrangement dynamique ultra-rapide qui est une combinaison de MEC, EC et SM. Le premier composant est situé sur les stations de base 5G avec MEC. Le deuxième composant est les serveurs IN-Building qui est situé dans les bâtiments ; ce composant utilise le serveur EC, nous considérons que ce composant pour le calcul du courte-durée. Le troisième composant est les serveurs Neighbors qui se trouvent dans les voisins de l'utilisateur final ; ce composant utilise aussi le serveur EC, nous considérons ce composant pour le calcul du moyen-durée. Le quatrième composant est constitué par les véhicules de transport (taxi, bus) ; ce composant est un composant mobile ce le nom SM que nous utilisons pour recevoir et transmettre les demandes de calcul au serveur de calcul le plus proche.

Cette couche est considérée sous le nom Fog Computing (FC).

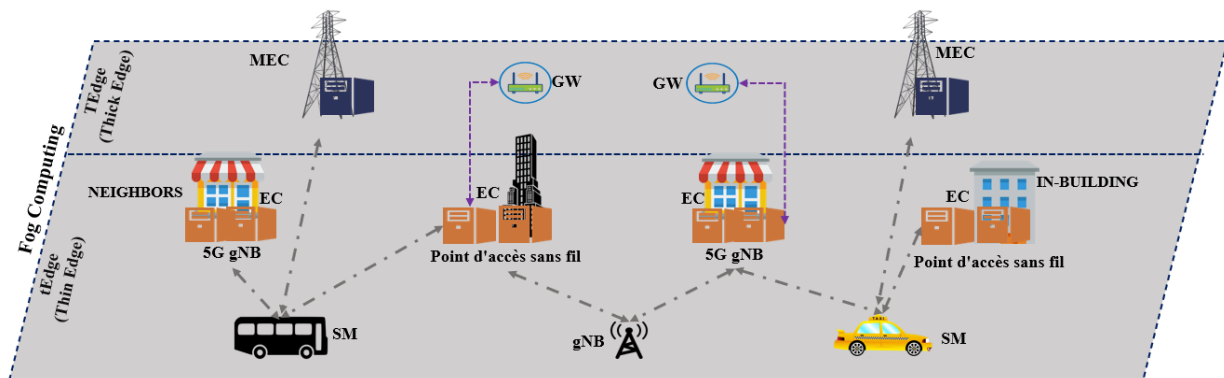


FIGURE 4.7 – Couche Fog Computing.

— Server Mobile (SM)

Dans un serveur mobile, nous considérons que les véhicules de transport contiennent le serveur qui permet de faire recevoir et transmettre les demandes de calcul.

— Gateway (Passerelle)

Gateway est un dispositif matériel et logiciel qui permet de relier deux réseaux informatiques, ou deux réseaux de télécommunications, aux caractéristiques différentes. Lorsque l'utilisateur d'un réseau souhaite accéder à un réseau utilisant un protocole différent, la Gateway examine la légitimité de sa demande. Si celle-ci respecte les conditions fixées par l'administrateur du réseau visé, alors la Gateway établit une liaison entre les deux réseaux.

Dans l'IoT, la Gateway sert à faire transiter les données des objets connectés à la plateforme chargée de les analyser. Elle concentre ainsi la data par nœuds avant de les envoyer sur le cloud [25].

3. Couche de détection

Couche de détection (Sensing) se compose d'UEs et des capteurs. Dans cette couche, UEs/Capteurs sont connectés via Wi-Fi ou réseau 5G directement par des émetteurs 5G. Le rôle de cette couche est d'agir en tant que collecteur de données afin d'atteindre deux objectifs : la collecte de données et l'envoi de ces données vers le serveur de calcul le plus proche ou le plus adéquat.



FIGURE 4.8 – Couche de détection.

4.4.4 Diagramme de l'architecture

Nous proposons quatre étapes principales : détection (Sensing), traitement initial (Initial processing), négociation, calcul.

- **Détection** : Les dispositifs de détection collectent les données et les envoient au traitement initial.
- **Traitement initial** : Permet d'estimer la capacité de calcul et évaluation des cas urgents.
- **Négociation** : Négociation avec les opérateurs qui offre des capacités informatiques (Prix et capacités).
- **Calcul** : Dans cette étape, l'offre de calcul, le stockage de données, l'analyse et l'intelligence.

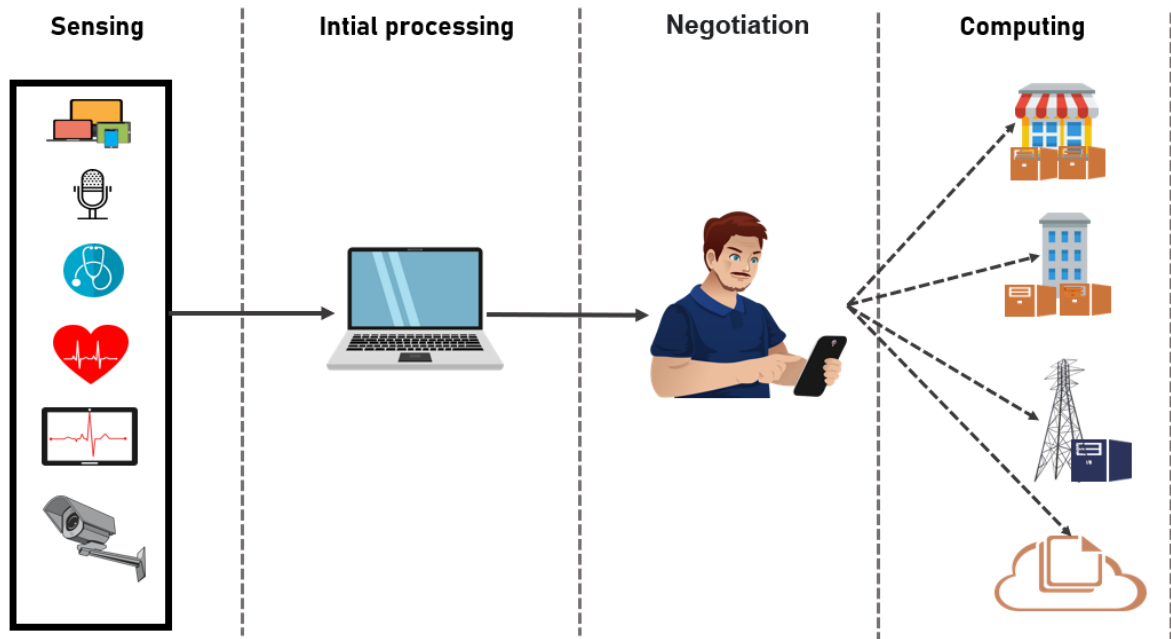


FIGURE 4.9 – Diagramme de l'architecture.

4.4.5 Avantages de l'architecture

- (a) La réduction de la latence est le principal avantage par rapport à l'architecture basée sur le cloud en raison du traitement en périphérie.
- (b) Dans un cas où la plupart des informations sont très localisées, la mise en cache au niveau des serveurs de périphérie réduit la latence End to End (E2E) tout en diminuant la congestion du réseau d'infrastructure en dehors du serveur de périphérie.
- (c) L'approche hybride offre une meilleure sécurité et une meilleure confidentialité que l'architecture du cloud, car les données restent à proximité des terminaux.
- (d) La consommation d'énergie des terminaux est inférieure à celle de l'architecture localisée, car les terminaux n'effectuent que les opérations obligatoires.

4.5 Application

4.5.1 L'outil de développement

Flutter

Flutter est un framework de développement d'applications multiplateforme, conçu par Google, dont la première version a été publiée sous forme de projet open source à la fin de l'année 2018. Flutter met à disposition une grande variété de bibliothèques d'éléments d'IU standard pour Android et iOS.

Il reste cependant aussi adapté au développement d'applications web de bureau classiques. Les applications développées avec Flutter prennent l'aspect d'applications typiques des systèmes correspondants et se comportent également de manière similaire, sans que le programmeur, c'est-à-dire vous, n'ait besoin de prêter attention à ces caractéristiques.

Sur quel langage de programmation se base Flutter ?

Le Flutter SDK se base sur le langage de programmation Dart également développé par Google. Il se veut le successeur moderne du langage JavaScript classique et, tout comme ce dernier, il s'exécute directement sur les navigateurs, sous forme d'application web. Les programmes Dart peuvent aussi être exécutés directement sur un serveur.

4.5.2 Diagramme cas d'utilisation

Les diagrammes de cas d'utilisation (DCU) sont des diagrammes UML utilisés pour une représentation du comportement fonctionnel d'un système logiciel. Ils sont utiles pour des présentations auprès de la direction ou des acteurs d'un projet, mais pour le développement, les cas d'utilisation sont plus appropriés. En effet, un cas d'utilisation (use cases) représente une unité discrète d'interaction entre un utilisateur (humain ou machine) et un système. Ainsi, dans un diagramme de cas d'utilisation, les utilisateurs sont appelés acteurs (actors), et ils apparaissent dans les cas d'utilisation.

Dans cette figure on présente notre diagramme de cas d'utilisation afin de présenter les différents rôles pour chaque acteur.

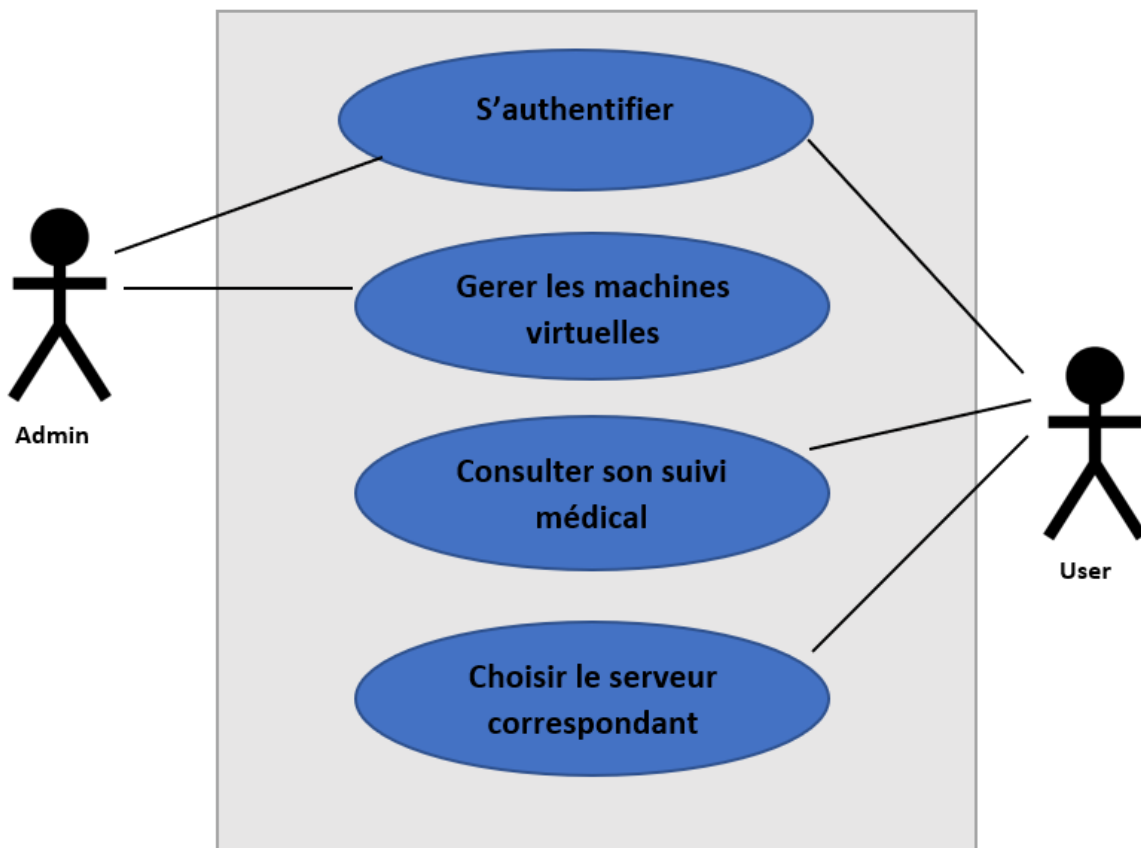


FIGURE 4.10 – Diagramme cas d'utilisation.

4.5.3 Présentation de l'application mobile

Page d'authentification

Elle s'agit d'une présentation générale d'un écran de connexion. Un utilisateur peut saisir le nom d'utilisateur et le mot de passe ensemble pour se connecter.

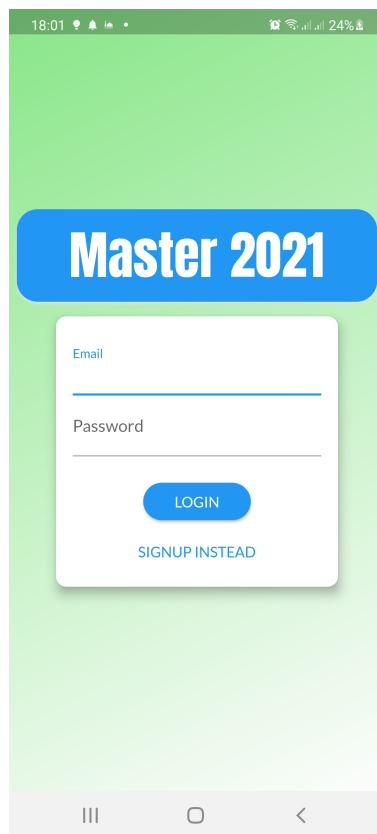


FIGURE 4.11 – Page d'authentification.

Page d'accueil

Cette page permet à l'utilisateur dans notre cas le patient de consulter ses résultats médicaux ainsi que le battement de cœur ou bien sa température.

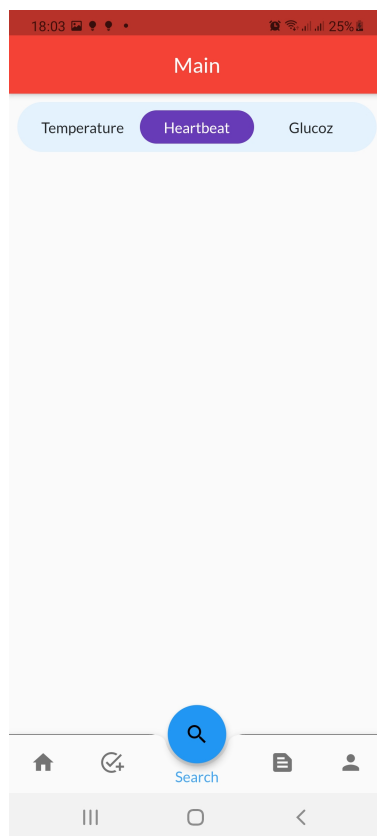


FIGURE 4.12 – Page d'accueil.

Fréquence cardiaque et choix du serveur

Dans cette page le patient peut voir son tableau de fréquence cardiaque après il peut l'envoyer à un cloud central ou bien au son voisinage pour faire leur traitement si c'est le cas sinon les patients peuvent envoyer leurs données aux cloud ou bien le Edge pour une certaine étude.

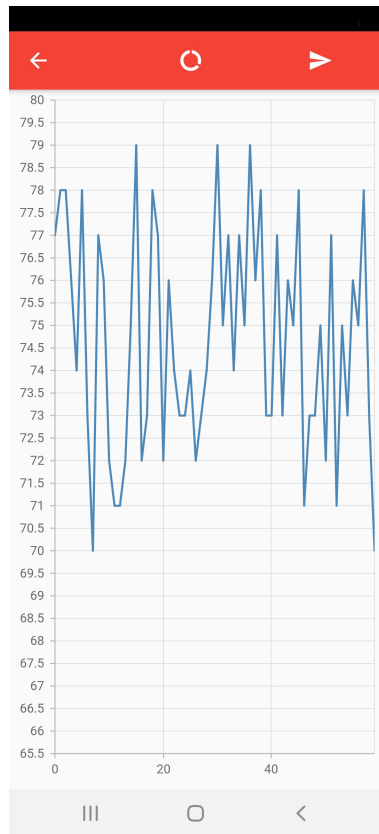


FIGURE 4.13 – Fréquence cardiaque.



FIGURE 4.14 – Edge serveur.

Page de résultat

La dernière page s'agit à notifier le patient par ses résultats des données envoyées précédemment si ça nécessite à visiter le médecin dans le cas d'urgence.

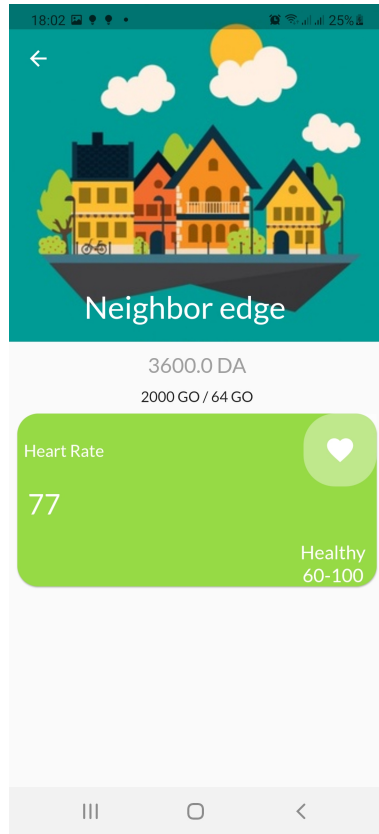


FIGURE 4.15 – Rythme cardiaque normal.

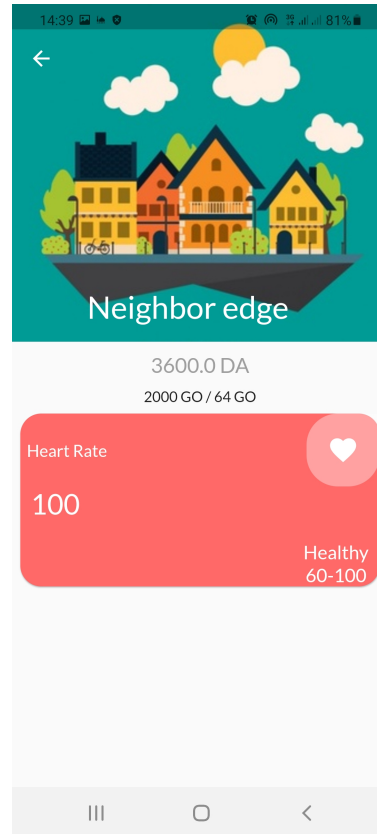


FIGURE 4.16 – Rythme cardiaque anormal.

4.6 Conclusion

Edge Computing en 5G est une solution prometteuse pour les applications à très faible latence qui sont sensibles aux délais et nécessitent un traitement rapide des données. Dans ce chapitre, nous avons étudié l'emplacement des serveurs Edge Computing (EC). Ensuite, nous proposons une architecture, composée de Mobile Edge Computing (MEC) dans les stations de base et d'EC dans deux placements différents basés sur les exigences des applications sensibles aux délais (EC pour le calcul du moyen durée placé dans Neighbors et EC pour le calcul à courte durée dans IN-Building). Cette proposition nous aide à classer nos données pour une meilleure expérience utilisateur comme la réduction de latence et augmentant la sécurité.

Chapitre 5

CONCLUSION GÉNÉRALE

La fusion des deux concepts du Edge Computing et les systèmes e-santé a donné naissance au système de la santé, un concept dans lequel les services du Edge Computing sont hébergés plus proche au consommateur et peut agir en temps plus court.

Dans ce mémoire, nous avons présenté l'un des architectures proposées pour e-santé basée sur l'Edge computing, ainsi que les méthodes utilisées pour traiter les données et donne meilleur temps de réponse. Puis, nous avons proposé notre amélioration de système e-santé au niveau de la sélection des serveur plus proche, rapide et moins coûteux en se basant sur l'emplacement des serveur Edge computing on a proposé de placé les serveurs dans les bâtiments (IN-BUILDING), voisins (NEIGHBORS) et les antennes des réseaux cellulaires. Enfin, nous avons proposé une application mobile pour faciliter le choix du consommateur afin de sélectionner le meilleur serveur et obtenir les meilleurs résultats en un temps plus court.

Les résultats de l'application ont montré que l'amélioration permet au consommateur d'atteindre le meilleur serveur selon ses demandes et des critères de qualités.

Bibliographie

- [1] Mugen Peng and Kecheng Zhang. Recent advances in fog radio access networks : Performance analysis and radio resource allocation. *IEEE Access*, 4 :5003–5009, 2016.
- [2] Ala Al-Fuqaha, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, and Moussa Ayyash. Internet of things : A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4) :2347–2376, 2015.
- [3] Mung Chiang and Tao Zhang. Fog and iot : An overview of research opportunities. *IEEE Internet of things journal*, 3(6) :854–864, 2016.
- [4] Frieder Ganz, Daniel Puschmann, Payam Barnaghi, and Francois Carrez. A practical evaluation of information processing and abstraction techniques for the internet of things. *IEEE Internet of Things journal*, 2(4) :340–354, 2015.
- [5] Mohammad Abdur Razzaque, Marija Milojevic-Jevric, Andrei Palade, and Siobhán Clarke. Middleware for internet of things : a survey. *IEEE Internet of things journal*, 3(1) :70–95, 2015.
- [6] Antonio Brogi and Stefano Forti. Qos-aware deployment of iot applications through the fog. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5) :1185–1192, 2017.
- [7] Jie Lin, Wei Yu, Nan Zhang, Xinyu Yang, Hanlin Zhang, and Wei Zhao. A survey on internet of things : Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5) :1125–1142, 2017.
- [8] Mahadev Satyanarayanan. The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1) :30–39, 2017.
- [9] Kamel Hacini, Reda Khelifi, Hassina Encadreur Merdjana, Sofiane Encadreur Haddad, and Ammar Encadreur Boufersada. *Transition 2G/3G/4G en communication mobile : cas site université d'ATM Mobilis*. PhD thesis, Université de Jijel, 2019.
- [10] Agrima Bahl. 694 CELLULAR NETWORK [online]. https://www.academia.edu/6065930/694_CELLULAR_NETWORK, Jul 2021.
- [11] Azar Abid Salih, Subhi RM Zeebaree, Ahmed Sinali Abdulraheem, Rizagr R Zebari, Mohammed AM Sadeeq, and Omar M Ahmed. Evolution of mobile wireless communication to 5g revolution. *Technology Reports of Kansai University*, 62(5) :2139–2151, 2020.
- [12] Wikipedia. La troisième génération (3G) [online]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/3G>, Jun 2021.
- [13] Aymeric Buthion. Publication du guide " 5G : enjeux et perspectives territoriales ".

- [14] Zahid Ghadialy. 3GPP 5G Standards et Specifications, 04 2021.
- [15] S.S. Hussain, S.M. Yaseen, and Koushik Barman. An overview of massive mimo system in 5g. 9 :4957–4968, 01 2016.
- [16] Hend Ben Hadji. Les fondamentaux de l’IoT, Oct 2020.
- [17] Cloud computing [online]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing, May 2021.
- [18] Qu’est-ce que le cloud computing ? [online]. <https://azure.microsoft.com/fr-fr/overview/what-is-cloud-computing/>, Jul 2021.
- [19] Fog computing : quel rôle pour l’IoT ? [online]. journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440666-fog-computing-quel-role-pour-l-iot/, Jul 2021.
- [20] What is multi-access edge computing ? [online]. <https://www.juniper.net/us/en/products-services/what-is/multi-access-edge-computing/>, Jul 2021.
- [21] Hamed Rahimi, Yvan Picaud, Kamal Singh, Giyyarpuram Madhusudan, Salvatore Costanzo, and Olivier Boissier. Design and simulation of a hybrid architecture for edge computing in 5g and beyond. *IEEE Transactions on Computers*, 2021.
- [22] Alaa Awad Abdellatif, Amr Mohamed, Carla Fabiana Chiasserini, Mounira Tlili, and Aiman Erbad. Edge computing for smart health : Context-aware approaches, opportunities, and challenges. *IEEE Network*, 33(3) :196–203, 2019.
- [23] G Eysenbach. What is e-health ? [online]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1761894/>, Jul 2021.
- [24] Marie-Louise Jung. *From health to e-health : understanding citizens’ acceptance of online health care*. PhD thesis, Luleå tekniska universitet, 2008.
- [25] Gateway (informatique) : définition et rôle pour les données, Jul 2020.