**RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL**
Un Peuple – Un But – Une Foi



**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE ET DE L'INOVATION**



**UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR**

**********

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES**

**********

**DEPARTEMENT MATHEMATIQUES -INFORMATIQUE**
**SECTION INFORMATIQUE**

# MÉMOIRE DE MASTER II INFORMATIQUE

## Option : Réseaux et Télécommunications

# *Sujet :* Performance de la 5G pour la détection d'obstacle dans le trafic urbain

Présenté et soutenu publiquement par :

**Mlle. FATOU SALL**

Encadré par **Pr. Chérif Diallo**

Le : **11 Janvier 2020**

**Jury**

| | | |
|---|---|---|
| Pr. Karim KONATE | Maître de conférences Titulaire, UCAD | Président |
| Dr. Chérif DIALLO | Professeur Assimilé, UGB | Membre |
| M. Bassirou KASSE | Ingénieur | Membre |
| M. Modou FALL | Ingénieur | Membre |

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma mère C.L.FALL, une femme remarquable.*

*Je te regarde avec amour et admiration me demandant toujours comment tu as pu réussir tous ces exploits et relever tous ces défis, et si un jour, je serais capable d'en faire autant. Puisse le seigneur te combler de bonheur et récompenser tous tes sacrifices.*

*A mon père D.SALL, un homme impressionnant.*

*IL a cru en moi, ne manquant jamais de me insuffler courage, volonté et motivation, de me rappeler mes responsabilité en tant ainée de la famille. Nous te serons toujours reconnaissantes de toujours vouloir le meilleur pour nous.*

*A ma tante Ndéye Tidiane Sylla.*

*Que Dieu te donne une longue vie et la force de veiller sur nous comme toujours.*

*A Tonton Landing et Tonton Maguette, merci pour vos encouragements durant tous mon parcours scolaire.*

*A Aminata, Aissatou, Thiara, Ismaila,arlo ,Macoumba, Ngalgou,Junior,Coumba,Abdou,Yacine,Bébé Fa*

*C'est vers vous que je me tourne quand je me perds.je suis comblée par votre douce et rassurante présence et remercie le ciel de vous avoir avec moi.*

*Vous êtes ma lumière.*

*A mes chers Tantes et Oncles, cousins et cousines, aux familles SALL et FALL.*

*Puisse le seigneur faire de nous les personnes que vous espérez que nous devenions.*

*A mes chers amis Samba Ndiaye, Mayrame, Fatou Kiné Woly , Awa Gaye et Penda.*
*Votre présence à mes côtés est d'une valeur inestimable.*
*Puisse le Ciel préserver la beauté de ce qui nous unit.*
*Au Dr Chérif DIALLO ainsi qu'à mes professeurs de la Section Informatique*
*Que DIEU vous récompense.*

*A tous mes amis du Master 2 RETEL vous êtes ma seconde famille*
*A ceux qui sont toujours là.*

*A toute ma famille.*

*Avec tout mon amour.*



# REMERCIEMENT

*Avant tout, rendons grâce à notre Seigneur ALLAH le tout puissant, le miséricordieux qui nous a donné la possibilité de réaliser ce travail.*

*Nous saluons son Prophète Mohamed (PSL).*

*J'adresse mes plus sincères remerciements :*

*A mes chers parents. Sans vous rien de tout ceci ne serait.*
*A mes frères et sœurs.*

*A ma chère famille.*

*A tout le corps professoral et administratif de la Section Informatique.*

*Au Dr Cherif DIALLO qui, en tant qu'encadrant s'est toujours montré à l'écoute et très indulgent à notre égard .Qu'il soit chaleureusement remercié de nous avoir offert l'opportunité de travailler sur un sujet aussi intéressant et d'avoir bien voulu nous accompagner et nous assister ce long chemin durant.*

*Je tiens également à exprimer ma gratitude au président et aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Je ne pourrai oublier mes camarades de promotion avec qui j'ai pu étudier dans un cadre particulièrement agréable.*

*A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*Merci pour tout*

# SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES..... VIII

LISTE DES TABLEAUX.....IX

LISTE DES ACRONYMES .....X

RESUME..... XIII

ABSTRACT .....XIV

INTRODUCTION GENERALE.....1

PROBLEMATIQUE.....4

OBJECTIFS.....5

METHODOLOGIE.....5

ETUDE THEORIQUE.....6

***CHAPITRE 1 : Etat de l'art des systèmes cellulaire et véhiculaires*.....7**

1.1 Introduction .....8

1.2 Etudes des technologies de réseaux mobiles.....8

1.2.1 Définition et concept de base .....8

1.2.2 Les Systèmes cellulaires de première génération.....9

1.2.2.1 Accès multiples de première génération.....9

1.2.3 Les Systèmes cellulaires de deuxième génération .....9

1.2.3.1 Etude du GSM.....9

1.2.3.2 Accès multiples de deuxième génération .....11

1.2.3.3 Etude du GPRS (General Packet Radio Services) .....11

1.2.3.4 Etude du EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) .....13

1.2.4 Les Systèmes cellulaires de troisième génération .....13

1.2.4.1 Accès multiples de troisième génération.....15

1.2.4.2 Etude du HSPA (High Speed Packet Access) ..... 16
1.2.4.3 Etude du HSPA+ ..... 17
1.2.5 Les Systèmes cellulaires de quatrième génération ..... 17
1.2.5.1 Etude du LTE (Long Term Evolution) ..... 17
1.2.5.2 Accès multiple de quatrième génération ..... 18
1.2.5.3 Etude du LTE-Advanced ..... 19
1.3.1 Définition de la voiture autonome ..... 23
1.3.2 Types de capteurs dans la voiture autonome ..... 24
1.3.2.1 Les lidars ..... 24
1.3.2.2 Les caméras ..... 24
1.3.2.3 Les Ultrasons ..... 25
1.3.2.4 Les radars ..... 25
1.3.2.4 Capteurs de mouvement et de position ..... 25
1.3.3 La technologie V2V ..... 25
1.3.4 La technologie V2I ..... 26
1.4 Etude de réseau véhiculaire : VANET ..... 27
1.4.2 Caractéristiques des réseaux de véhicules ..... 28
1.4.3 Les types de messages ..... 30
1.4.3 .1 Message lié à la sécurité ..... 30
1.4.3.2 Message à valeur ajoutée ..... 30
1.5 Conclusion ..... 31

***CHAPITRE2: Les caractéristiques performances de la 5G dans le domaine urbain 32***

2.1 Introduction ..... 33
2.2 Etude de la technologie 5G ..... 33
2.2.1 Architecture de la 5G ..... 33
2.2.2 Objectifs de la technologie 5G ..... 34
2.2.3 Catégories d'usages de la 5G ..... 36
2.2.3.1 Objectifs de l'eMBB ..... 36
2.2.3.2 Objectifs de l'uRLLC ..... 37

2.2.3.3 Objectifs de l'mMTC .....37
2.4 Caractéristiques techniques 5G .....37
2.5 Appréhension de la voiture autonome dans son environnement.....40
2.5.1 Perception de l'environnement.....40
2.5.2 Analyse des données reçues.....41
2.6 Performances de la 5G dans le domaine urbain.....46
2.7 Etudes du Network Slicing.....46
2.7.1 Performances du Network Slicing dans le domaine urbain.....47
2.8 Conclusion.....47
ETUDE PRATIQUE.....48
***CHAPITRE 3 : Etudes de phénomènes pour la gestion du trafic urbain .....49***
3.1 Introduction .....50
3.2 Etudes de performances de phénomènes routiers envisageables .....50
3.2.1 Détection d'embouteillage .....50
3.2.2 Détection d'une voiture d'urgence .....50
3.2.4 Comportement inapproprié des voitures.....51
3.3 ETUDE CONCEPTUELLLE.....51
3.3.1 Description de l'architecture proposée.....51
3.3.2 Etude du voisinage des voitures .....53
3.3.3 Description du scénario de détection obstacle .....53
3.3.4 Transmission du message sur le réseau 5G .....54
3.3.5 Caractéristiques du réseau dans le scénario.....57
3.3.5 Caractéristiques du réseau dans le scénario.....57
3.3.6 Qu'en est-il de la 5g au niveau mondiale.....58
3.4 Conclusion .....60
CONCLUSION GENERALE .....61
BIBLIOGRAPHIE.....63
WEBOGRAPHIE .....64

# LISTE DES FIGURES

**Figure 1 :** Evolution technologique de la famille 3GPP .....8
**Figure 2 :** Architecture d'un réseau GSM .....10
**Figure 3 :** Architecture d'un réseau GPRS .....12
**Figure 4** : Architecture d'un réseau UMTS .....14
**Figure 5**:Architecture du réseau LTE .....18
**Figure 6**:Fonctionnement des STIs .....23
**Figure 7:**Communication Vehicule to Vehicule.....23
**Figure 8:**Communication Vehicule to infrastructure.....23
**Figure 9**: Composants d'un VANET .....28
**Figure 10:** Mode SA et NSA de la 5G .....34
**Figure 11 :** Les cas d'usages de la 5G .....37
**Figure 12:**Processus de detection d'objet .....42
**Figure 13**:Reconnaissance 3D détecté par Lidar .....42
**Figure 14**:Processus d'identification objet dans un réseau de neurone convolutif ....44
**Figure 15 :** Reconnaissance d'objet avec YOLOv3 .....44
**Figure 16**: Etapes vers la prise de décision .....46
**Figure 17 :** Architecture du Scénario proposée.....52
**Figure 18:** Transmission du message sur le réseau .....56
**Figure 19**:Broadcast de l'antenne sur les voitures à portée de transmission .....57
**Figure 20:**Les blocs de fréquence 5G en fonction des pays .....60

# LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1 :** Les services UMTS .....14
**Tableau 2**:Les techniques d'accès radio UMTS.....15
**Tableau 3:**Comparaison des générations de réseaux mobiles .....21
**Tableau 4 :** Comparaison entre les performances de la 4G LTE-Advanced et la 5G.35
**Tableau 5:**Comparaison des algorithmes de reconnaissance d'image .....54
**Tableau 6**: Description des paramètres du message beacon .....55

# LISTE DES ACRONYMES

**3GPP :** Third Generation Partnership Project.

## *A*

**AAS** : Adaptive Antenna Systems

**AMS** : Adaptive Modulation Schemes

**AMPS** : Advanced Mobile Phone Services

**AES** : Advanced Encryption Standard

**AC** : Authentication Center

## *B*

**BTS** : Base Transceiver Station

**BSC** : Base Station Controller

## *C*

**CDMA** : Code Division Multiple Access

**CNN** : Convolutional neural network

## *D*

**DSRC** : Dedicated Short Range Communications

## *E*

**EPC :** Evolved Packet Core

**EDGE :** Enhanced Data Rates for GSM Evolution

**EIR :** Equipment Identity Register

## *F*

**FDD :** Frequency-division duplexing

**FDMA :** Frequency Division Multiple Access

**FPLMTS :** Future Public Land Mobile Telecommunications Systems

**FCC :** Federal Communications Commission

## G

**GPRS :** General Packet Radio Service

**GNSS :** Global Navigation Satellite System

**GMSK :** Gaussian Minimum Shift Keying

**GGSN :** Gateway GPRS Support Node

## H

**HSDPA :** High Speed Downlink Packet Access

**HSUPA :** High Speed Uplink Packet Access

**HS-DSCH :** High Speed Downlink Shared Channel

**HPSK :** Hybrid Phase Shift Keying

**HLR :** Home Location Register

## I

**IMEI :** International Mobile Equipment Identity

**IMT :** International Mobile Telecommunications

**IUT :** International Telecommunication Union

## L

**LIDAR :** Light Detection and Ranging

## M

**MCC :** Mobile Country Code

**MNC :** Mobile Network Code

**mMTC :** Massive Machine Type Communications

**MU-MIMO :** Multi-Utilisateur Multiple-Input Multiple-Output

**MIMO :** Multiple-Input Multiple-Output

## N

**NSA :** Non-Standalone

## *O*

**OBU :** On-Board Unit

**OFDM :** Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**OFDMA :** Orthogonal Frequency Division Multiple Access

## *P*

**PLMN :** Public Land Mobile Network

## *R*

**RSU :** Road Side Unit

**ReLU :** Rectified linear unit

**RAN** : Radio Access Network

## *S*

**SGSN :** Serving GPRS Support Node

## *U*

**UTRAN :** Universal Terrestrial Radio Access Network

**uRLLC :** Ultra-Reliable Low Latency Communications

**UMTS :** Universal Mobile Telecommunications System

## *V*

**VANET :** Vehicular Adhoc NETwork

**V2I :** Vehicule to Infrastructure

**V2V :** Vehicule to Vehicule

**V2X :** Vehicule to Everything

## *W*

**W-CDMA :** Wideband Code Division Multiple Access

**WLAN :** Wireless Local Area Network

# RESUME

Le monde des télécommunications sans fils étant en permanente évolution, nous assistons aujourd'hui à une convergence mobile/internet vers une course de performances. C'est ainsi que les technologies se sont succédées aboutissant à la naissance de la cinquième génération de réseau mobile qui fait l'objet de notre étude. Les technologies cellulaires prennent de la place dans les objets connectés allant jusqu'à proposer de meilleurs performances (Latence, Débit, Bande Passante) dans les domaines critiques avec l'avènement de la voiture autonome.

La 5G est la technologie ambitieuse qui promet des performances meilleures que les générations précédentes. Ces performances révolutionnent les réseaux véhiculaires avec la communication des voitures autonomes dans un milieu urbain. La communication des voitures autonomes entre-eux et avec l'infrastructure routière nécessite une réactivité importante. Un retard de délai de transmission du message peut être fatal pour les usagers et piétons.

Le network slicing est la technologie innovante de la 5G .Elle permet d'optimiser l'utilisation de la bande passante dans la communication des voitures autonomes. En effet, le network slicing permet la séparation des données multimédias consacrées aux divertissements comme des flux vidéos utilisés par l'usager et ceux réservés pour les données des communications véhiculaires.

Dans cette étude, nous avons jugé pertinent de voir quelques phénomènes de détection afin de comprendre le comportement des voitures autonomes et par ailleurs, de concevoir un scénario qui permet la transmission du message aux voitures autonomes connectés en 5G qui sont sur une même voie lorsqu'une voiture précèdent perçoit un obstacle.

**Mots clés : 5G, Network Slicing, Performances, Voitures Autonomes, trafic urbain.**

# ABSTRACT

As the world of wireless telecommunications is constantly changing, today we are witnessing a mobile / internet convergence towards a performance race. This is how technologies have succeeded one another, culminating in the birth of the fifth generation mobile network that is the subject of our study. Cellular technologies are becoming more important in connected objects, offering better performance (latency, debit, bandwidth) in critical areas with the advent of the autonomous car.

5G is the ambitious technology that promises better performance than previous generations. These performances revolutionize vehicular networks with the communication of autonomous cars in an urban environment. The communication of autonomous cars with each other and with the road infrastructure requires significant reactivity. A message delay can be fatal for users and pedestrians.

Network slicing is the innovative technology of 5G. It helps optimize the use of bandwidth in the communication of autonomous cars. Indeed, network slicing allows the separation of multimedia data dedicated to entertainment such as video streams used by the user and those reserved for the data of vehicular communications.

In this study, we deemed it relevant to see some detection phenomena in order to understand the behavior of autonomous cars and, moreover, to design a scenario that allows the transmission of the message to autonomous cars connected in 5G which are on the same track when a preceding car perceives an obstacle.

**Keywords:** **5G, Network Slicing, Performance, Autonomous Cars, urban traffic.**

# *INTRODUCTION GENERALE*

Avec le développement important qu'a connu ces dernières années l'informatique mobile et le marché des téléphones cellulaires, de plus en plus de services sont offerts sur ces plateformes. Aujourd'hui, il est difficile d'imaginer nos vies sans applications et services mobiles. Ces derniers jouent un rôle de plus en plus prépondérant dans notre quotidien à plus d'un titre. Auparavant, les services mobiles se limitaient principalement à la simple communication vocale. Aujourd'hui, ils sont sollicités dans les objets connectés via des capteurs à temps réel dans les secteurs de la santé (chirurgie à distance, services de secours, analyseur de glucose en continue), la domotique (thermostat centralisé, assistant vocal) ou encore dans le secteur du transport (radar de vitesse, voiture autonome) etc. On note ainsi l'émergence des nouveaux appareils de communication (smartphones, ordinateurs portables, équipements intelligents, etc.).En outre, l'évolution du matériel reflète une tendance à la mobilité, facilitant cette omniprésence technologique.

Après le succès mondial des réseaux de téléphonie mobile de seconde génération qui consacraient l'avènement de la téléphonie mobile numérique, l'attention internationale s'est tournée vers la 3G. Ces réseaux sont certes adaptés à la transmission de la voix et des données mais celles-ci restent séparées. Cela implique une gestion plus complexe des infrastructures réseaux et une consommation d'énergie plus élevée. A ce titre la 3GPP accélère le processus de standardisation de la 4e génération de réseaux mobiles en fournissant des débits élevés pour des applications à temps réels .Ces services mobiles proposent des performances ( bande passante,débits,latence) insuffisantes pour supporter la communication des voitures autonomes.

C'est dans ce contexte que la 3GPP propose la cinquième technologie de réseaux mobiles pour répondre à cette insuffisance afin d'avoir une communication fluide et rapide dans le transport urbain. Et ce, en se basant sur les règles et la démarche tracée par l'Union Internationale des Télécommunications.

La cinquième technologie de réseaux mobiles est la norme de communication mobile en cours de recherche et déploiement qui est définie par l'organisme 3GPP. Cette nouvelle technologie fournit un potentiel mille fois plus performant que les réseaux mobiles employés en 2010 et jusqu'à 100 fois plus rapide que la 4G. Les exigences

minimales de cette nouvelle technologie pour un débit de données maximal sont de 20Gbps dans le sens downlink et 10 Gbps dans le sens uplink. L'augmentation drastique du débit va permettre la multiplication des voitures autonomes. Elle permettra aux voitures de communiquer entre eux et de comprendre leurs voisinages (feux de signalisation, piéton, panneau de signalisation) pour l'aide à la décision. Ceci doit se faire de manière instantanée d'où la nécessite d'une latence très faible.

La principale révolution de la 5G est le Network Slicing qui consiste à découper le réseau en plusieurs tranches virtuelles. Cette dernière permet d'améliorer les performances du réseau. Dans le domaine systèmes de transports intelligents (STIs) le network slicing optimise la bande passante et le débit du réseau pour une meilleure gestion du trafic urbain.

Pour une bonne approche de ce sujet, nous allons dans un premier temps faire un rappel sur les différentes technologies ayant précédé la cinquième génération de réseaux puis des systèmes véhiculaires.

Après cela, nous étudierons les caractéristiques de la technologie 5G et du Network Slicing et les performances qu'ils offrent dans le trafic urbain. A la fin de ce document nous aborderons quelques phénomènes de détection pour la bonne gestion du trafic urbain et tenterons de concevoir un scénario pour voir la transmission du message à la vue d'un obstacle par une voiture autonome.

# PROBLEMATIQUE

Avec l'apparition de nouvelles applications à temps réel, de nouveaux défis apparaissent pour les opérateurs du fait qu'ils sont soumis à de fortes contraintes de latence avec les réseaux mobiles antérieurs. Aujourd'hui en maturité technologique, on arrive à avoir des voitures autonomes capables de communiquer avec leur entourage. Ainsi l'utilisateur s'attend avoir à sa disposition un réseau lui permettant de fournir à temps réel, avec le minimum d'altérations une mobilité très fluide avec une latence faible.

Les réseaux 4G sont certes capables d'offrir une latence meilleure que la 3G et la 2G mais elle reste insuffisante dans le domaine de la mobilité autonome. Avec ce réseau la voiture ne perçoit le signal d'un obstacle après un court délai ceux qui pourrait couter la sécurité et même la vie de ce qui se trouve à l'intérieur de la voiture.

Avec la 5G on assiste à la quasi-disparition de la latence de quoi rendre possible la conduite à temps réel de voiture. Ce réseau permettra à la voiture de percevoir un obstacle à la milliseconde-prés afin qu'il puisse prendre la bonne décision et d'assurer la sécurité des usagers.

# OBJECTIFS

Le but de ce mémoire est d'une part d'étudier les caractéristiques de la technologie 5G mais également des performances qu'il offre dans le domaine urbain.

D'autre part, nous tenterons de voir les phénomènes de gestion du trafic urbain en concevant un scénario pour voir la transmission du message aux voitures voisines à la perception d'un obstacle.

# METHODOLOGIE

Dans le chapitre premier nous allons voir dans un premier temps d'état de l'art des systèmes cellulaires en étudiant leur évolution de la 1ere génération à la 4G-Advanced. Ensuite nous ferons un rappel sur les systèmes véhiculaires et leur fonctionnement permettant leur cohabitation.

Le deuxième chapitre quant à lui traitera les caractéristiques de la technologie 5G avec son architecture et ses spécifications techniques. Nous y aborderons aussi ses performances dans le milieu urbain.

Pour finir dans le troisième chapitre il est prévu de voir les phénomènes de gestion du trafic urbain et par ailleurs faire une étude scénariste pour étudier la transmission de l'information aux voitures lorsque la voiture précédente perçoit un obstacle.

# ETUDE THEORIQUE

# *CHAPITRE 1 : Etat de l'art des systèmes cellulaire et véhiculaires*

## 1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'évolution des systèmes cellulaires et les techniques d'accès qu'ils utilisent. Puis nous décrivons les caractéristiques des réseaux véhiculaires et leurs moyens de communications.

## 1.2 Etudes des technologies de réseaux mobiles

Avant de pouvoir exposer le principal objet de ce travail, nous pensons qu'il serait pertinent de présenter brièvement les différentes technologies ayant précédé la cinquième génération. Nous allons donc décrire les plus connues d'entre elles par ordre d'apparition sur le marché mobile.

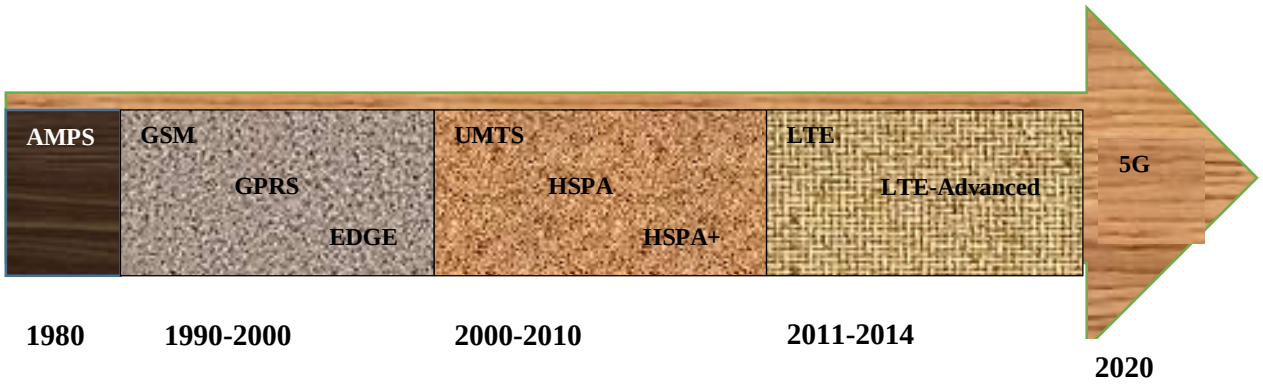



**Figure 1 :** Evolution technologique de la famille 3GPP

### 1.2.1 Définition et concept de base

Un réseau mobile permet aux téléphones mobiles, d'établir des communications. Il en existe plusieurs types, les plus connus étant les WLAN (Wireless Local Area Network (e.g. les réseaux Wi-Fi)) et les réseaux cellulaires. Les réseaux cellulaires sont généralement classifiés en plusieurs générations reflétant leur niveau de technicité et leur apparition chronologique. Ils sont appelés PLMN (Public Land Mobile Network), chacun d'eux étant mondialement identifié par un MCC (Mobile Country Code) et un MNC (Mobile Network Code). Ces réseaux sont généralement connectés au PSTN (Public Switched Telephone Network) pour permettre à leurs usagers de communiquer avec les autres PLMN et d'appeler des numéros fixes. Parfois ces réseaux sont aussi connectés à Internet (à partir de la 2,5G).

## 1.2.2 Les Systèmes cellulaires de première génération

Les systèmes de première génération ont été les premiers à exploiter le concept de téléphonie cellulaire développé par les laboratoires Bell en collaboration avec quelques industriels américains dans les années 1960 et 1970.Ces systèmes ont la particularité d'utiliser la modulation en fréquence (FM) qui est du type analogique. Le système américain AMPS (Advanced Mobile Phone Services) introduit en 1983 est considéré comme l'exemple le plus représentatif de la première génération.

### 1.2.2.1 Accès multiples de première génération

Dans les systèmes analogiques dits de première génération, FDMA (Frequency Division Multiple Access) est le mode d'accès utilisé. FDMA est intégré dans les systèmes de deuxième et troisième génération de téléphonie mobile ou il cohabite avec d'autre type de multiplexage. Dans cet accès multiple, on alloue à chaque utilisateur une bande de fréquence unique. De ce fait, un seul utilisateur peut se servir de ce canal pendant la période où la communication a lieu. En effet pendant toute la durée de la communication, même si l'utilisateur ne transmet pas, un autre utilisateur ne peut pas se servir de ce canal. La ressource radio élémentaire dans un système FDMA est donc une largeur spectrale finie.

## 1.2.3 Les Systèmes cellulaires de deuxième génération

### 1.2.3.1 Etude du GSM

Les réseaux Global System for Mobile communications (GSM) appartiennent aux réseaux cellulaires 2G. Cette norme utilise le principe de la commutation de circuit. Un chemin physique est réservé par chaque connexion/communication.

L'architecture du PLMN GSM est schématisée à la figure suivante, elle est reliée au PSTN et contient plusieurs types de nœuds comme décrits dans [1]:

- **Base Transceiver Station (BTS)** est une antenne réseau montée sur une station de base. Elle est en liaison radio avec le Mobile Terminal (MT).
- **Base Station Controller (BSC)** est un contrôleur de Base Transceiver Station (BTS), elle gère la bande passante, les ressources radio et contrôle la procédure de relève entre deux BTS.

- **Mobile Switching Center (MSC)** est chargé d'aiguiller le trafic et les informations de contrôle des différents nœuds du réseau. Il gère la localisation des MT (Mobile Terminal) en coordination avec le VLR (Visitors Location Register), l'aiguillage des appels (commutation de circuit), la sécurité en coordination avec le AuC (Authentication Center) et la mobilité (gestion des relèves).

- **Home Location Register (HLR)** est une base de données contenant toutes les informations relatives aux MT appartenant au PLMN de l'opérateur, par exemple : la zone (correspondant à un VLR) courante où se trouve le MT. Elle est unique dans le PLMN.

- **Visitors Location Register(VLR)** est une base de données contenant les informations relatives au MT se trouvant dans la zone qu'elle dessert avec son MSC. Elle contient entre autre la BTS sur laquelle se trouve le MT.

- **Authentication Center** est une base de données contenant les informations de sécurité des MT du PLMN.

- **Equipment Identity Register** est une base de données contenant une liste de tous les International Mobile Equipment Identity (IMEI) des MT enregistrés sur le PLMN.

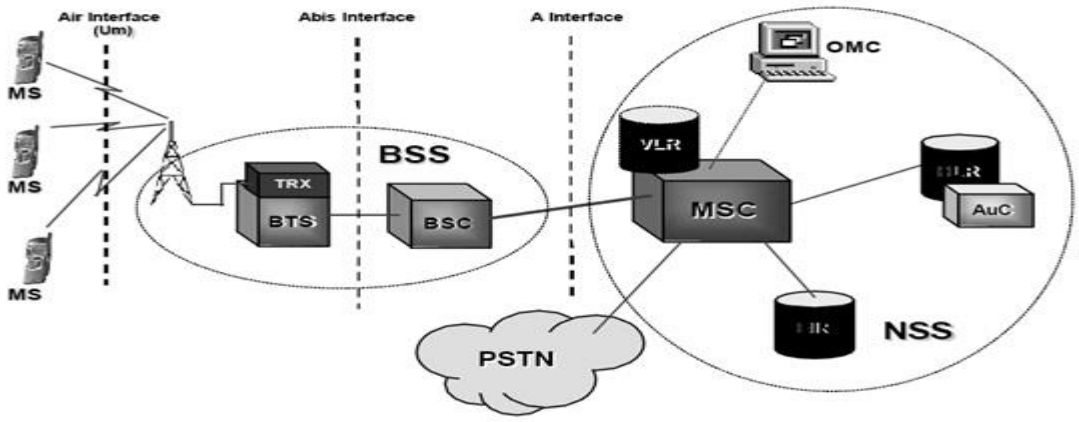



**Figure 2 :** Architecture d'un réseau GSM [W1]

### 1.2.3.2 Accès multiples de deuxième génération

Les systèmes cellulaires de deuxième génération sont hybrides, dans le sens où ils font appel à plusieurs méthodes d'accès multiples. En effet il utilise à la fois les techniques Time Division Multiple Access (TDMA) et Frequency Division Multiple Access (FDMA). Le réseau d'accès GSM s'appuie sur la technique FDD (Frequency Division Duplexing) pour séparer les trafics uplink et downlink. Les bandes de fréquences utilisées initialement sont celles des 900 MHz soit 890 à 915 MHz pour le trafic uplink et 935 à 960MHz pour le trafic downlink. Cette bande de fréquence fût étendue de 10 MHz soit 880 à 915MHz (uplink) et 925 à 960MHz (downlink)**.** Avec la technique TDMA, une même bande de fréquence est partagée par un certain nombre d'utilisateur qui se voient attribuer un intervalle de temps unique. La trame TDMA contient 8 time-slots et les fréquences de transmission et de réception d'un terminal peuvent changer à chaque intervalle de temps. Le réseau GSM offre divers services comme la transmission de la voix (téléphonie, appels d'urgence), les services de messagerie et Fax (transmission alternée voix/fax, Transmission automatique fax). Malgré les services qu'elle offre le GSM est limité par son débit qui ne le permet de proposer des services multimédias.

### 1.2.3.3 Etude du GPRS (General Packet Radio Services)

L'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) propose une extension au réseau GSM appelée GPRS pour répondre à la demande croissante des technologies liées au réseau Internet (mail, web). Le réseau GPRS supporte la commutation de paquets, en utilisant le protocole IP et permet ainsi la connexion du mobile à Internet.

GPRS est aussi appelé le réseau cellulaire 2,5G. Elle propose pour sa première version un débit théorique de 40 Kbps en downlink et 14 Kbps en uplink. Celle-ci fut modifier et offre débit théorique maximal de 171 Kbps évalué en pratique à 60 Kbps. L'architecture du GPRS est similaire à celle du GSM à la différence de l'ajout de deux services (**SGSN, GGSN**) pour la commutation en mode paquet. Ceci constitue un énorme avantage pour les opérateurs avec la diminution du cout de déploiement.

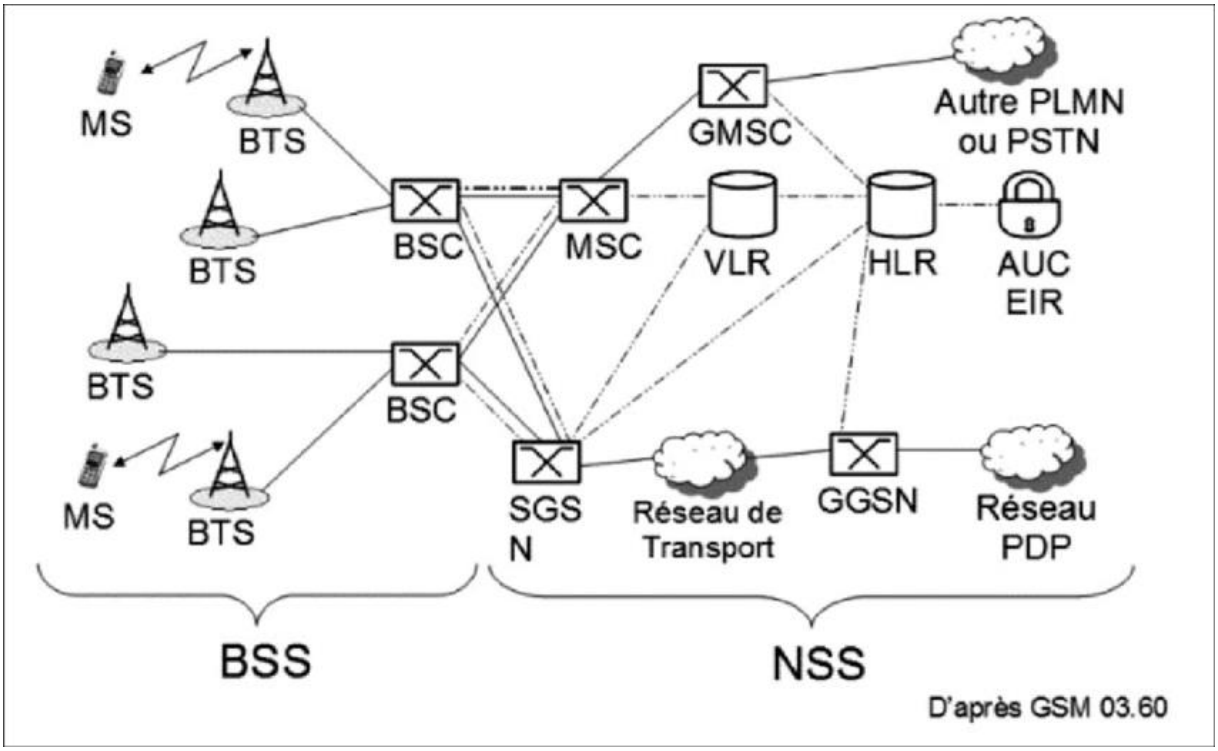



**Figure 3 :** Architecture d'un réseau GPRS [W2]

L'architecture GPRS est reliée au PDP et deux nouveaux fonctionnalités qui permettent l'accès a l'internet :

- **Le Serving GPRS Support Node (GPRS)** est l'équivalent « commutation de paquets » du MSC. Il enregistre la gestion des paquets liés à une zone géographique et des utilisateurs GPRS et assure la gestion de la sécurité et contrôle d'accès.
- **le Gateway GPRS Support Node (GGSN)** est l'équivalent « commutation de paquets » du Gateway MSC (GMSC). Il assure l'interopérabilité avec Internet et le routage de paquets vers les SGSN en fonction des zones de destination et la gestion de sécurité et la localisation des mobiles

L'inconvénient avec le reseau GPRS est qu'il ne fournit pas des services temps réel, c'est pourquoi il n'a pas été jugé intéressant d'implémenter un mécanisme de soft-handover. Le handover se fait donc par déconnexion/reconnexion et peut entraîner des pertes de paquets.

### 1.2.3.4 Etude du EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

Les réseaux GSM/GPRS ont évolué grâce à la technologie EDGE qui permet d'augmenter considérablement les débits disponibles. Cette évolution est couramment considérée comme appartenant aux réseaux mobiles 2,75G et est aussi appelé Enhanced GPRS (EGPRS). Les technologies GPRS et EDGE peuvent partager les mêmes spectres de fréquence.

EDGE introduit l'utilisation d'un nouveau type de modulation, le 8 Phase-Shift Keying (8-PSK) en plus du Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) utilisé dans GPRS. Grâce à ce type de modulation, un terminal EDGE est capable d'atteindre un débit théorique de 384 Kbps. Dans la nouvelle version EDGE Evolution, ce débit est passé à 1,3 Mbps en downlink et 653 Kbps en uplink, le délai est aussi passé sous la barre des 100 ms. Cependant, du fait du support de cette nouvelle modulation les téléphones GPRS ne sont pas compatibles avec EDGE et les BTS doivent subir une mise à jour, l'architecture du réseau restant la même.

## 1.2.4 Les Systèmes cellulaires de troisième génération

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) est le système de communication mobile de troisième génération qui assure une technologie vocale et de données à haute vitesse. C'est un standard développé par le consortium 3GPP. Il suit les spécifications International Mobile Telecommunications 2000(IMT-2000) l'International Telecommunication Union (ITU) dans le sens où il utilise le standard radio W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Il existe cependant de nombreux types d'UMTS et tous n'utilisent pas W-CDMA. UMTS est basé sur IP (Internet Protocol) avec des débits de données de 350 kbps.

L'UMTS appelé aussi 3G nécessite la mise en place de nouvelles antennes, nommée NodeB et d'un contrôleur de nœud nommé RNC. Le NodeB est donc l'équivalent de la BTS utilisée en GSM, mais sur une bande différente, et utilisant une technologie de modulation (HPSK) et une technologie d'accès différentes (W-CDMA).

Le NodeB et le RNC forment l'accès radio UMTS dénommé UTRAN (UMTS TERRESTRIAL Radio Access Network). Ils se rajoutent donc au GERAN (GSM-EDGE RAN). L'UTRAN et le GERAN forment donc maintenant le BSS.

La troisième génération a pour objectif de faire évoluer les systèmes cellulaires de deuxième génération, en termes de capacité et de couverture, que de variété et de qualité de services. Elle est aussi capable d'offrir à l'utilisateur des services multimédias sans fils haute qualité pouvant converger vers les réseaux fixes, cellulaires et par satellites.

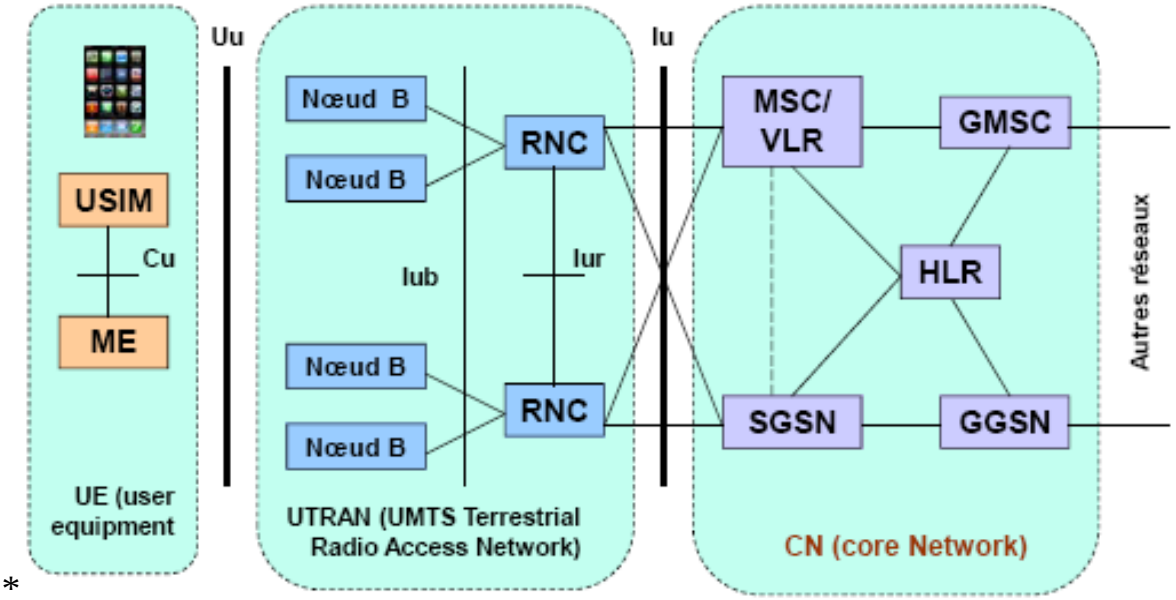



**Figure 4** : Architecture d'un réseau UMTS [W3]

Dans l'UMTS plusieurs services sont proposés afin de répondre aux besoins des utilisateurs .Le tableau ci-dessous montre les différents services offerts par l'UMTS.

**Tableau 1 *:*** Les services UMTS

| Services | Conventionnel | Streaming | Interactif | Background |
|---|---|---|---|---|
| Exemples d'application | Téléphonie, Vidéo téléphonie, Jeux vidéo | Streaming multimédia | Web browsing, jeux en réseau | Téléchargement, emails |

### 1.2.4.1 Accès multiples de troisième génération

L'UMTS n'est pas le seul système cellulaire de troisième génération. L'organisme chargé de règlementer les standards de télécommunication l'UIT avait un objectif de mettre en place un standard unique. Ce standard devait s'appeler FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System). Ce dernier était imprononçable finalement il était remplacé par IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000). Il existe six technologies d'accès radios dans IMT-2000.

Le tableau ci-dessus représente les technologies d'accès 3G reconnues au sein de l'IMT-2000.

**Tableau 2**:Les techniques d'accès radio UMTS [9]

| **Nom de la technologie d'accès radio** | **Nom au sein de l'IMT-2000** |
|---|---|
| | |
| UTRA/FDD<br>Universal Terrestrial Radio Access<br>Frequency Division Duplex | IMT-DS<br>International Mobile Telecommunication<br>Direct Spread |
| UTRA/TDD<br>Universal Terrestrial Radio Access<br>Time Division Duplex | IMT-TC<br>International Mobile<br>Telecommunication<br>Time Code |
| TD-SCDMA<br>Time Division Synchronous<br>Code Division Multiple Access | |
| Cdma2000 | IMT-MC<br>International Mobile<br>Telecommunications Multi Carrier |
| UWC-136<br>Universal Wireless Communications | IMT-SC<br>International Mobile Telecommunication<br>Single Carrier |

| | |
|---|---|
| DECT<br>Digital Enhanced Cordless<br>Telecommunications | IMT-FT<br>International Mobile Telecommunication<br>Frequency Time |

### 1.2.4.2 Etude du HSPA (High Speed Packet Access)

Le standard W-CDMA a évolué et donnant naissance à une nouvelle technologie appelée High Speed Packet Access(HSPA). Elle vise surtout à augmenter la capacité du réseau d'accès. Elle se constitue de deux modules High-Speed Downlink Packet-Data Access (HSDPA) et High-Speed Uplink Packet-Data Access (HSUPA).Ces deux modules permettent d'améliorer les performances en downlink et uplink. Avec le W-CDMA simple, le débit downlink peut atteindre environ 400 Kbps, tandis qu'avec HSDPA celui-ci peut atteindre 7,2 Mbps. On peut remarquer que HSDPA peut être installé sans que HSUPA soit présent, on peut donc avoir un système « semi-HSPA ».

- **HSDPA** introduit un nouveau canal logique nommé High Speed Downlink Shared channel (HS-DSCH) ayant la particularité d'être partagé entre tous les terminaux d'une même cellule. Ainsi la bande passante non utilisée par un terminal n'est pas perdue puisqu'elle peut être utilisée par les autres. Ce partage de canal n'est pas effectué de façon triviale comme avec une file First In First Out (FIFO) par exemple, mais utilise une méthode de scheduling trame par trame basée sur la qualité de réception des UE.
- **HSUPA** apporte approximativement les mêmes modifications en uplink : scheduling, etc. Partager le canal downlink est aisé étant donné que tous les paquets passent par le NodeB avant d'être envoyés par ondes radio. Le NodeB peut facilement choisir sur quel UE envoyer des données. En revanche, cela est plus délicat en uplink étant donné que plusieurs UE peuvent envoyer des informations en même temps sans passer par un point central. La solution utilisée dans HSUPA est de placer le scheduler dans le NodeB, cela implique que les UE envoient régulièrement un rapport sur l'état de leurs buffers et notifient le NodeB

lorsqu'ils veulent envoyer de nouvelles données. Contrairement à HSDPA où un seul UE à la fois est adressé par le NodeB, plusieurs UE peuvent envoyer des données en même temps, ce qui peut provoquer des interférences. Le scheduling effectué par le NodeB permet de s'assurer que les signaux sont toujours décodables, que les interférences ne sont pas trop fortes. Bien que les nouveaux canaux uplink se comportent comme des canaux partagés du fait du scheduling, ils sont en fait dédiés ; c'est le taux d'interférence au NodeB qui est partagé par les UE.

#### 1.2.4.3 Etude du HSPA+

HSPA+ est une autre évolution du standard W-CDMA qui propose des débits pouvant atteindre 42 Mbps en downlink et 11 Mbps en uplink. Il offre de meilleures performances aux services conversationnels et interactifs.

Certaines des principales caractéristiques de la technologie HSPA + sont les suivants :

- HSPA+ permettra d'accroître considérablement la capacité de HSPA ainsi que de réduire la latence qui devient inférieure à 50 ms.
- La première phase de la technologie HSPA+ à 64 QAM fournit des pointes théoriques de 21 Mbps en liaison descendante.
- HSPA+ 64 QAM avec le système MIMO 2X2 peut fournir 11,5 Mbps sur la liaison montante.

### 1.2.5 Les Systèmes cellulaires de quatrième génération

#### 1.2.5.1 Etude du LTE (Long Term Evolution)

Les systèmes de quatrième génération de réseau mobile est une évolution importante par rapport aux réseaux GSM et UMTS. Les normes définissant les réseaux LTE sont issues du 3GPP (3rd Generation Partnership Project) comme les normes UMTS, mais elles introduisent de nombreuses modifications et amélioration.

Le terme LTE désigne la technologie radio utilisée dans le réseau d'accès eUTRAN, celui-ci est prévu pour être attaché au réseau cœur EPC développé par le groupe de

travail System Architecture Evolution (SAE). Le réseau au complet (EUTRAN et EPC) est appelé EPS. Les performances couramment attribuées au réseau LTE sont de 100 Mbps en downlink et 50 Mbps en uplink avec un délai d'aller-retour de moins de 10 ms (minimum de 1 ms). La taille des cellules a elle aussi augmenté, pouvant aller jusqu'à 100 Km en zone rurale, chaque cellule pouvant supporter au minium jusqu'à 200 UE.

La 4G a pour objectif de proposer une capacité accrue et fait appel à une nouvelle technique d'accès à la ressource fréquentiel.

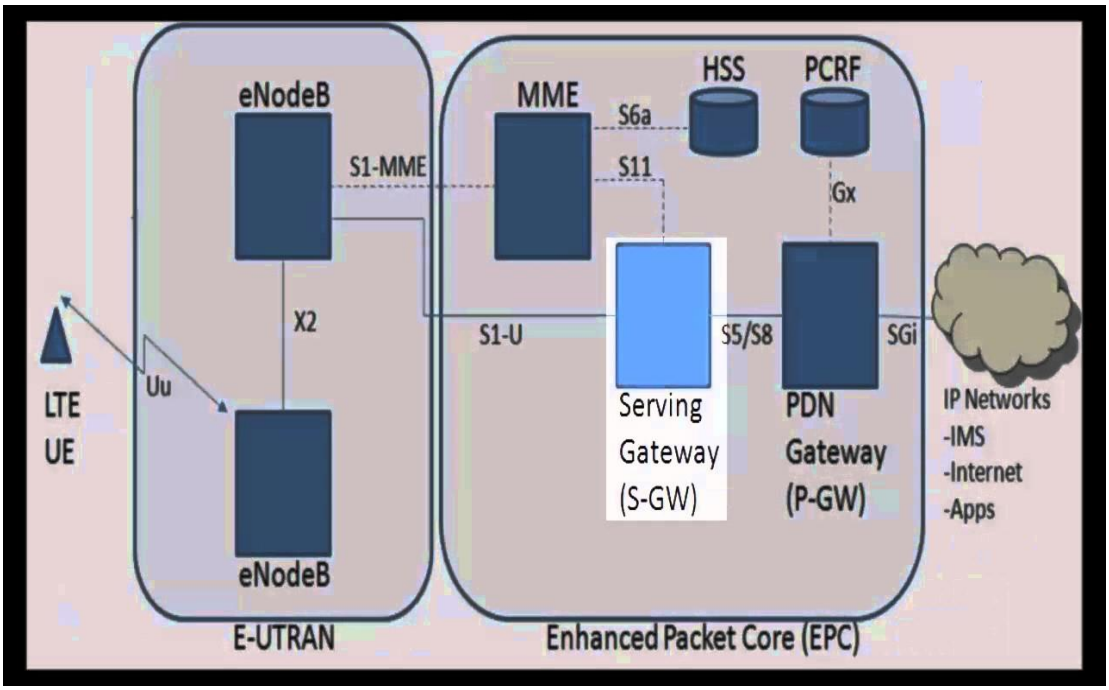



**Figure 5**:Architecture du réseau LTE [W4]

### 1.2.5.2 Accès multiple de quatrième génération

Les réseaux mobiles 4G utilisent les technologies MIMO (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), AAS (Adaptive Antenna Systems), AMS (Adaptive Modulation Schemes), AES (Advanced Encryption Standard) et IP (Internet Protocol).Ces technologies permettent d'atteindre des débits de plusieurs dizaines de mbps et introduisent les principales fonctionnalités nécessaires pour permettre la mobilité à grande vitesse. La technologie MIMO permet de transporter plusieurs flux en parallèle sur des antennes différentes en utilisant la même fréquence .Le principe de cette technologie est l'utilisation de plusieurs antennes,

aussi bien en émission qu'en réception. Les réseaux LTE utilisent en liaison ascendante la version pré-codée de l'OFDM nommée Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA).Ceci pour permettre d'améliorer la couverture et de réduire la consommation d'énergie dans l'amplicateur de puissance et d'offrir de meilleure performance en bordure de cellule. En combinant l'OFDM à un découpage temporel afin d'allouer la bande de fréquence utilisés à des stations différentes dans le temps, on obtient la technologie d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access). Le Wimax utilise une version améliore de l'OFDMA qui permet de diviser la bande de fréquences en plusieurs sous-bandes et d'allouer chaque sous-bande à des stations différentes au fil du temps améliorant l'utilisation des canaux avec la technique d'accès SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access).

### 1.2.5.3 Etude du LTE-Advanced

LTE-Advanced est une norme de réseau mobile de 4e génération qui fait partie des technologies réseaux retenues par l'UIT pour entrer dans le pool IMT-Advanced. Elle représente la « vraie » 4G. Les travaux de normalisation de la version 10 furent achevés en 2011 au sein de l'ETSI et du 3GPP. La LTE-Advanced s'appuie sur la LTE. Par abus de langage, certains parlent de la LTE en considérant que c'est la 4G. En réalité, la LTE est une norme dite 3.9G car elle ne répond pas aux spécifications imposées par la norme 4G.

LTE-Advanced est donc une évolution de la norme LTE tout en gardant une compatibilité ascendante avec elle au niveau des terminaux et au niveau des fréquences.

La LTE-Advanced propose des débits entre 20 Mbps et 100 Mbps à longue portée et en situation de mobilité, et 1 Gbps à courte portée vers des stations fixes.

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

Une des particularités de la 4G est d'avoir un « cœur de réseau » basé sur IP et de ne plus offrir de mode commuté (établissement d'un circuit pour transmettre un appel "voix"), ce qui signifie que les communications téléphoniques utiliseront la voix sur IP.

Le tableau suivant représente une comparaison des technologies 3GPP hors 5G jusqu'à la LTE-Advanced.

**Tableau 3:**Comparaison des générations de réseaux mobiles [2 ,3]

| | **GSM** | **GPRS** | **EDGE** | **UMTS** | **HSPA** | **HSPA+** | **LTE** | **LTE-Advanced** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Débit max UL | 9.6kbps | 14kbps | 1.3mbps | 384kbps | 5.8mbps | 11.5mbps | 50mbps | 100mbps |
| Débit max DL | 9.6kbps | 40kbps | 653kbps | 384kbps | 14.4mbps | 42mbps | 100mpbs | 1gbps |
| Latence | 300ms | 300ms | 300ms | 250ms | 70ms | 30ms | 10ms | 10ms |
| Bande de Fréquence | 900/1800 Mhz | 900/1800 Mhz | 900/1800 Mhz | 900/1200 Mhz | 900/1200 Mhz | 900/1200 Mhz | 800/1600/800 /2600Mhz | 800/1600/800 /2600Mhz |
| Largeur de canal | 200khz | 200khz | 200khz | 5mhz | 5mhz | 5 mhz avec possibilité de deux canaux simultanés | 5-20MHZ | 5-20MHZ |
| Technique d'accés multiple | FDMA/TDMA | FDMA/TDMA | FDMA/TDMA | CDMA | CDMA/TDMA | CDMA/TDMA | OFDMA SC-FDMA | OFDMA SC-FDMA |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modulation DL | GMSK | GMSK | GMSK | QPSK | QPSK ,16QAM | QPSK ,16QAM | 16 QAM, 64 QAM et 256 QAM | , 64 QAM et 256 QAM |
| Modulation UL | 8PSK | 8PSK | 8PSK | BPSK | BPSK, QPSK | 64QAM BPSK, QPSK, 16QAM | QPSK, 16QAM et 64QAM | 16QAM et 64QAM |
| Application | Voix, Sms, Fax | Données | Données | Haute qualité, vidéo et donnée, audio | Haute qualité, vidéo et donnée, audio | Haute qualité, vidéo et donnée, audio | Services incluant la téléphonie IP et la télévision IP | Services incluant la téléphonie IP et la télévision IP |

## 1.3 Etudes des technologies V2X

### 1.3.1 Définition de la voiture autonome

La forte augmentation du nombre de véhicules ces dernières années a rendu la conduite plus difficile et dangereuse. De plus en plus la route devient meurtrière et fait de nombreuses victimes. Ainsi les constructeurs automobiles, motivés par cette baisse proposent la voiture autonome, voiture ressemblant aux voitures actuels qui se déplace de façon sécuritaire pour les passagers comme pour les autres usagers de la route.

Une voiture autonome est une voiture bardé de capteurs qui communique et appréhende son environnement aux travers de ses capteurs. Il ingère alors une certaine quantité de donnée, la traite de façon à prendre une décision quant à sa direction, son accélération et son freinage.

La voiture autonome se regroupe dans les Systèmes de Transports Intelligents et permet d'améliorer la mobilité des personnes, la sécurité, l'efficacité, et la fiabilité.




**Figure 6**:Fonctionnement des STIs [W5]

Le véhicule autonome est équipé de capteurs LIDAR (light detection and ranging) pour la détection de lumière et l'estimation de distances, des systèmes de vision (radars et

caméras) qui lui permet de visualiser l'environnement qui l'entoure pour échanger des informations à courtes et longues distances [W6].

L'échange d'information entre les véhicules et l'infrastructure s'appelle le V2X, pour Vehicule to Everything.

La communication entre véhicule et infrastructure nécessite une connexion aux technologies sans fil (Wi-Fi, réseaux cellulaires) .Ces derniers augmentent la bande passante, la portée de communication et réduit considérablement la latence.

## 1.3.2 Types de capteurs dans la voiture autonome

Les capteurs embarqués dans les voitures autonomes sont dites capteurs intelligents et ils possèdent certaines caractéristiques :

- ✓ Le système est un dispositif destiné à la mesure
- ✓ Il est réalisé en technologie numérique
- ✓ Il possède des moyens de communication bidirectionnelle
- ✓ Il est doté de capacités de traitement

### 1.3.2.1 Les lidars

Une voiture autonome possède un ou plusieurs Lidars qui lui permettent de recueillir des données sur la distance des objets environnants jusqu'à 150m par le biais de lasers qui scannent à 360°. Ils utilisent le principe très simple des mesures laser. Le lidar va envoyer une multitude de rayons laser dans l'environnement présent autour de la voiture. Ces rayons laser vont ensuite rebondir sur les obstacles et revenir dans le récepteur du lidar qui va calculer la distance avec l'obstacle de manière très précise, à partir de la vitesse que le rayon met pour effectuer le trajet émetteur récepteur. Les données recueillies sont sous forme de milliers de points. Cela permet de détecter les objets et de les catégoriser: voitures, feux de signalisation, usagers piétons, arbres etc.

### 1.3.2.2 Les caméras

Elles sont présentes pour détecter les obstacles proches de la voiture. Leur rôle est de confirmer les informations reçues par les autres capteurs. Ils sont aux nombres de quatre dans la voiture autonome. La caméra frontale filme des flux vidéo en avant de la voiture.

Les deux caméras latérales gauches et droites recueillent les informations sur le côté. La caméra arrière informe la voiture de ce qu'il voit derrière lui.

#### 1.3.2.3 Les Ultrasons

La voiture autonome possède de multiples capteurs à ultrasons qui permettent de détecter les obstacles proches. Ils sont utiles pour garder une certaine distance avec l'objet ou l'obstacle présent devant la voiture, derrière la voiture ou sur les côtés.

#### 1.3.2.4 Les radars

La voiture se constitue aussi de radars qui permettent de détecter des obstacles plus loin que ceux détectés avec les capteurs à ultrasons. Ils utilisent les ondes électromagnétiques pour évaluer les distances entre l'obstacle et le véhicule.

#### 1.3.2.4 Capteurs de mouvement et de position

Les voitures autonomes ne peuvent circuler en toute sécurité que s'ils connaissent en permanence leur localisation précise, et cela de manière fiable et au centimètre près. Le capteur dispose entre autres d'une unité réceptrice pour les signaux du système de positionnement par satellites (GNSS), qui sont nécessaires à la détermination de la position absolue d'une voiture autonome. La voiture autonome est localisée en premier lieu sur la base des signaux GNSS corrigés. En cas d'interruption de la liaison par satellite, lorsque la voiture entre dans un tunnel par exemple, le capteur de mouvement et de position peut poursuivre la détermination de la position du véhicule automatisé pendant quelques secondes [W7]. Cela nécessite de calculer la position relative du véhicule à partir de la dernière information de position absolue connue

### 1.3.3 La technologie V2V

Ce type de communication fonctionne à l'aide des dispositifs installés dans les véhicules appelés OBU (On-Board Unit), suivant une architecture décentralisée. Il est semblable au type de communications entre les nœuds mobiles des réseaux MANETs. La communication entre deux véhicules se fait directement, en mode Ad hoc inter-véhiculaire. Ils n'ont pas besoin de faire appel aux infrastructures pour pouvoir communiquer entre eux. À condition que chaque véhicule soit à la portée de l'autre (zone radio). Sinon, ils font appel à d'autres véhicules, qui vont jouer le rôle d'un pont

(intermédiaire) pour eux. Ce type de transmission est appelée communication à multi-sauts.



**Figure 7 :** Communication Vehicule to Vehicule [W8]

### 1.3.4 La technologie V2I

La communication véhicule à infrastructure (V2I) est aussi appelée une communication en mode infrastructure. Ce mode de communication est assuré grâce aux différentes entités du réseau VANETs. En effet, les OBUs (On-Board Unit) des véhicules, les RSUs (Road Side Unit) placés aux bords des routes et même les TA (Trusted Authority) contribuent tous entre eux pour assurer les communications dans le réseau véhiculaire. Ce mode de communication assure une connectivité relativement forte par apport à la communication en mode V2V (véhicule à véhicule). Comme il assure une meilleure utilisation des ressources du réseau.

Ainsi, elle permet aux véhicules de bénéficier de plus de fonctionnalités et services comme l'accès à l'Internet et les informations météorologiques.

La technologie V2I utilise le WI-FI, le réseau mobile (3G/4G) ou le Wimax leur permettant de s'informer sur l'état du feu et sur la durée de cet état permettant alors une adaptation de la vitesse du véhicule et ainsi une amélioration de la fluidité.




**Figure 8**: Communication Vehicule to infrastructure [W9]

## 1.4 Etude de réseau véhiculaire : VANET

VANET est la forme abrégée de «Vehicular Adhoc NETwork». Elle appartient à la famille des réseaux mobiles MANET. Un réseau VANET se constitue d'un ensemble d'objets mobiles qui communiquent entre eux à l'aide de technologie a court portée (Infrarouge,Zigbee, Bluetooth), portée moyenne (DSRC ,CALM,WI-FI) et à longue portée(Wimax,microware,système cellulaire).De telles technologies de communications permettent aux véhicules de recevoir et de transmettre des informations de ses voisins ou d'autres plus distants.

Un réseau ad hoc de véhicules est constitué de trois unités de communications.

### ❖ OBU (On Board Unit)

On Board Unit (OBU) est une unité embarquée dans les véhicules intelligents. Son rôle est de permettre aux véhicules de se localiser, calculer, enregistrer et envoyer des messages sur une interface réseau à l'aide d'un ensemble de programmes. Elle contient des composants logiciels et matériels de hautes technologies (radar, GPS, capteurs, caméras et autres) permettant le routage géographique, le contrôle de la congestion et la diffusion des informations sur le réseau.

### ❖ RSU (Road Side Unit)

Les Road Side Unit (RSU) sont des entités situées et installées au bord de la route. Elle se constitue de lampadaires, des feux et panneaux de signalisation etc.

Les RSU peuvent aussi jouer le rôle de station de base en relayant l'information envoyée par un véhicule

### ❖ TA (Trusted Authority)

La TA est un serveur de stockage et de transaction des entités du réseau (OBU et RSU). Sa mission est de connaître les vraies identités des véhicules et de les divulguer vers les entités du réseau.

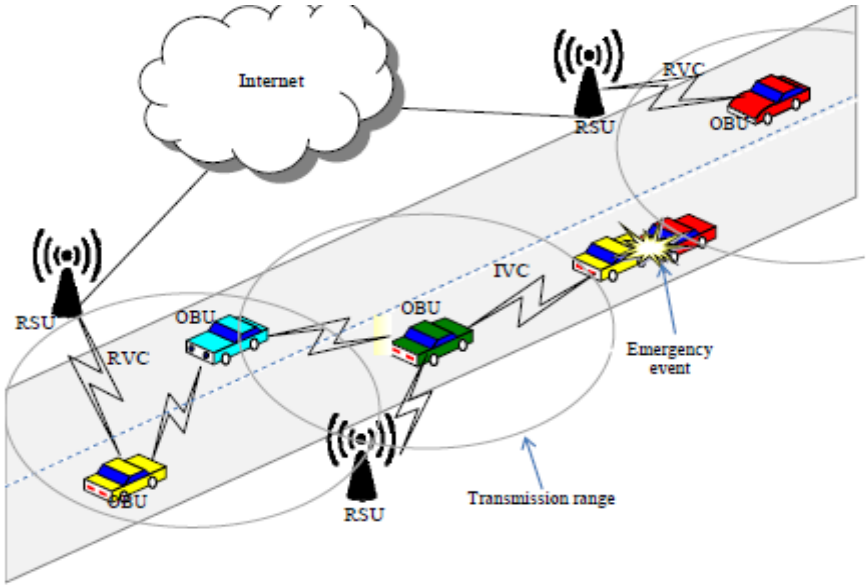



**Figure 9**: Composants d'un VANET [W10]

## 1.4.2 Caractéristiques des réseaux de véhicules [4]

Les VANETs sont des réseaux auto-organisés et distribués, où les véhicules se déplacent avec des vitesses variables suivant des trajectoires prédéfinies.

Ces réseaux ont des caractéristiques saillantes (forte mobilité, énergie illimitée, mouvements prédéfinis, sécurité limitée) qui le distinguent des autres réseaux ad hoc.

### ❖ Forte mobilité

La vitesse des nœuds dans un réseau ad hoc de véhicules peut atteindre 140 km/h. Cette mobilité affecte négativement la connectivité et diminue la durée de vie des liens établies. Par conséquent, n'importe quel véhicule peut entrer ou quitter le réseau dans un très court délai.

### ❖ Environnements de routage et modèles de mobilité

En raison de la grande vitesse des véhicules, la transition d'un environnement à un autre est inattendue. Chaque environnement diffère des autres par sa densité et la vitesse de ses nœuds. Pour cela, il est très difficile de trouver un protocole pratique à toutes les situations possibles.

### ❖ Capacité de traitement et puissance de la batterie

Contrairement aux autres types de réseaux qui ont des problèmes d'alimentation et de stockage, les nœuds dans VANET n'ont aucune limitation en termes d'énergie et de mémoire. En roulant chaque véhicule produit une énergie électrique continue permettant une capacité de traitement élevée.

### ❖ Échange fréquent d'informations

La nature ad hoc des réseaux véhiculaires motive les nœuds pour recueillir des informations auprès des unités de bord de la route et des autres véhicules. Ainsi l'échange d'informations entre les nœuds devient très fréquent.

### ❖ Communication sans fil

Dans les VANETs, l'échange des données entre les nœuds est sans fil. Par conséquent, la sécurité des messages transmis est un défi majeur qui doit être pris en compte lors de la conception des protocoles de communication.

### ❖ Temps critique

Les informations circulant dans un réseau véhiculaire doivent être transmises avec une limite de temps afin que les nœuds puissent prendre les décisions proactives et effectuent l'action en conséquence. Les informations routières sont souvent disponibles à partir d'une carte géographique et d'un système de positionnement comme le GPS (Global Positioning System).

### ❖ Mobilité prévisible

Contrairement aux autres réseaux mobiles, les véhicules suivent des mouvements restreints aux voies de circulation. Les informations routières sont souvent disponibles à partir d'une carte géographique et d'un système de positionnement comme le GPS (Global Positioning System).

En effet, compte tenu de la direction, de la trajectoire de route et de la vitesse moyenne, on peut prédire la position future d'un véhicule.

## 1.4.3 Les types de messages

Les différents messages échangés dans les réseaux VANETs peuvent être facilement classés, selon leurs utilités et leurs contenus, en deux grands types de message : message lié à la sécurité et message à valeur ajoutée.

## 1.4.3 .1 Message lié à la sécurité

L'objectif principal de la naissance des réseaux VANETs était la sécurité des usagers de la route. Ainsi on trouve deux types de messages de sécurités :

### ❖ Le message beacon

Ce type de message contient souvent des informations relatives à l'identité et à l'état actuel du véhicule (Position, vitesse, direction et autres), il est diffusé périodiquement et est utilisé principalement pour permettre l'identification du voisinage. Ce type de message joue un rôle primordial dans la plupart des protocoles de routage et de sécurité.

### ❖ Le message d'alerte (d'urgence)

Ce type de message est envoyé pour prévenir les autres véhicules de différentes urgences et des catastrophes sur la route (accident, congestion de la circulation, information météorologique, passage d'un véhicule de secoure et autres), afin qu'ils aient plus de temps pour agir. Ce type de message aide à améliorer la circulation et la sécurité routière.

## 1.4.3.2 Message à valeur ajoutée

Ce type de message peut contenir n'importe qu'elle autre information ou donnée. Il peut contenir des informations sur des services. Comme l'endroit des restaurants ou des

hôtels. Il peut aussi contenir des données multimédias ou n'importe quelle donnée ou information, qui peut améliorer le confort des usagers de la route.

## 1.5 Conclusion

Au terme de ce premier chapitre nous avons présenté un aperçu des technologies cellulaires et véhiculaires afin de comprendre le fonctionnement des réseaux véhiculaires et leurs interactions avec les réseaux mobiles. Dans le chapitre suivant, nous étudierons les caractéristiques de la technologie 5G et du network slicing et leurs performances dans le domaine urbain.

# CHAPITRE 2: Les caractéristiques et performances de la 5G dans le domaine urbain

## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les caractéristiques de la cinquième génération de réseau mobiles puis nous étudierons les performances qu'ils offrent dans le domaine urbain.

## 2.2 Etude de la technologie 5G

La 5G correspond à la prochaine génération de réseaux de téléphonies mobiles. Elle prendra le relais de la 4G-ADVANCED et est retenue dans les technologies de l'UIT. L'UIT-R lance IMT-2020 qui représente l'autorité chargée de travailler sur les bases de la 5G.

Cette nouvelle technologie permettra aux appareils mobiles (smartphones, tablettes) et objets connectés d'envoyer et de recevoir des données en grande quantité.

### 2.2.1 Architecture de la 5G

Le projet de partenariat de troisième génération (3GPP) couvre les technologies de télécommunication, notamment l'accès radio, les réseaux de transports principaux et les capacités de services. Cette organisme fournit des spécifications complète pour l'architecture de réseau 5G, beaucoup plus orientés services que les générations précédentes.

La couche d'accès de la 5G est appelé nouveau RAN et se constitue de deux nœuds logiques que sont : [W11]

- gNBs qui représente le nouveau NodeB et implémente la nouvelle radio
- ng-eNB est une évolution d'eNB qui prend en charge la connectivité à EPC et 5GC (réseau cœur 5G) mais qui n'implémente que la radio LTE.

L'utilisation des stations gNBs et ng-eNB dans le réseau d'accès 5G implique la double connectivité. Ce dernier signifie que le mobile UE va établir simultanément deux supports radios RAB (Radio Access Bearer).

Le déploiement de la radio 5G se fait en modes non-standalone (NSA) ou standalone (SA).

Dans la version NSA, la New Radio (gNodeB ou gNB) est colocalisée avec l'eNodeB (eNB) et se connecte au réseau cœur 4G (ePC) via l'interface S1-U (voir figure 10) pour le trafic du plan usager. Elle permet d'assurer la gestion de la mobilité et la couverture tout en y ajoutant une nouvelle porteuse 5G. Dans ce mode NSA, la radio 5G agit comme une radio secondaire donc le but est de booster le débit et la capacité.

La version 5G NR SA, quant à elle, implique la prise en charge de l'intégralité du plan de contrôle et du plan utilisateur 5G NR sur la base d'une architecture de cœur de réseau 5G (telle que le définie la 3GPP).

Il est à noter que les spécifications de la 5G NR sont conçus de telle sorte qu'elles pourront prendre en charge le fonctionnement de la 5G en modes NSA et SA de manière uniforme, afin d'éviter une fragmentation du futur écosystème. [W12]

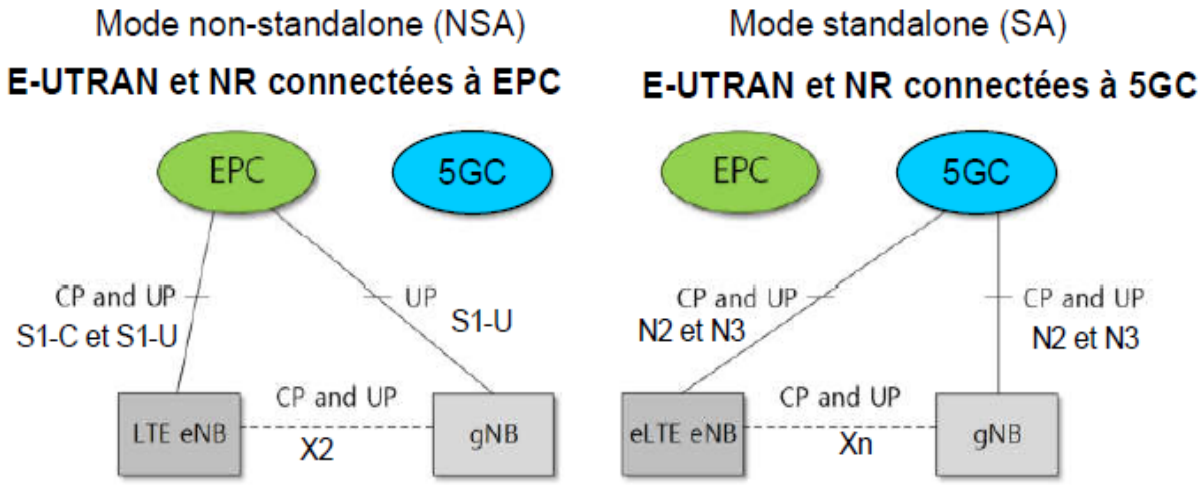



**Figure 10:** Mode SA et NSA de la 5G [W13]

## 2.2.2 Objectifs de la technologie 5G

La cinquième génération de réseau mobile offre un débit utilisateur et maximal respectivement 10 et 20 fois supérieur à ce qui est disponible actuellement avec la 4G.

La 5ème génération vise à améliorer l'efficacité énergétique et assure une connexion stable même en mobilité .Elle offre aussi un réseau extrêmement fiable, avec des performances plus homogènes, quelle que soit la position de l'utilisateur par rapport à la station de base. L'objectif de cette technologie est aussi de réduire considérablement la latence favorisant l'émergence des applications critiques notamment dans le domaine

urbain. La 5G n'assure pas la CS-Fallback donc le handover entre 5G-RAN et GERAN (2G) ou entre 5G-RAN et UTRAN (3G) n'est pas définie.

Le tableau ci-dessous compare la 4G LTE-Advanced et la 5G.

**Tableau 4 :** Comparaison entre les performances de la 4G LTE-Advanced et la 5G [6]

| **Performances/ Génération** | **LTE-Advanced** | **5G** |
|---|---|---|
| Débit maximal (Gbps) | 1 | 20 |
| Débit utilisateur (Mbps) | 10 | 100 |
| Efficacité spectrale | 1X | 3X |
| Mobilité (km/h) | 350 | 500 |
| Latence (ms) | 10 | 1 |
| Nombre d'objets connectés sur une zone (quantité d'objets/km2) | 100000 | 1000000 |
| Efficacité énergétique du réseau | 1X | 100X |
| Capacité de débit surfacique (Mbps/km2) | 0.1 | 10 |

Ces critères de comparaison, appelés aussi indicateurs de performances (KPIs) sont définis par l'UIT. Ils permettent de quantifier, de mesurer les caractéristiques des cas d'usages des systèmes 5G.

- Débit maximal : Elle fait référence au débit crête par utilisateur .Les exigences de 5G pour un débit de données sont de 20Gbits/s dans le sens Downlink et 10Gbits/s dans le sens Uplink.
- Débit utilisateur : Elle renvoie au débit de données réalisable à travers la zone de couverture à un utilisateur ou un appareil mobile en Mbps. Ce KPI représente une sorte d'expérience utilisateur dans la zone de couverture. Cette exigence est définie par l'UIT-R et est fixée à 100Mbps en Downlink et 50Mbps en Uplink.
- Efficacité spectrale : Elle se définit comme étant le débit de données maximal dans des conditions idéales normalisées par la bande passante du canal, en bit/s/Hz. L'objectif fixé par l'UIT-R est de 30bit/s/Hz en

Downlink et 15bit/s/Hz en Uplink. La combinaison de cet indicateur clé de performance et de débit maximal susmentionné entraîne la nécessité de 1 GHz de spectre pour répondre aux exigences énoncées, le minimum de bande étant de 100 MHz

- Mobilité : Il s'agit de la vitesse maximum à laquelle les terminaux peuvent se déplacer en garantissant leur mobilité sans perte de la communication courante. Ils existent quatre classes de mobilité sont considérées le stationnaire (0 km/h), à pied (0km/h à 10km/h), le déplacement en véhicule (10km/h à 120km/h) ou à haute vitesse (120km/h à 500km/h).
- Latence : Elle est variable selon le cas d'usage et est fixée de 4ms dans les services eMBB et à 1ms dans les services uRLLC
- Nombre d'objets connectés sur une zone : Elle correspond au nombre total d'objets connectés accessibles par unité de surface. L'UIT-R a spécifié un objectif de 1 million dispositifs par km2 pour des communications de type machine.
- Efficacité énergétique du réseau : Elle représente la quantité de bits d'information transmise aux usagers ou reçue des usagers, par unité de consommation d'énergie du RAN, et du côté des appareils se réfère à la quantité de bits d'information par unité de consommation d'énergie du module de communication.

### 2.2.3 Catégories d'usages de la 5G [W4]

L'IMT-2020 définit trois cas d'usages avec leurs exigences propres et incompatible entre elles, leur permettant de répondre au besoin métier.

#### 2.2.3.1 Objectifs de l'eMBB

L'ultra haut débit (eMBB) concerne tous les applications et services qui nécessitent une connexion toujours plus rapide, pour permettre par exemple de visionner des vidéos en ultra haute définition (8K) ou de « streamer » sans-fil des applications de réalité virtuelle ou augmentée.

### 2.2.3.2 Objectifs de l'uRLLC

Les communications ultra-fiables à très faible latence (uRLLC) regroupent toutes les applications nécessitant une réactivité extrêmement importante ainsi qu'une garantie très forte de transmission du message. Ces besoins se retrouvent principalement dans le domaine urbain (temps de réaction en cas de risque d'accident, par exemple), dans la médecine (télé chirurgie) et, de manière générale, pour la numérisation de l'industrie.

### 2.2.3.3 Objectifs de l'mMTC

Le premier groupe (mMTC) englobe principalement tous les usages liés à l'Internet des objets. Ces services nécessitent une couverture étendue, une faible consommation énergétique et des débits relativement restreints. L'apport annoncé de la 5G par rapport aux technologies actuelles réside dans sa capacité à connecter des objets répartis de manière très dense sur le territoire.

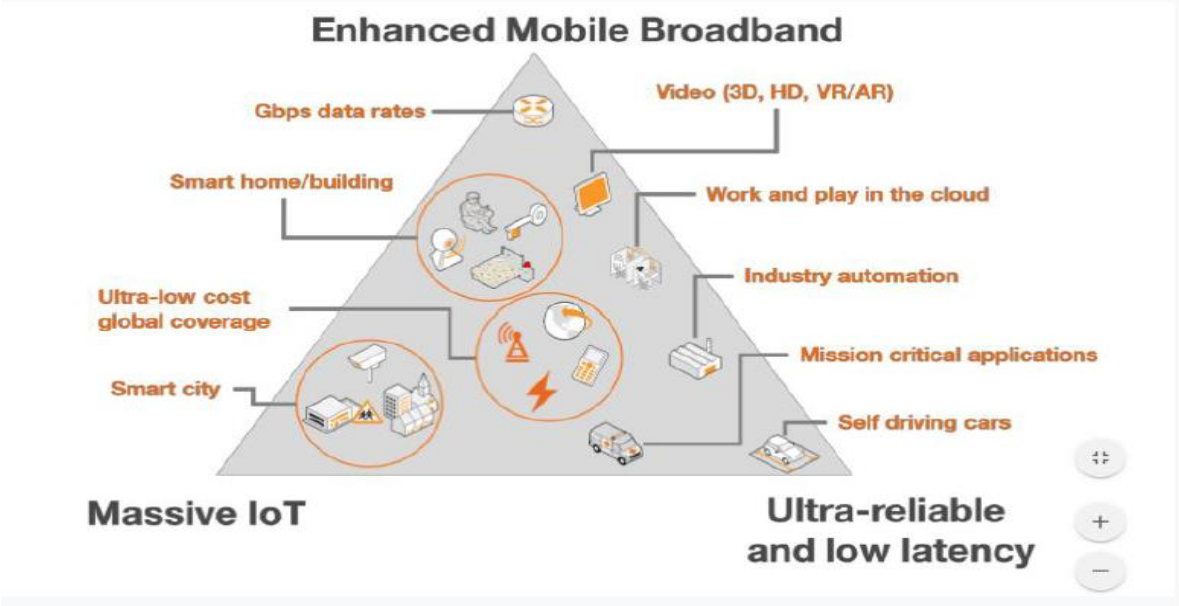



**Figure 11 :** Les cas d'usages de la 5G [W14]

## 2.4 Caractéristiques techniques 5G

La 5G se différencie pour l'essentiel, par une série d'amélioration technique qui répond aux besoins des usagers. Ces innovations sont :

### ❖ La bande de fréquence

Les bandes de transmission de porteuses se divisent en trois catégories principales :

### ✓ La bande au-dessous de 1Ghz

Cette bande est aussi appelé basse fréquence en 5G. Elle comprend des fréquences partiellement utilisé dans les générations précédentes (2G/3G/4G). Ces bandes permettent une large couverture dans les zones urbaines et rurales et une amélioration du débit. Elle permette aussi une aide dans la mise en place des services de l'internet des objets.

### ✓ La bande des 1-6Ghz

C'est une bande de fréquence très encombrés du fait de la multiplicité des objets connectés. Plus le nombre d'objets connectés augmente plus la capacité du réseau se dégrade ce qui provoque une lenteur dans le temps de réaction.

### ✓ La bande au-dessus des 6Ghz

C'est la bande qui traite une quantité importante de donnés et assure un temps de réaction interseptible dans les applications critiques notamment dans la conduite autonome. Les hautes fréquences permettent d'une part de faire passer plus d'information par seconde, et d'autre part d'augmenter le nombre de canaux de transmissions. Ces deux améliorations permettent de désengorger le réseau.

## ❖ Bandes Millimétriques

La forte consommation de données dans la conduite autonome nécessite l'utilisation des fréquences au-delà des 24Ghz. Cette bande de fréquence favorise l'augmentation du débit de donnés et par conséquent une diminution du temps de latence. Les ondes millimétriques ne peuvent pas traverser les bâtiments, elles sont à plus petites portées et

ont tendances à être absorber par des obstacles (arbres, pluies). Ce qui constitue un problème.

### ✓ Les smalls cells

Ce sont des antennes en miniatures qui contournent les obstacles causées par la propagation d'onde millimétrique. Avec la multiplication des small cells, les ondes millimétriques ne se heurteront plus à des obstacles, elles seront donc totalement efficientes. Les small cells sont de petites tailles, et peuvent être placés dans les zones denses tous les 300 mètres, sur les infrastructures routières (feu tricolores, panneau de signalisation etc…). Ce réseau de petites antennes permettent de garder une bonne connexion lorsque la voiture se déplace et passe derrière un obstacle.

### ❖ Massive MIMO

La technologie aux entrées multiples et sorties multiples MIMO existe avec la quatrième génération de réseaux mobiles. C'est une technologie qui peut contenir une douzaine d'antennes [W15]. Sur une même fréquence, les antennes MIMO doivent alterner la transmission et la réception. Elles ne sont pas capables de faire les deux simultanément.

La cinquième génération de réseaux mobiles propose une nouvelle technologie qui s'intitule Massive MIMO. Ce dernier peut gérer des centaines de connecteurs pour connecter des milliers d'objets. Les antennes Massive MIMO sont capables d'envoyer et de recevoir des données en même temps à l'aide de la technologie Full Duplex.

### ❖ Beamforming (ondes focalisantes)

Le beamforming est une technique de traitement du signal de la 5G. En effet elle permet de faire converger les ondes émises par une antenne en directions des objets spécifiques. C'est une technologie qui permet aux antennes Massives MIMO de fonctionner comme un phare directionnel.

Avec le beamforming, le signal est adapté aux besoins de l'utilisateur. Car, plutôt que d'émettre en permanence, les antennes Massive MIMO 5G émettent seulement quand cela est nécessaire. Cela représente donc un gain d'énergie considérable.

## 2.5 Appréhension de la voiture autonome dans son environnement

Les systèmes de véhicules autonomes vont produire d'énormes quantités de données de différents types : des données fournies par les capteurs embarqués sur les véhicules, des données de localisation, des flux d'images, mais aussi des courriers électroniques, des SMS, des données de divertissements. Un véhicule autonome connecté pourrait ainsi produire jusqu'à 1 Go de données par seconde. Les données collectées, lui permettront de percevoir son environnement, de l'analyser et de l'interpréter et de prendre la décision afin qu'il puisse naviguer dans les conditions efficientes.

### 2.5.1 Perception de l'environnement

Le véhicule autonome doit être capable de détecter et d'identifier tous les objets fixes ou mobiles de son environnement : les signalétiques verticales (feux tricolores, panneaux de signalisation.) et horizontales (marquages de zones, lignes de stop ou de cédez-le-passage), les autres véhicules, et les usagers et objets de la route. La détection des objets se fait par la fusion des capteurs issus des radars, lidars et caméras permettant une compréhension complète de la scène. En effet les capteurs, à l'aide de dispositifs radio intégrés émettent des informations vers l'antenne Mu-MIMO. Ce dernier se constitue de plusieurs canaux ou connexions lui permettant de recevoir et d'envoyer des

informations simultanément. Cette antenne doit avoir une bande de fréquence suffisamment important (>24Ghz) pour répondre à la demande continue des capteurs. L'émission et la réception sur les antennes Mu-MIMO permet de concentrer la puissance émise dans une direction (Beamforming) et ainsi améliorer les performances de transmissions. Lorsque la demande est reçue par l'antenne, celle-ci lui alloue un débit important par conséquent une latence faible afin que l'on ait une vitesse de traitement rapide.

### 2.5.2 Analyse des données reçues

Pour que la voiture autonome puisse naviguer dans de bonne condition il faut qu'il puisse identifier les obstacles et les classifier (piétons, vélos, motos, bus, camions). Ceci est possible grâce aux caméras embarquées dans la voiture qui confirme à temps réel les données reçus des capteurs. L'utilisation d'algorithme est donc nécessaire pour donner un sens aux donnés issues des capteurs et caméras en fournissant une représentation détaillée de l'environnement autour de la voiture autonome. Ainsi on note plusieurs algorithmes qui permettent à la voiture d'identifier à temps réel les objets.

#### ❖ Tensorflow

Tensorflow a une démarche d'intelligence artificielle avancées et de grande échelle dans les domaines de l'apprentissage automatique et profond. Il a été développé par GoogleCar [W16].C'est un algorithme très utilisé pour la détection d'objets et est déployé dans le logiciel informatique. La caméra embarquée, envoie en permanence des images vers le système d'information .Lorsque la caméra importe les images dans l'application celle-ci exécute la tâche d'inférence localement. Le modèle pré-entrainé envoie les libellés des objets détectés ainsi que les coordonnées d'image des objets correspondants. A l'aide de ces valeurs, l'application génère de nouvelles images contenant des rectangles autour des objets détectes. Des images séparées sont générés pour chaque catégorie d'objets permettant à la voiture autonome de distinguer les objets sélectionnés.

Le diagramme suivant montre le processus de l'objet depuis sa détection jusqu'à sa catégorisation.

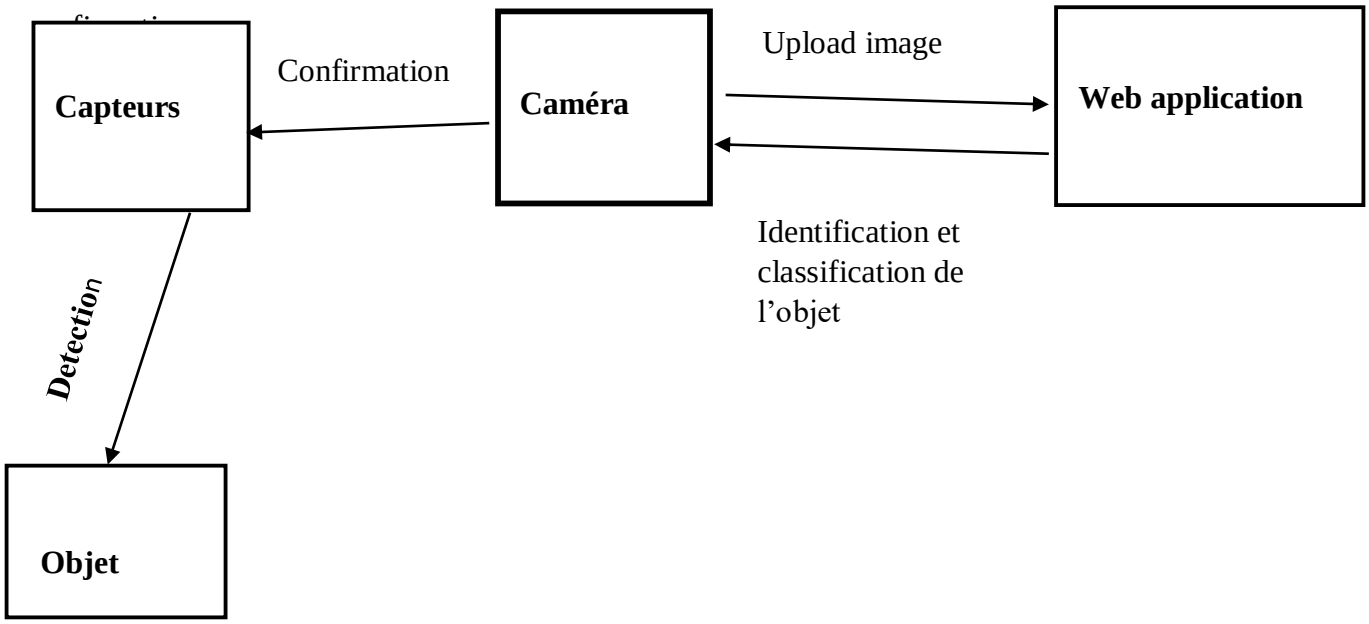



**Figure 12:**Processus de detection d'objet

Dans l'analyse d'objet la 5G agit au niveau applicatif en permettant un traitement rapide de l'image.

### ❖ VoxelNet

VoxelNet est un algorithme développé par Apple [W17] dans la conception de voiture autonome avec une reconnaissance des objets en 3D. C'est un programme qui permet de détecter les voitures, les cyclistes et piétons. La détection d'image se fait à l'aide de capteurs lidars qui fournit des informations de profondeurs fiables pouvant être utilisées pour localiser avec précision les objets et caractériser leurs formes. VoxelNet divise l'espace en nuages de points, lesquels points sont regroupés selon leur mouvement pour déterminer le volume et la vitesse de l'élément qui se déplace. Les données sont ensuite transmises à un réseau de neurones qui se charge d'en déterminer le genre piéton, cycliste, voiture etc.

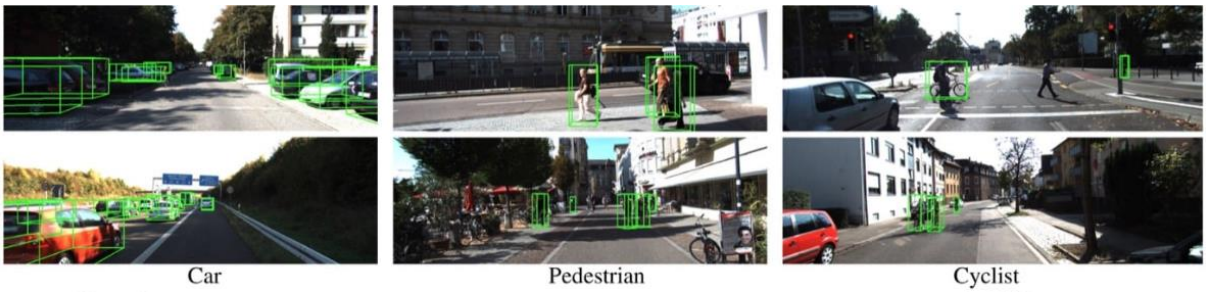



**Figure 13**:Reconnaissance 3D détecté par Lidar [W26]

### ❖ Les réseaux de neurones convolutif (CNN ou ConvNET)

Les CNNs font parties des algorithmes les plus sollicités dans des applications embarquées telles que la détection d'objets pour les voitures autonomes. L'algorithme nécessite un temps de réponse très court pour la classification d'objet. Les images émises des caméras sont transmises au CNN, qui apprend automatiquement les caractéristiques des objets et les classent. Elles se composent d'une couche d'entrée, d'une couche de sortie et de nombreuses couches intermédiaires, qui apprennent chacune à identifier différentes caractéristiques d'un objet. Toutes ces couches effectuent des opérations qui modifient les données dans l'objectif d'apprendre les caractéristiques spécifiques à ces données. Les trois types de couches les plus répandus sont les suivants : convolution, activation ou ReLU et pooling.

- ✓ La couche de **convolution** fait passer les images d'entrée par un ensemble de filtres convolutifs, chacun de ces filtres activant certaines caractéristiques des images [W18].
- ✓ La couche **ReLU (Rectified linear unit)** permet d'accélérer et d'optimiser l'apprentissage en mappant les valeurs négatives à zéro et en conservant les valeurs positives. Elle est parfois appelée couche d'activation, car seules les caractéristiques activées sont transférées dans la couche suivante.
- ✓ La couche de **pooling** simplifie la sortie en effectuant un sous-échantillonnage non linéaire, réduisant ainsi le nombre de paramètres que le réseau doit apprendre.

La couche classification est la couche de sortie qui permet d'identifier d'objet reçu en input.

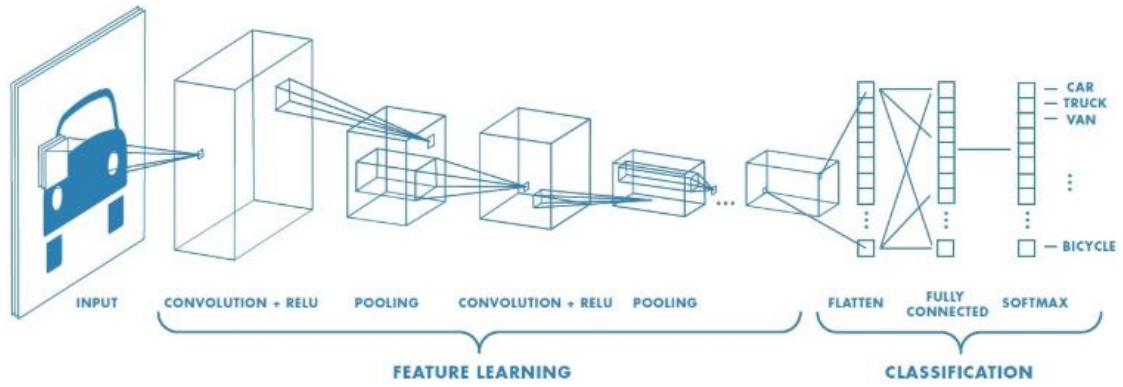



**Figure 14**:Processus d'identification d'un objet dans un réseau de neurone convolutif [W19]

### ❖ YOLO (You Only Look Once)

YOLO est un algorithme spécialisé dans la reconnaissance d'objet et est capable de détecter en une seule fois ce qui se trouve dans une image. Il donne des cadres de délimitation autour des objets détectés, et il peut détecter plusieurs objets à la fois. L'innovation majeure apportée par YOLO lors de sa création est le fait qu'il est capable d'effectuer les détections en une seule fois, c'est pourquoi il est assez rapide et performant. Il fonctionne en effectuant une régression il prédit les boîtes englobantes et les probabilités de classe. YOLOv3 est la troisième version de Yolo et apporte des nouvelles améliorations par rapport aux versions précédentes.

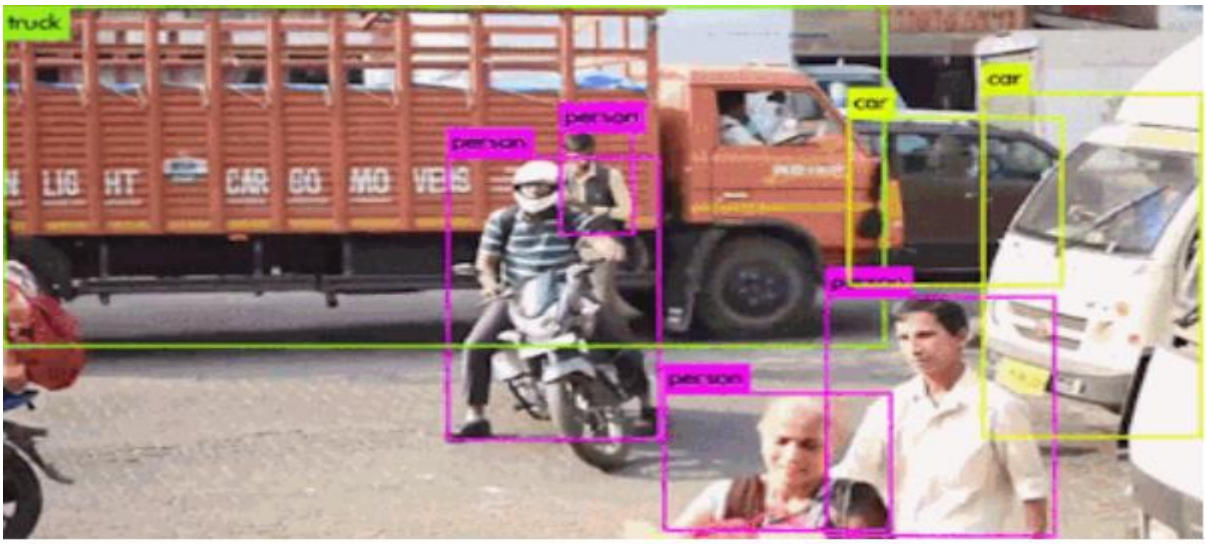



**Figure 15 :** Reconnaissance d'objet avec YOLOv3[W20]

## 2.5.3 La prise de décision

Les algorithmes sont à la base de l'architecture décisionnelle. Lorsque l'information est transmis au système d'information, celle-ci décide de l'itinéraire à suivre, ou d'une manœuvre à effectuer, que ce soit de manière planifiée ou en réaction à un événement. La décision prise dépend de l'obstacle qui est devant lui. S'il est devant une voiture il peut changer de direction, faire un freinage ou un clignotant. Le système de conduite autonome peut généralement être divisé en trois blocs: capteurs, sous-système de perception, sous-système d'analyse et de décision du véhicule. Les informations provenant des capteurs sont traitées dans un bloc de perception, dont les composants combinent les données des capteurs en informations significatives. Le sous-système d'analyse utilise les résultats du bloc de perception pour l'analyse en se basant sur des algorithmes d'apprentissages pour l'aide à la décision. Le traitement des informations reçus du système d'information, se fait en temps réel afin qu'il ait une réaction rapide à la présence d'un obstacle. L'architecture suivant montre le processus de détection d'un obstacle jusqu'à la prise de décision.

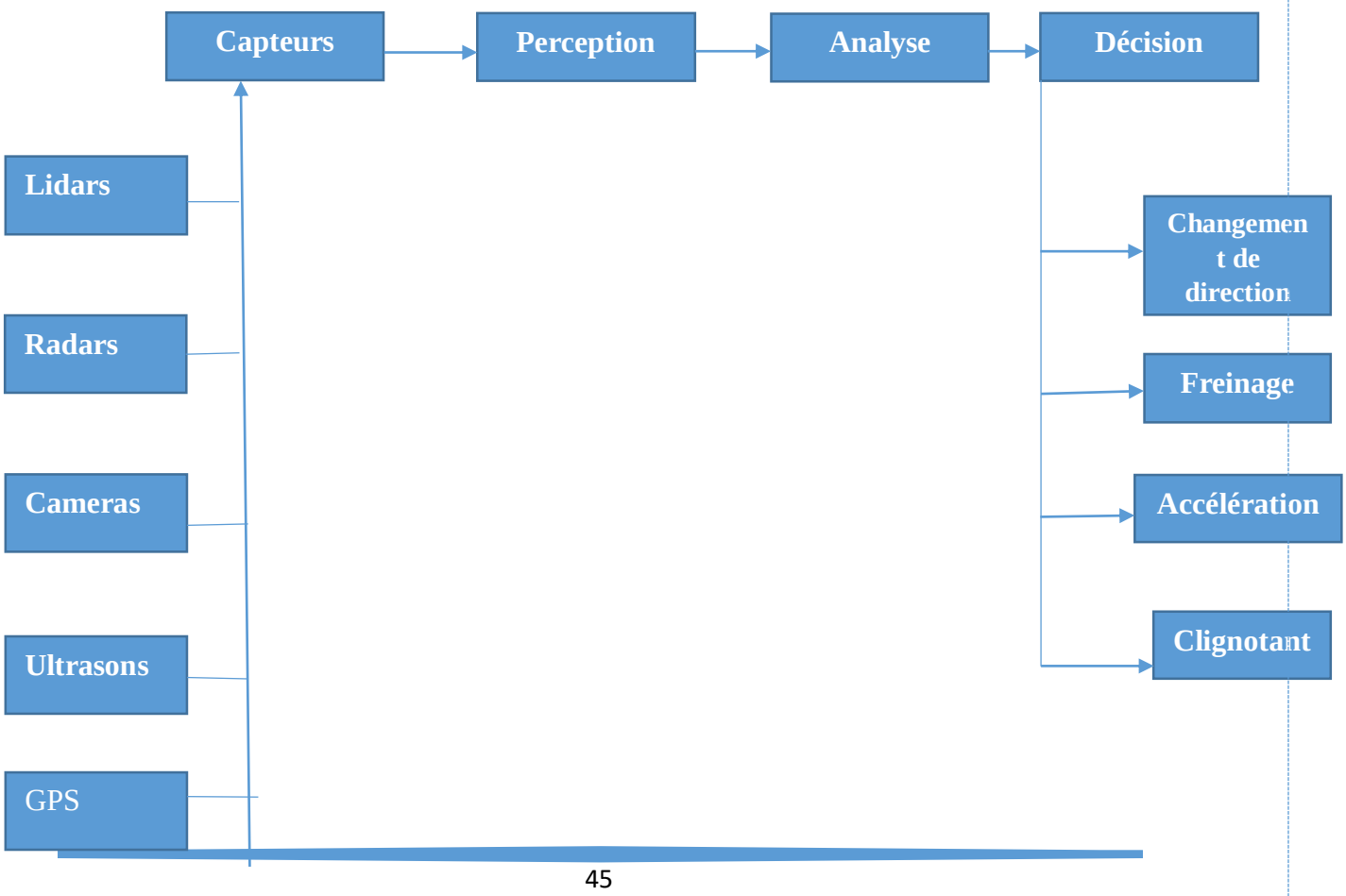


**Figure 16**: Etapes vers la prise de décision

## 2.6 Performances de la 5G dans le domaine urbain

Les performances de la 5G ne se limitent pas seulement à faciliter la communication des voitures autonomes. L'usager à bord de la voiture aura le privilège de bénéficier d'une connectivité internet, pour son divertissement et son confort (Internet, contenus multimédias, jeux en ligne). Les trajets longs distances en voiture seront ainsi l'occasion de regarder du cinéma, de traiter ses e-mails ou encore de chatter avec ses amis. Ses services offerts se rejoignent dans l'eMBB (le haut débit amélioré) en permettant un débit important et une diminution de la latence (4ms). La voiture peut être aussi connectée avec la maison de l'usager, celle-ci peut à distance éteindre la lampe oubliée dans le salon en plein circulation grâce au cas mMTC. Le mMTC permettra à la voiture d'assurer son efficacité énergétique et d'augmenter la densité de connections par rapport aux objets connectés qui sont liés à lui. La plus grande performance de la 5G se trouve dans les applications critiques notamment dans la conduite autonome. En effet les voitures pourront communiquer entre eux et toute l'infrastructure routière en favorisant un temps de réponse très faible afin de réagir dans les délais lorsqu'un obstacle se présente devant lui.

## 2.7 Etudes du Network Slicing

La 5G fait évoluer les réseaux mobiles vers la virtualisation. Ce dernier permet à la 5G de tenir ses promesses en matière de flexibilité et d'optimisation des réseaux facilitant ainsi de passer d'une approche one-size-fits-all à des services de connectivité spécialisés pour certains usages. Le network slicing est la technologie qui fait de la 5G une vraie révolution. Elle consiste à découper le réseau en sous-réseaux logiques, appelés tranches ou slices. Les slices sont conçus et déployés de manière indépendante mais repose sur l'infrastructure physique 5G.

Le network slicing a plusieurs avantages que sont : [W21]

- Plus grande élasticité, robustesse, sécurité et stabilité des opérations grâce à la compartimentation du réseau, appliquée de bout en bout.
- Tranches sans compromis et personnalisables, chacune optimisée pour les besoins du cluster de services ou de segments pour lequel elles sont définies.
- Souplesse et efficacité intégrées grâce à une orchestration de services automatisée reposant sur l'intelligence artificielle.

### 2.7.1 Performances du Network Slicing dans le domaine urbain

Le network slicing divise les cas d'usages de la 5G en tranches. Dans le domaine de la mobilité autonome, le slice uRLLC est sollicité pour assurer la faible latence et la fiabilité du trafic routier. La voiture est équipé de routeurs mobiles (OBUs) qui connecté au réseau 5G permettent aux voitures d'avoir une vue globale de son environnement. Le network slicing permet la séparation de différents flux afin d'optimiser l'utilisation de la bande passante. L'utilisation de la bande passante dans les données multimédia consacrées au divertissement, comme des flux vidéos utilisés par l'usager est différent des données des communications véhiculaires. Lorsque la cellule du réseau mobile approche de la saturation celle-ci est bloquée dès qu'il a trop de perte de paquets. Cela n'a aucun impact sur le trafic dans le slice Ultra Low Latency High Reliability particulièrement dans l'échange d'information entre les véhicules, qui est parfaitement isolée, et continue donc à bénéficier des mêmes performances en termes de débit et de délai.

## 2.8 Conclusion

En résumé ce chapitre nous a permis de faire un revu sur la technologie 5G en étudiant son architecture et ses caractéristiques techniques. Cependant, ses opportunités permettent à la voiture autonome de comprendre son voisinage, de faire une analyse a temps réel à l'aide d'algorithme pour prendre la décision adéquate quant à sa bonne conduite.

# ETUDE PRATIQUE

# CHAPITRE 3 : Etudes de phénomènes pour la gestion du trafic urbain

## 3.1 Introduction

Dans ce chapitre il est prévu de voir la gestion du trafic routier qui permet de comprendre le comportement des voitures autonomes lorsqu'un phénomène se présente à eux. Plusieurs phénomènes de detection d'obstacles sont à étudier afin de voir la communication inter-véhiculaire. Dans cette partie nous tenterons de proposer un scénario de bout en bout sur la transmission du message sur le réseau 5G.

## 3.2 Etudes de performances de phénomènes routiers envisageables

### 3.2.1 Détection d'embouteillage

Les voitures autonomes échangent en continue leurs positions pour connaitre les voies encombrées et éventuellement s'insérer sur la plus rapide. Ceci devrait être possible si on prévoit un module applicatif hébergé dans le réseau 5G et connecté au serveur V2X. Celle-ci récupère les positions et paramètres dynamiques (vitesses, temps,…) des voitures présents sur la voie rapide et propose des trajectoires aux voitures voulant éviter les bouchons afin d'optimiser la fluidité du trafic et de faciliter l'insertion.

### 3.2.2 Détection d'une voiture d'urgence

La présence d'une voiture d'urgence est souvent observée dans la circulation. Lorsque la sirène est activée, elle leur donne une priorité par rapport aux autres voitures et nécessite une réorganisation du trafic. Dans la conduite autonome l'activation du gyrophare permet d'alerter les voitures autonomes de la présence d'une voiture d'urgence. La voiture d'urgence connecté envoie sa position au serveur grâce à son routeur mobile (OBU), lequel va indiquer si son gyrophare est activé ou non. Le serveur redistribue le message de position du voiture d'urgence aux voitures alentours, lesquels se rendent compte de la présence du voiture d'urgence. A partir de ce moment, les voitures comprennent qu'ils doivent laisser le passage à la voiture prioritaire. Les messages de positon des voitures échangés étant de taille réduite, l'intérêt ici est d'avoir une latence la plus faible possible.

### 3.2.4 Comportement inapproprié des voitures

Quelque fois dans la circulation, on note des imprévus comme les voitures en panne et garés sur le bas-côté. La voiture qui est en état de panne doit informer les voitures voisines pour qu'il puisse naviguer en toute sécurité. Pour cela la voiture en panne équipé d'une caméra haute définition reliée au routeur mobile, peut transmettre le flux vidéo sur requête automatique du routeur mobile du voiture suiveur. Celle-ci reçoit la requête et comprend qu'il doit faire un dépassement pour continuer sa conduite.

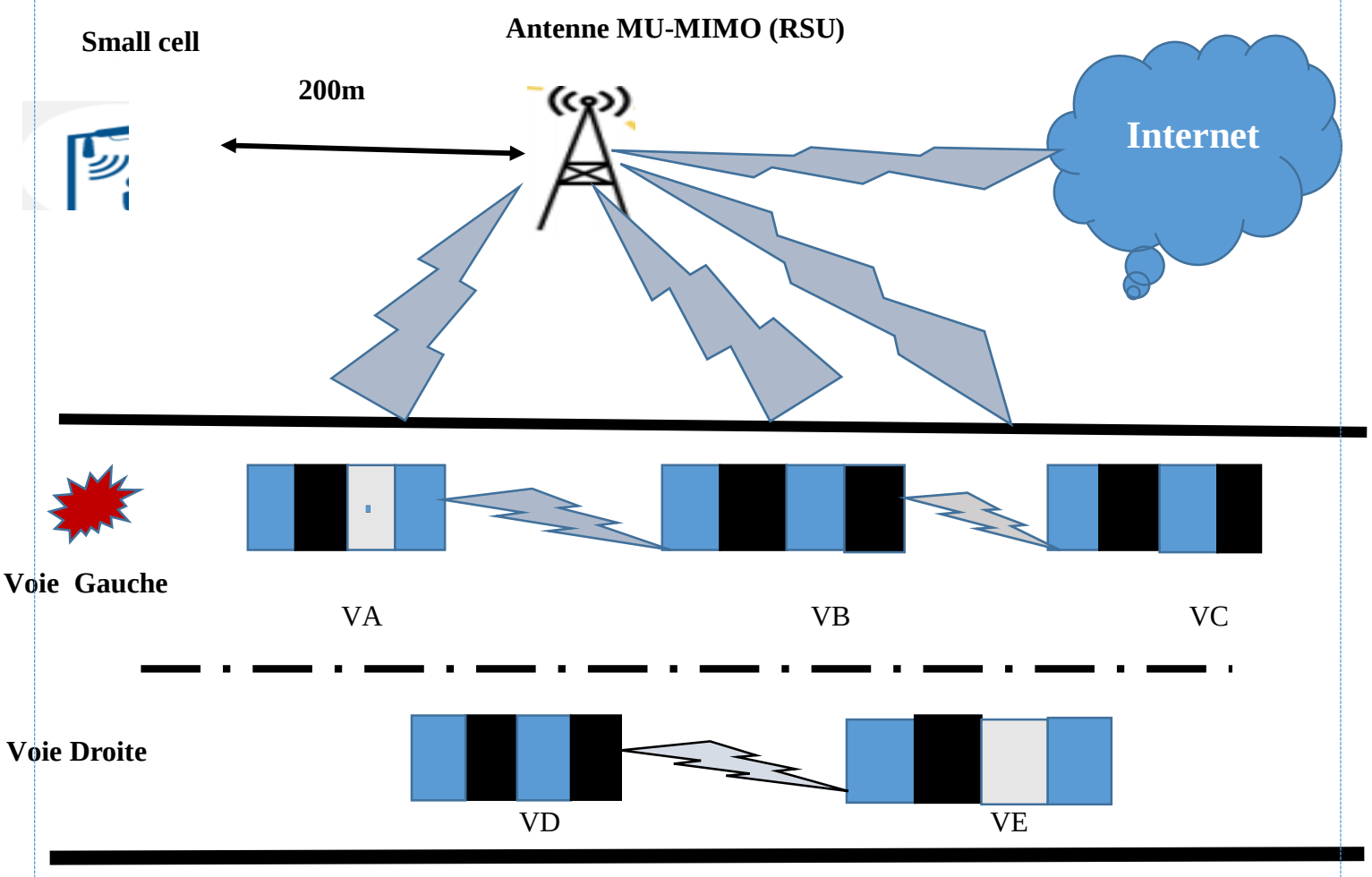
## 3.3 ETUDE CONCEPTUELLLE

### 3.3.1 Description de l'architecture proposée

La partie mise en œuvre du mémoire consiste à concevoir une démarche qui permet la transmission du message aux voitures autonomes connectés en 5G qui sont sur une même voie lorsqu'une voiture précèdent perçoit un obstacle.

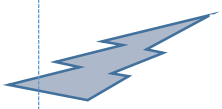
Notre infrastructure se constitue de deux voies .La voie de droite se compose de deux voitures autonomes qui communiquent entre eux. La voie de gauche se constitue de trois voitures autonomes qui communiquent entre eux et avec l'antenne Mu-MIMO. L'antenne Mu-MIMO est aussi connectée avec le réseau cœur 5G pour permettre aux voitures autonomes de bénéficier des services multimédias.

Sur la route, à une distance de 200m devant l'antenne Mu-MIMO se place une petite antenne appelée (Small Cell).






**Obstacle**



**Communication**

**Figure 17 :** Architecture du Scénario proposée

### 3.3.2 Etude du voisinage des voitures

Les voitures autonomes sur la voie de gauche doivent percevoir leur environnement en détectant et en identifiant tous les objets fixes et mobiles pour une compréhension complète de la scène. Dans chaque voiture autonome, la fusion multi-capteur est nécessaire pour mener les différentes tâches de perception. Les données issues de la fusion des capteurs sont traitées dans le logiciel informatique de la voiture. Ce dernier traite les données, les analyse et prend la décision adéquate pour adapter sa conduite.

### 3.3.3 Description du scénario de détection obstacle

Au cours de la conduite, les voitures sur la voie de gauche et de la droite définissent leur environnement afin de naviguer dans de bonnes conditions. Cependant, lors de la rencontre de l'obstacle par la voiture A, celle-ci l'identifie et la classifie (piétons, cyclistes). La voiture A fait appel à un algorithme pour donner un sens aux données issus des capteurs et caméras pour fournir une représentation détaillée de l'élément détecté. Dans cette étude scénariste, nous avons eu a comparé quatre algorithmes de reconnaissance d'objet. Ces algorithmes choisis, fonctionnent en Realtime dans l'exécution des données reçus. Leurs différences se trouvent sur les avantages et inconvénients. Le tableau ci-dessous représente une comparaison des algorithmes étudiés. Dans l'étude de la solution nous proposons l'algorithme Yolov3 pour la reconnaissance de l'objet détecté par la voiture A. Notre choix repose sur sa rapidité et sa performance et sa simplicité.

La voiture A analysé l'obstacle avec l'algorithme Yolov3 c'est ainsi que le logiciel informatique active les freins de la voiture pour le stopper.

**Tableau 5:**Comparaison des algorithmes de reconnaissance d'image

| Critères / Algorithmes | Avantages | Inconvénients |
|---|---|---|
| Tensorflow | Gratuit, simple d'utilisation, modèle pré-entrainée entraine un modèle sur les propres donnée | Un modèle entraîné sur deux systèmes différents présentera parfois des variations même si les données avec lesquelles il a été nourri sont exactement les mêmes |
| VoxelNet | Réduit la complexité et le cout grâce à l'utilisation du Deep Learning | Simulation informatique n'est pas encore appliquée pour les voitures autonomes |
| Réseaux de neurone convolutif | Il produit d'excellents résultats de reconnaissance Ils peuvent être ré-entraînés pour effectuer de nouvelles tâches de reconnaissance | Il a besoin d'être entrainé sur un grand nombre de donnés pour éviter le sur-apprentissage. |
| Yolov3 | Capable d'effectuer des détections en une seule fois.il est rapide et performant | Yolo détecte difficilement les petits objets |

## 3.3.4 Transmission du message sur le réseau 5G

La voiture A ralenti à la vue de l'obstacle. Les voitures voisines ne sont pas au courant de ce qui se passe en amont. Ils ne savent pas qu'ils doivent modérer leur

conduite pour éviter une collision entre eux. Dans ce scenario nous avons mis en œuvre une communication voiture à infrastructure pour la transmission du message. Lorsque la voiture A détecte l'obstacle, il envoie deux types de messages à l'antenne Mu-MIMO.

### ❖ Message beacon

Ce message renseigne la position de la voiture A, sa distance par rapport à l'obstacle et son changement de vitesse. L'antenne redistribue le message aux voitures alentours. Ainsi les voitures sur la voie de droites (VD, VE) comprennent qu'ils ne sont pas concernées par le message, il continue alors leur trajectoire. Le tableau ci-dessous représente la description des paramètres du message de beacon.

**Tableau 6**: Description des paramètres du message beacon

| Paramètres message beacon | Description |
|---|---|
| Position | Il renseigne la localisation de la voiture détectrice d'obstacle. Cette localisation se fait grâce aux capteurs de mouvement et de position. |
| Distance à l'obstacle | Ce paramètre permet à la voiture VA de renseigner aux voitures voisins la distance qui le sépare de l'obstacle. L'information est obtenue par la fusion des capteurs (lidar, radar, ultrason, caméra). |
| Vitesse | La voiture A réadapte sa vitesse à la perception de l'obstacle. Ce changement de vitesse doit être connu par les voitures B, C. Les capteurs odomètres mesure la vitesse de la VA et l'information est transmis sur le réseau 5G à travers le message beacon |

### ❖ Message d'alerte

Ce type de message est envoyé pour prévenir les voitures de la voie de gauche de l'obstacle qui est perçut par la voiture A .En effet la voiture A traduit l'obstacle sous forme d'objet et l'a transmet au routeur mobile OBU. L'objet est ensuite envoyé au serveur V2X c'est-à-dire à l'antenne Mu-MIMO pour permettre la diffusion de l'information aux voitures connectés situés aux alentours (voiture B, C) .L'antenne Mu-MIMO envoie le message a tous les voitures qui sont à portée de transmission. Ainsi les voitures voisines B et C reçoivent le message à travers leur OBU et se rendent compte de la présence de l'obstacle et réadapte leur conduite. Lorsque les voitures sortent de la zone de transmission leurs informations sont transmises au Small Cell.

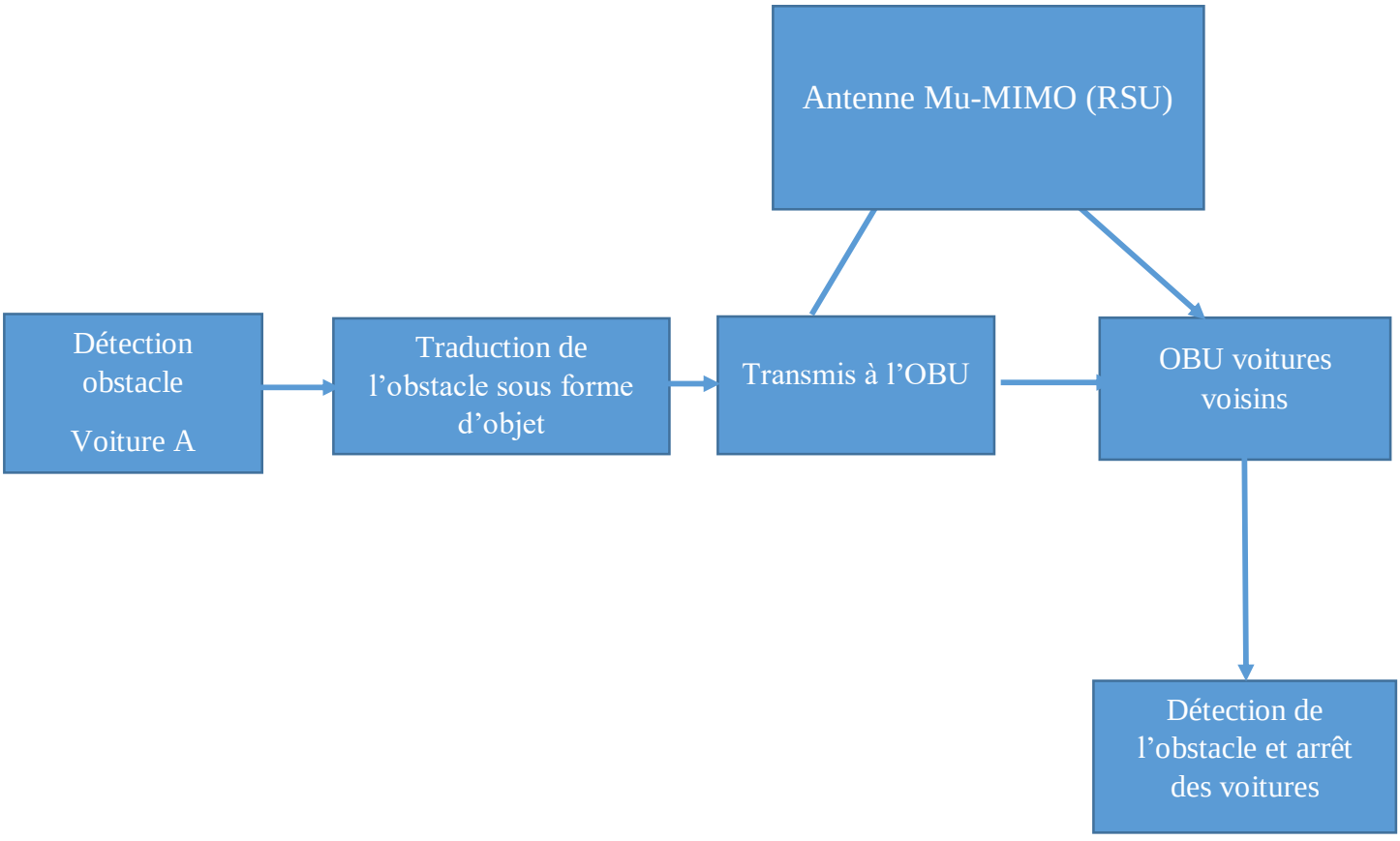



**Figure 18:** Transmission du message sur le réseau

A la réception de l'information par l'antenne Mu-MIMO, il fait un routage de type Broadcast aux voitures à portée de transmission.

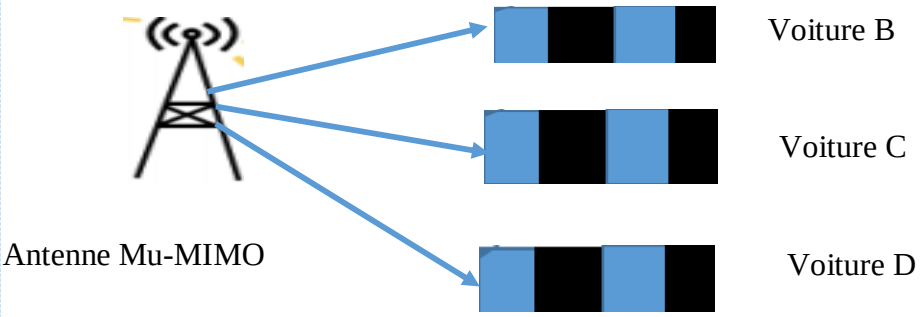



**Figure 19**:Broadcast de l'antenne sur les voitures à portée de transmission

### 3.3.5 Caractéristiques du réseau dans le scénario

Dans cette étude nous avons pu voir deux aspects essentiels pour la communication des voitures autonomes avec l'infrastructure réseau.

#### ❖ Connectivité

La transmission du message à l'antenne vers les voitures à portée de transmission nécessite l'utilisation d'une bande passante supérieur à 24 GHZ .Cette bande de fréquence permet la diffusion du message à l'ensemble des voitures autonomes sur le réseau et leur allouer des performances meilleurs pour adapter leur conduite. Les messages de diffusions doivent être reçus dans les délais par les voitures et ceux-ci grâce à le faible temps de réponse. Afin d'optimiser la diffusion de donnée sur le réseau, la gestion de la bande passante par le Network Slicing doit aussi être étudié. Le network Slicing va donc permettre la réservation d'une certaine bande passante aux messages de sécurité et d'en faire moins pour les messages liés aux divertissements de l'usager.

#### ❖ Evolutivité

Dans ce scénario nous pouvons assister à un changement rapide de topologie. L'antenne reçoit en continue de nouveaux nœuds et les voitures changent de voisinage. L'antenne Mu-MIMO doit gérer correctement la charge du réseau et ceux-ci grâce à ses N émetteurs et M récepteurs qui permettent la communication simultanée des voitures autonomes.

## 3.3.6 Qu'en est-il de la 5g au niveau mondiale

La course mondiale est déjà lancée entre pays pour être le premier à mettre en place des expérimentations 5G à grande échelle. Ainsi plusieurs pays, travaillent et essaient de s'accorder entre eux afin de pousser à l'international les spécifications techniques qui satisferont leurs besoins et rentabiliseront au mieux les investissements consentis, créant par exemple beaucoup de tumultes au sujet des bandes de fréquences les plus adéquates à considérer pour la 5G.

### ❖ Etats-Unis d'Amérique

Selon la Proposition de certaines autorités nationales de régulation au sujet des fréquences attribuées à la 5G [W22] .La FCC (Federal Communications Commission, l'agence de régulation américaine) a identifié près de 11 GHz de spectre pour une utilisation flexible de la large bande hertzienne, soit 3,85 GHz de spectre soumis à obligation de licence dans les bandes des 28 GHz, des 37 GHz et des 39 GHz.

### ❖ JAPON

Le japon veut démontrer son leadership sur la 5G en déployant le premier réseau commercial 5G à être conforme aux spécifications techniques internationales pour les jeux olympiques d'été de Tokyo en 2020.

Selon le rapport «Radio Policies Towards 2020 » [8] publié par le ministère japonais des affaires internes et des communications (MIC - Ministry of Internal affairs and communications) en juin 2016, les bandes 3600 - 4200 MHz, 4400 - 4900 MHz et 27,5 - 29,5 GHz ont été sélectionnées comme bandes candidates pour la 5G à l'échelle nationale. Bien que d'autres bandes soient également investiguées, dans l'optique de la CMR19, des expérimentations 5G sont déjà prévues dans les bandes 3600 - 4100 MHz, 4405 - 4895 MHz et 27,5 - 28,28 GHz dès 2017 à Tokyo et continueront en s'intensifiant en 2018 et 2019.

### ❖ Chine

Tout comme au Japon, la Chine entend montrer son leadership avec des premiers déploiements commerciaux dès 2020.Le MIIT (Ministry of Industry and Information

Technology) prévoit d'attribuer des fréquences dans les ondes millimétriques aux services 5G dans les bandes 24-27 GHz et 37-42 GHz, outre les bandes 3,3-3,6 GHz et 4,8-5 GHz.

### ❖ France

En 5G, comme en voitures autonomes, la France aime les expérimentations. Celles-ci ont commencé tôt puisque, dès septembre 2015, Orange avait obtenu une autorisation de l'Arcep [W23]. Les blocs de fréquences étaient alors : de 3,6 à 3,8 GHz, de 10,5 à 10,625 GHz et enfin de 17,3 à 17,425 GHz. Si le premier est toujours d'actualité, ce n'est pas le cas des deux autres. Free Mobile avait lui aussi obtenu une autorisation de l'Arcep pour des tests 5G sur les 3,6 à 3,7 GHz en octobre 2017. Plus récemment, deux nouvelles décisions du gendarme des télécoms permettent à Bouygues Telecom et Orange de se lancer dans l'aventure, avec de nouvelles expérimentations dans la bande des 3,6 à 3,8 GHz. Depuis maintenant près de deux ans, Orange nous ressert inlassablement la même date : il faudra attendre 2020 pour le lancement du réseau commercial en 5G.

### ❖ Afrique

En ce qui concerne la répartition des fréquences établie par l'UIT, l'Afrique est dans la région 1, c'est-à-dire dans la même région que l'Europe [W24]. De manière générale, en Afrique, on adopte les mêmes bandes choisies par l'Europe à moyen ou long terme, même si la tendance à l'UIT est d'aller vers des bandes globales. Par exemple, l'Afrique a suivi presque le modèle européen pour les bandes de fréquences exploitées par la 4G, qui sont: 800 MHz, 1800 MHz et 2,6 GHz. Par conséquent, pour la 5G et en plus des fréquences dans la bande UHF, il est prévu d'utiliser des fréquences dans la bande allant de 3,4 à 3,8 GHz. Pour le moment en Afrique, nous ne parlons pas beaucoup de fréquences au-dessus de 6Ghz.

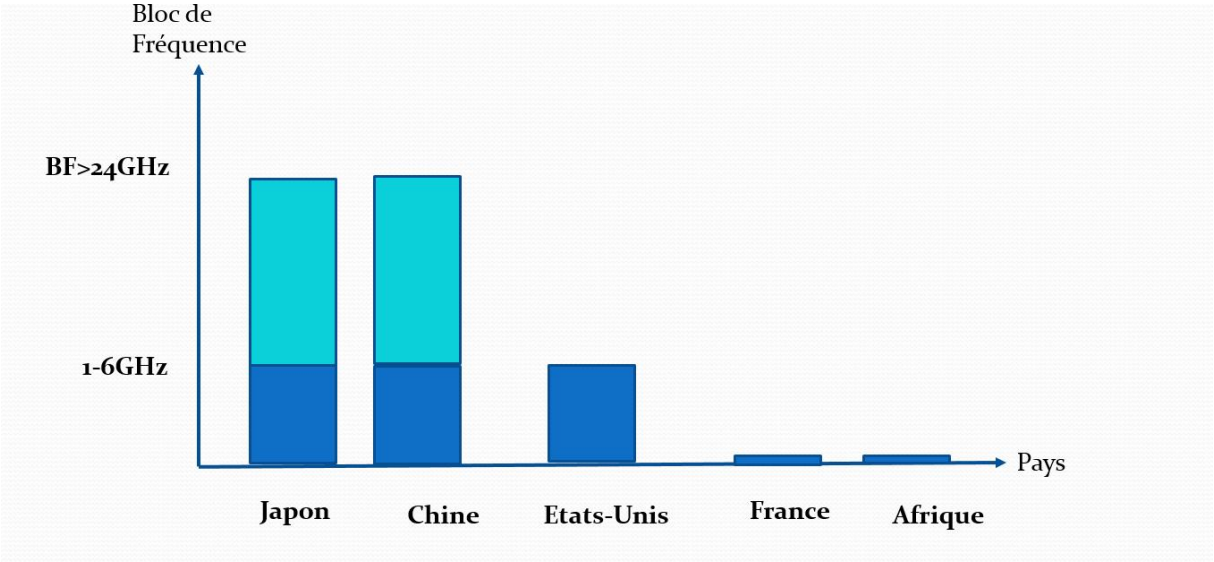



**Figure 20:**Les blocs de fréquence 5G en fonction des pays

## 3.4 Conclusion

Ce dernier chapitre a fait l'objet d'une étude des différents phénomènes envisageables dans le trafic des voitures autonomes. Nous avons eu à faire un scénario de bout en bout allant de la détection de l'obstacle jusqu'à la transmission du message aux voitures voisins. Dans ce scénario nous avons des limitations matérielles pour le déploiement de l'infrastructure réseau. Ce chapitre a fait aussi l'objet de l'état des lieux de la 5G dans le monde.

# *CONCLUSION GENERALE*

En résumé nous pouvons dire que le monde des télécommunications sans fils est en permanente évolution et, nous assistons aujourd'hui à une convergence mobile/internet vers une course de performances. C'est ainsi que les technologies se sont succédées aboutissant à la naissance de la cinquième génération de réseau mobile qui fait l'objet de notre étude. Les technologies cellulaires prennent de la place dans les objets connectés allant jusqu'à proposer de meilleurs performances (Latence, Débit, Bande Passante) dans les domaines critiques avec l'avènement de la voiture autonome.

La 5G est la technologie qui révolutionne l'utilisation de l'internet des objets dans les applications critiques favorisant ainsi de meilleures performances pour satisfaire les besoins critiques surtout dans la conduite autonome. Ces performances permettent l'émergence des réseaux véhiculaires avec la communication des voitures autonomes dans un milieu urbain. La communication des voitures autonomes avec l'infrastructure routière nécessite une réactivité importante dans la transmission du message.

Ce mémoire, nous a permis de faire un revu des phénomènes de détection envisageable dans la gestion du trafic urbain afin de voir le comportement des voitures autonomes connecté en 5G face un phénomène donné. Par ailleurs nous avons mis en place un scénario de bout en bout allant de la détection d'un obstacle jusqu'à la transmission du message aux voitures voisines à portée de transmission de l'antenne Mu-MIMO. Ce scénario nous a permis de voir l'apport du Network Slicing dans l'optimisation de la bande passante mais aussi la charge du réseau lorsque le nombre de voiture augmente.

Dans ce document, nous avons également fait un état des lieux de la 5G dans le monde et compris que ce projet en est toujours à sa phase d'élaboration, les modalités d'attribution des licences n'étant pas encore définies dans certains pays.

Pour finir, nous pouvons dire que l'étude de la nouvelle technologie 5G Release 15 nous a permis de développer notre capacité d'analyse et de comprendre un bon nombre de nouveaux concepts qui sans nul doute nous servirons dans nos projets futur.

# BIBLIOGRAPHIE

[1] Maxime De Rouch De Flacourt, ARCHITECTURES 3GPP ET ÉVOLUTION VERS IPV6, Maitrise en Science Appliquées, École Polytechnique de MONTRÉAL, Février 2011.

[2] Sankar Jain, NehaAgrawal, and Maan Awasthi, "5G - The Future of Mobile Wireless Communication Networks," in Advance in Electronic and Electric Engineering, vol.3, 2013

[3] Sk. Saddam Hussain*, Shaik Mohammed Yaseen2 and Koushik Barman, AN OVERVIEW OF MASSIVE MIMO SYSTEM IN 5G

[4] Rejab HAJLAOUI, "Résolution à base d'heuristiques du problème de routage dans les réseaux ad hoc de véhicules "Décembre 2018.

[6] PIERRE RENALDO, GUILLAUME VAQUERO, " 5G : Une Nouvelle Generation Technologies, des usages à inventer "

[7] Abdelhak Bougouffa et Anis Hocine " Contribution à La Localisation et la Cartographie Simultanées (SLAM) dans un Environnement Urbain Inconnu "

[8] Arcep "Enjeux de la 5G " Mars 2017

# WEBOGRAPHIE

[W1]http://lewebdephilou.free.fr/RESEAUXTELECOM/CoursTelecom/Telephonie/GSMGPRS-UMTS_Girodon.htm accédé le 27 Décembre 2019

[W2] http://gsm4us.blogspot.com/2008/11/gsm-architecture-du-rseau-gsm.html accédé le 27 Décembre 2019

[W3]https://www.memoireonline.com/02/12/5284/tude-de-dimensionnement-et planification-dun-reseau-dacces-WCDMA-3G.html accédé le 27Décembre 2019

[W4] http://4glte.over-blog.com/ accédé le 27 Décembre 2019

[W5]https://www.memoireonline.com/04/10/3394/m_Greedy-perimeter-stateless-routing-sur-omnet1.html accédé le 27Decembre 2019

[W6]https://mbamci.com/voitures-autonomes-fonctionnement/voitures autonomes, accède Aout 2019

[W7]http://www.latribuneauto.com/reportages-67-10005-les-algorithmes-bosch-determinent-la-position-du-vehicule-autonome-avec-precision.html accédé le 30 Octobre 2019

[W81]https://www.lepoint.fr/automobile/innovations/l-amerique-accelere-sur-la-voiture-communicante-18-05-2015-1929242_652.php accédé le 27Decembre 2019

[W9]https://www.journaldunet.com/ebusiness/le-net/1170249-icymi-comment-la-communication-vehicle-to-vehicle-va-sauver-des-vies/ accédé le 27 Décembre 2019

[W10]http://www.univbejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/1129/Conception%20et%20R%C3%A9alisation%20d%E2%80%99un%20simulateur.pdf?sequence=1&isAllowed=y

accède le 27 Décembre 2019

[W11] http://www.efort.com/r_tutoriels/RESEAU_COEUR_5G_EFORT.pdf 5G, accédé le 22 Juillet 2019

[W12]https://www.lembarque.com/avec-la-publication-des-specifications-5g-nr-sa-la-normalisation-de-la-5g-franchit-une-etape-decisive_007638 5G, accédé le 24 Septembre 2019

[W13] http://c.mi.com/thread-2644540-1-0.html?mobile=no accédé le 27 Décembre 2019

[W14] https://www.wavestone.com/app/uploads/2019/05/Article-5g.pdf accédé le 27 Décembre 2019

[W15] https://blog.ariase.com/mobile/dossiers/5g-reseau-mobile-technologies accédé le 9 Octobre 2019

[W16] http://opendeeptech.com/fr/tensorflow-la-librairie-de-deep-learning-de-google accédé le 24 Octobre 2019

[W17]https://slice42.com/technologies/2017/11/voxelnet-logiciel-genial-charge-de-detecter-pietons-de-voiture-autonome-apple-65503/ accède le 27 Octobre 2019

[W18]https://fr.mathworks.com/solutions/deep-learning/convolutional-neural-network.html accède le 25 Octobre 2019

[W19] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_neuronal_convolutif accédé le 27 Décembre 2019

[W20]https://owdin.live/2018/03/28/yolo-v3-performance-de-la-reconnaissance-visuelle-en-temps-reel/ accédé le 25 Décembre 2019

[W21]https://www.ericsson.com/en/digital-services/trending/network-slicing?gclid=Cj0KCQiAtf_tBRDtARIsAIbAKe1GA7iyRb7dyYkccp3yVCCeH2ME4Q5oTIzw6V0kV1UQd_HR8l97-isaAoEgEALw_wcB accédé le 4 Novembre 2019

[W22]https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-F.pdf accédé le 27 Décembre 2019

[W23]https://www.nextinpact.com/news/106266-le-deploiement-5g-en-france-en-europe-et-dans-monde.htm accédé le 27 Décembre 2019

[W24] https://lte.ma/2020-sera-t-il-lannee-mondiale-de-la-5g accédé le 27 Décembre 2019