

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÈRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER PROFESSIONNEL

Filière : Informatique

Spécialité : Ingénierie des systèmes d'informations

Thème

**La 5G pour l'Internet des Objets (IoT) : une
révolution pour une nouvelle ère.
Défis et challenges.**

Présenté par :

M. AMROUCHE Mouloud

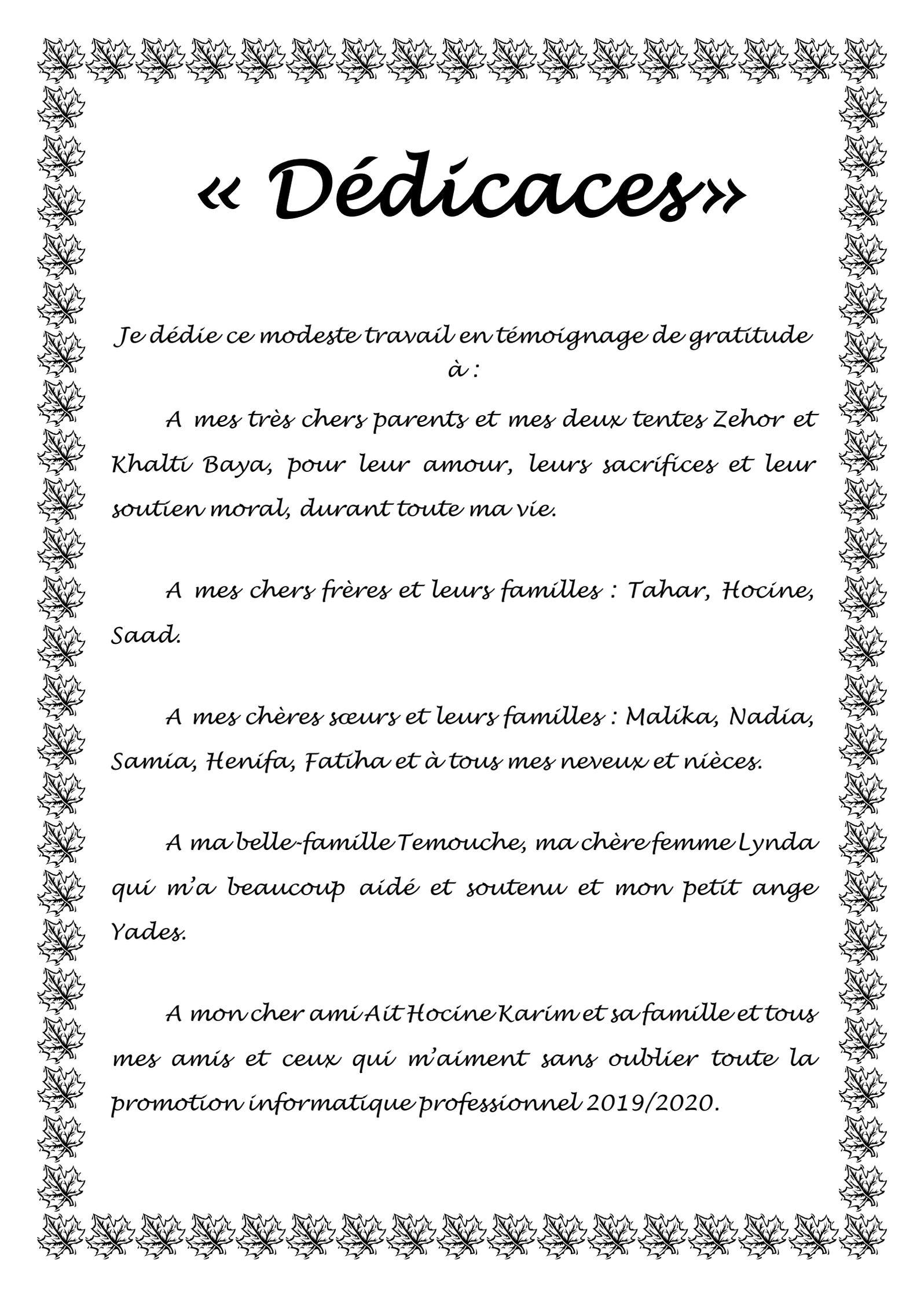
Devant le jury composé de :

Présidente	Mme. YESLI Yasmina
Encadreur	M. RAMDANI Mohammed
Examineur	M. ABBAS Akli

Promotion : 2019/2020

*****Remerciements*****

*Mes gratitude s'adressent à mon Promoteur
Monsieur RAMDANI Mohamed, pour son encadrement et
le temps qu'il m'a accordé pour la réalisation de ce
projet. Mes remerciements vont, à tous ceux qui ont aidé
à réaliser ce travail, notamment Monsieur ABBAS Akli
pour son aide et ses orientations, nos remerciements
vont, également, aux membres du jury qui nous feront
l'honneur de juger notre travail. Nos profonds respects et
chaleureux remerciements à nos très chères familles.*



« Dédicaces »

*Je dédie ce modeste travail en témoignage de gratitude
à :*

*A mes très chers parents et mes deux tentes Zehor et
Khalti Baya, pour leur amour, leurs sacrifices et leur
soutien moral, durant toute ma vie.*

*A mes chers frères et leurs familles : Tahar, Hocine,
Saad.*

*A mes chères sœurs et leurs familles : Malika, Nadia,
Samia, Henifa, Fatiha et à tous mes neveux et nièces.*

*A ma belle-famille Temouche, ma chère femme Lynda
qui m'a beaucoup aidé et soutenu et mon petit ange
Yades.*

*A mon cher ami Ait Hocine Karim et sa famille et tous
mes amis et ceux qui m'aiment sans oublier toute la
promotion informatique professionnel 2019/2020.*

Résumé

Des vitesses plus rapides, une bande passante plus large et une foule d'autres caractéristiques donnent au 5G un avantage lorsqu'il s'agit de connecter vos appareils. Les compagnies de téléphonie mobile se battent à nouveau. D'abord, elles se sont battues pour savoir laquelle avait la meilleure couverture et les meilleurs prix. Aujourd'hui,

Vous n'êtes pas le seul à penser que le 5G n'est qu'un autre stratagème de marketing. Mais la vérité est que la 5G aura probablement un impact retentissant sur l'avenir de l'IoT. Cet impact pourrait changer presque tous les aspects de notre vie quotidienne, du fonctionnement de nos villes jusqu'à notre Fitbit ou Apple Watch.

Sont couverts dans ce rapport, les aspects importants de la cinquième génération d'Internet (5G) et ses spécificités. Internet des objet (Iot) son architecture et ses réseaux de communication avec la 5G .

Les objectifs tracés dans ce travail de fin d'étude sont multiples. Il s'agit d'un premier temps d'étudier les réseaux de communication actuels leurs points forts et leurs limites et enfin étudier la 5G et ses défis pour l'Iot.

Mots-clés : 5G, IoT, réseaux mobiles, capteurs, énergie, sécurité.

Summary

Faster speeds, greater bandwidth, and a host of other features give 5G an edge when it comes to connecting your devices. The mobile phone companies are fighting again. First, they fought over which one had the best coverage and the best prices. Today,

You're not the only one who thinks 5G is just another marketing ploy. But the truth is, 5G is likely to have a resounding impact on the future of IoT. This impact could change almost every aspect of our daily lives, from the functioning of our cities to our Fitbit or Apple Watch.

This report covers the important aspects of the fifth generation internet (5G) and its specifics. Internet of things (Iot) its architecture and its communication networks with 5G.

The objectives outlined in this end of study work are multiple. The first step is to study current communication networks, their strengths and limitations, and finally to study 5G and its challenges for the Iot.

Keywords : 5G, IoT, mobile networks, sensors, energy, security.

Liste des abréviations

5 G : Cinquième génération de internet

5G-IoT : 5G pour l'Iot

4 G : Quatrième génération

3G : Troisième génération

2 G : Deuxième génération

Iot : Internet of things en anglais

Ido : Internet des objets

GPRS : General Packet Radio Service

LORA : Protocole de communication à bas débit.

SIGFOX : Protocole de communication

ETH : Protocole de communication

SNCF Fret : Société de transport ferroviaire.

RFID : Radio fréquence identité.

NFC : Protocoles **Near Field Communication**

BLE : **Bluetooth Low Energy**

GRDF : Distribution de gaz naturel en France.

PARC : Un centre de recherche situé à Palo Alto en Californie (États-Unis).

UIT : Union Internationale des Télécommunications.

MAU : Medium Access Unit.

PAN : Personal Area Network ou Réseau personnel

LAN : Local Area Network ou réseau local

Liste des abréviations

WAN : Wide Area Network ou réseau étendu

PAN : Personal Area Network ou réseau étendu

MAU : Multistation Access Unit

CPL : Courant porteur en ligne

ITU : International Telecommunications Union.

NG-RAN : New Generation of Radio Access Network (nouvelle génération de réseau d'accès radio)

AN : Access Network (réseau d'accès)

UE : User Equipment

PDU : Protocol Data Unit

QOS: Quality Of Service

IDC: International Data Corporation

LTE: Long Term Evolution

RAT : Technologie d'accès radio

RPMA : Accès multiple en phase aléatoire

LPWA : Low Power Wide Area Network (réseau étendu base consommation)

3GPP : La partie des normes (à partir de la version 8) qui traite de la diffusion de la télévision sur les cellules radio des services mobiles 3G et 4G.

MTC : Midi time code, un protocole de synchronisation

NFV : Network function virtualisation

MIMO : Multiple Input Multiple Output ou **MIMO** entrées multiples, sorties multiples.

Liste des figures et tableaux

Lis des figures

Figure 1 : Système IoT	5
Figure 2 : Les modèles de l'IoT	7
Figure 3 : Technologies de communication	19
Figure 4 : Les composantes d'un réseau informatique	27
Figure 5 : Wide Area Network ou réseau étendu	29
Figure 6 : La topologie maillée	31
Figure 7 : Les réseaux de communication.....	32
Figure 8 : Architecture de réseau 5g et ses services.....	43
Figure 9 : Les trois familles d'usages 5G.....	47
Figure 10 : Chronologie vers la 5G	51
Figure 11 : MTC dans 5G-IoT	52
Figure 12 : Exigences relatives à l'IoT compatible 5G	56
Figure 13 : Architecture IoT.....	57
Figure 14 : Technologies associées à la 5G-IoT	59
Figure 15 : Exemple d'architecture 5G-IoT.....	60
Figure 16 : 5G-IoT	62

Liste des tableaux

Tableau 1 : Technologies de communication	18
Tableau 2 : Les principaux protocoles utilisés dans les projets IoT	37

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

Chapitre I : L'internet des objets

INTRODUCTION	3
1. INTERNET DES OBJETS	3
1.1. Définition	3
1.2. L'internet des objets : applications et futur	4
1.3. L'identification	4
1.4. Le réseau de l'IoT	5
1.5. Les modèles de l'IoT	6
2. DOMAINE D'APPLICATION	9
2.1. Applications de l'Internet des Objets	9
3. LES TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION DES OBJETS CONNECTES	15
3.1. Les technologies de courte portée.....	15
3.2. Les technologies de moyenne portée	16
3.3. Les technologies de longue portée	17
4. CHOISIR UN RESEAU ADAPTE A SON BESOIN	18
5. LES PRINCIPALES MENACES LIEES AUX OBJETS CONNECTES ?	20
5.1. Chaque objet connecté a un potentiel exploitable caché	20
5.2. Il y a beaucoup d'objets connectés qu'on oublie	20
5.3. L'importance d'une protection sécurisée sur les objets	20
6. COMMENT VOUS PROTEGER DES INTRUS ?	20
7. COMMENT SE DEVELOPPE LA LUTTE CONTRE LES CYBER-RISQUES ?.....	21

Sommaire

7.1 La philosophie de risque intégrée n'est plus une option.....	21
7.2 La gestion des cyber-risques et l'innovation doivent être sur un pied d'égalité.....	21
7.3 Pas de normes de risque globales.	21
8. LA SECURITE DANS L'INTERNET DES OBJETS	22
8.1 Les contrôles industriels	23
8.2 Une surface d'attaque riche	23
8.3 La sécurité dès la conception est difficile	23
8.4 Des solutions complexes	23
8.5 La résilience	24
8.6 Qu'allons-nous faire maintenant ?.....	24
CONCLUSION	25

Chapitre II : Les réseaux de communications actuels

INTRODUCTION	26
1. LES RESEAUX INFORMATIQUES	26
2. LES OBJECTIFS D'UN RESEAU INFORMATIQUE	27
3. CLASSIFICATION DES RESEAUX	28
3.1. Classification des réseaux selon la distance	28
3.2. Classification des réseaux selon la topologie	29
4. LES RESEAUX DE COMMUNICATION	31
5. LES TYPES DE RESEAUX DE COMMUNICATION	32
5.1. Réseaux Filaires	32
5.2. Réseaux sans fils	32
5.3. Les réseaux courte distance	33

Sommaire

5.4. Les réseaux très bas-débit	33
5.5. Les réseaux mobiles	33
6. IOT & LES PROTOCOLES DE COMMUNICATION POUR LES RESEAUX SANS-FIL ET FILAIRES	33
7. SUPPORT PHYSIQUE.....	34
7.1 Communications sans fil.....	34
7.2 Communications filaires	34
8. LA PORTEE	34
9. DEBIT	35
10. COMPARATIF	36
CONCLUSION	40

Chapitre III : Le réseau 5G

INTRODUCTION	41
1. LA CINQUIEME GENERATION DE RESEAU MOBILE	41
2. L'ARCHITECTURE DE RESEAU 5G ET SES SERVICES	42
3. EN QUOI LA 5G EST-ELLE DIFFERENTE DE LA 4G ?.....	43
4. COMMENT AVOIR LA 5G ?.....	44
5. LA 5G EST-ELLE DANGEREUSE POUR LA SANTE ?	44
5.1. Les radiations émises par la 5G seraient inoffensives pour la santé	45
6. À QUOI VA SERVIR LA 5G ?	46
7. LA 5G, COMMENT ÇA MARCHE ?.....	47
8. COMMENT SE PASSE LE DEPLOIEMENT DE LA 5G ?.....	48
CONCLUSION	49

Sommaire

Chapitre IV : La 5G pour l'IoT

INTRODUCTION	50
1. CONTEXTE ET RECHERCHE ACTUELLE SUR LA 5G ET L'IOT.....	50
1.1. Réseaux sans fil en 5G	52
1.2. IoT compatible 5G	53
1.3 Architecture IoT 5G	55
2. EXIGENCES RELATIVES A L'IoT COMPATIBLE 5G	56
3. PRINCIPALES TECHNOLOGIES HABILITANTES DANS LA 5G-IoT	58
3.1. Architecture 5G-IoT	58
3.2. Virtualisation des fonctions de réseau sans fil (WNFV)	60
3.3. Réseaux hétérogènes (HetNet)	61
3.4. Partage de spectre avancé et gestion des interférences	62
3.5. Autres techniques habilitantes dans 5G-IoT	63
4. DEFIS DE LA RECHERCHE ET TENDANCES FUTURES	63
4.1. Défis techniques.....	63
4.2. Assurance de la sécurité et problèmes de confidentialité	65
4.3. Problèmes de normalisation.....	65
CONCLUSION	66
CONCLUSION GENERALE	67
Références bibliographiques.	

Introduction générale

Introduction générale

La 5G pour l'Internet des objets désigne les évolutions apportées par la 5G pour l'Internet des objets. Ces évolutions représentent un enjeu important pour plusieurs secteurs de notre société notamment l'économie.

Des organismes sont présents afin de faire en sorte que les opérateurs respectent des normes pour ces évolutions technologiques. Pour faire en sorte que ces enjeux aboutissent et afin de suivre l'évolution croissante des objets connectés présents sur le marché, les réseaux évoluent vers plus de virtualisation.

La 5G introduit de nouvelles architectures, de nouvelles fonctionnalités à tous les niveaux. Cela va de l'objet lui-même aux applications hébergées dans le cloud, en passant par les diverses couches réseaux. Les usages que l'on fait de cette technologie sont divers et variés. L'objectif étant de simplifier la vie des personnes.

L'année 2020 s'annoncent comme celle du déploiement et de la matérialisation des ondes 5G, une nouvelle technologie aussi attendue que redoutée, car elle dessine un monde d'objets connectés.

La cinquième génération de standards pour réseau mobile, ou 5G, est la nouvelle version de l'ensemble des communications mobiles. Elle doit offrir à la fois rapidité, très faible temps de réponse (latence) et énorme capacité, de manière à absorber un fort trafic.

Là où la première génération permettait de passer des appels, la 2G d'y ajouter du texte, la 3G de commencer à envoyer des images et la 4G de développer l'internet mobile, la 5G doit servir à connecter tout ce qui ne l'est actuellement pas, en particulier les objets.

Plus de 50 opérateurs proposeront la 5G. Pour l'instant, la phase de déploiement a tout juste commencé et les organismes officiels, équipementiers et opérateurs achèvent de se mettre d'accord sur les protocoles et méthodes de transmission.

Notre travail consiste à étudier les réseaux IoT, leurs caractéristiques et contraintes. Puis étudier les réseaux de communication actuels, leurs points forts et leurs limites. Enfin, étudier la 5G et ses défis pour l'IoT.

Ce mémoire est scindé en chapitres, le chapitre comporte la définition de l'IOT et ses applications futures, les identifications des objets et réseaux, ses modèles et domaines d'application et les différentes technologies de communication.

Introduction générale

Le deuxième chapitre correspond à la présentation des notions de base des réseaux informatiques et de télécommunication.

Le troisième comprend la présentation de l'architecture, l'intérêt et le fonctionnement de la 5G.

Dans le dernier chapitre nous avons abordé le changement de la 5G-IoT dans les fondamentaux des réseaux sans fil, un changement de génération dans la technologie et les architectures et processus métiers.

Chapitre I

L'internet des objets

INTRODUCTION

L'Internet des Objets (IoT) rend les objets qui nous entourent intelligents en leur offrant la faculté de communiquer entre eux ou avec le nuage (cloud). Cet article introduit les caractéristiques essentielles de l'IoT. L'architecture générale des applications intelligentes qu'il permet est présentée. Les différentes composantes sont détaillées : capteurs/actionneurs/afficheurs, organes de traitement de l'information, différents types de réseau, nuage, avec les spécificités de ces composants pour l'IoT compte tenu de la grande variété d'applications, du très simple au très complexe. Les caractéristiques des plateformes de développement et les contraintes de sécurité, tant techniques que juridiques, sont expliquées. Dans ce chapitre nous allons présenter la définition de l'IOT et ses applications futures, les identifications des objets et réseaux, ses modèles et domaines d'application et les différentes technologies de communication.

1. INTERNET DES OBJETS**1.1. Définition**

Selon l'Union internationale des télécommunications, l'Internet des objets (IdO) est une « infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ». En réalité, la définition de ce qu'est l'Internet des objets n'est pas figée. Elle recoupe des dimensions d'ordres conceptuel et technique.

D'un point de vue conceptuel, l'Internet des objets caractérise des objets physiques connectés ayant leur propre identité numérique et capables de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau crée en quelque sorte une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.

D'un point de vue technique, l'IoT consiste en l'identification numérique directe et normalisée (adresse IP, protocoles smtp, http...) d'un objet physique grâce à un système de communication sans fil qui peut être une puce RFID, Bluetooth ou Wi-Fi.

1.2. L'internet des objets : applications et futur

L'IoT (internet of thing) est la communication des objets entre eux. Certains considèrent que c'est la troisième génération d'Internet connue sous le nom du web 3.0. IoT représente les échanges d'informations et de données provenant des dispositifs physiques vers le réseau Internet. L'IoT est un concept permettant aux objets physiques d'être identifiés, de communiquer entre eux, et de pouvoir mesurer et échanger des données entre le monde physique et virtuel (informatique). Ces objets sont des dispositifs permettant de collecter, stocker, transmettre et traiter des données issues du monde physique. Ce sont des sources de données identifiés de façon unique et ayant un lien direct ou pas avec Internet. Un objet peut être connecté à Internet ou bien à d'autres objets. Pour permettre ces objets de communiquer et échanger des informations, plusieurs étapes et outils sont nécessaires :

1.3. L'identification

Il faut identifier chaque système ou objet connectable, en effet, un identifiant unique pour chaque objet permet de le reconnaître dans le réseau, c'est ce qu'on appelle le nommage. L'objet peut être identifié par une étiquette RFID (Radio Frequency Identification) composée d'une antenne et d'une puce électronique. Ce dispositif permet de recevoir et de répondre à des requêtes via une fréquence radio, l'objet devient unique et reconnaissable.

a- Capteur : Les signaux analogiques (phénomènes physique) captés seront convertis en signaux numérique, on obtient alors des données.

b- Connexion : Cette étapes nous permet de connecter les objets entre eux afin qu'ils puissent échanger leurs données ou leurs informations.

c- Intégration : Chaque objet devrait avoir un moyen de communication qui le rattache au monde virtuel comme le Bluetooth, Wifi, une technologie cellulaire (GSM, GPRS, LTE...). Cette dernière nous intéresse particulièrement.

1.4. Le réseau de l'IoT

Il faut relier le monde physique au monde informatique via Internet qui permet un pilotage et un contrôle à distance. Nous avons désormais un système complet où chaque objet peut interagir avec un autre ou bien avec l'extérieur via Internet (voir la figure ci-dessous) :

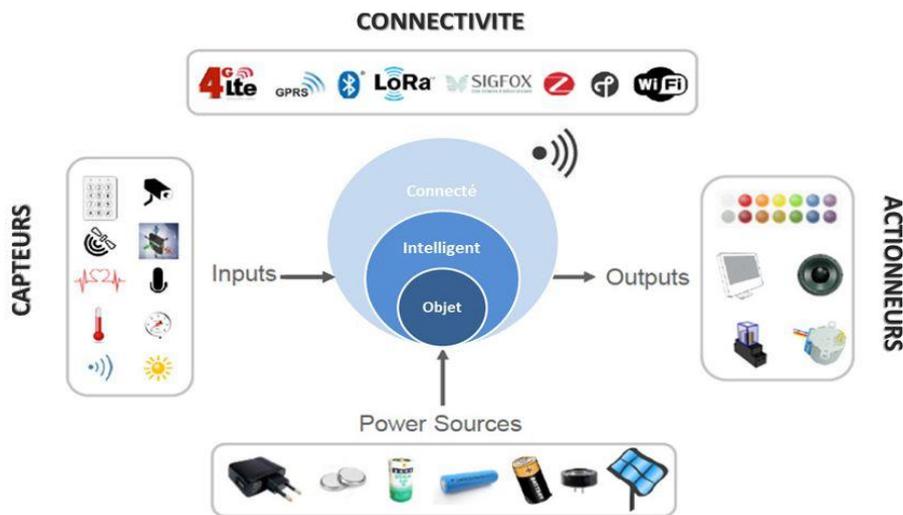


Figure 1 : Système IoT

Les objets connectés produisent de grandes quantités de données dont le stockage et le traitement entrent dans le cadre de ce que l'on appelle les big data. En logistique, il peut s'agir de capteurs qui servent à la traçabilité des biens pour la gestion des stocks et les acheminements. Dans le domaine de l'environnement, il est question de capteurs surveillant la qualité de l'air, la température, le niveau sonore, l'état d'un bâtiment, etc.

En domotique, l'IdO recouvre tous les appareils électroménagers communicants, les capteurs (thermostat, détecteurs de fumée, de présence...), les compteurs intelligents et systèmes de sécurité connectés des appareils de type box domotique.

Le phénomène IdO est également très visible dans le domaine de la santé et du bien-être avec le développement des montres connectées, des bracelets connectés et d'autres capteurs surveillant des constantes vitales. Selon diverses projections (cf. Cisco et le cabinet Gartner), le nombre d'objets connectés devrait largement augmenter au fil des ans.

1.5. Les modèles de l'IoT

1.5.1 modèles de référence

L'Internet des Objets demande un modèle de référence qui permettrait de décrire la manière avec laquelle ces systèmes, ces réseaux et ces applications interagissent entre eux. En effet, un tel modèle aurait les avantages de

- **Simplifier** la compréhension de systèmes complexes découpés en parties plus compréhensibles
- **Clarifier** en fournissant des informations supplémentaires identifiant les niveaux de l'IoT et fournissant une terminologie commune
- **Identifier** où des types spécifiques de traitement sont optimisés dans les différentes parties du système
- **Standardiser** pour créer les conditions d'une inter-opérabilité entre des produits IoT de différents fabricants
- **Organiser** rend l'IoT plus accessible et moins conceptuel

Cisco Systems propose un modèle en sept couches qui découpe les opérations IoT en sept niveaux distincts chacun correspond à une fonction dans le processus de traitement. Il ne faut pas voir ce modèle comme étant strictement défini quant aux composants ou aux endroits. Par exemple chaque fonction peut être combinée dans une seule armoire dans un centre de données ou être distribuée sur différents périphériques répartis dans le monde. Le modèle explique comment les tâches exécutées au niveau de chaque couche peut être maintenue de manière simple, avec haute disponibilité et support. Enfin, le modèle définit les conditions pour disposer d'un système IoT complet.

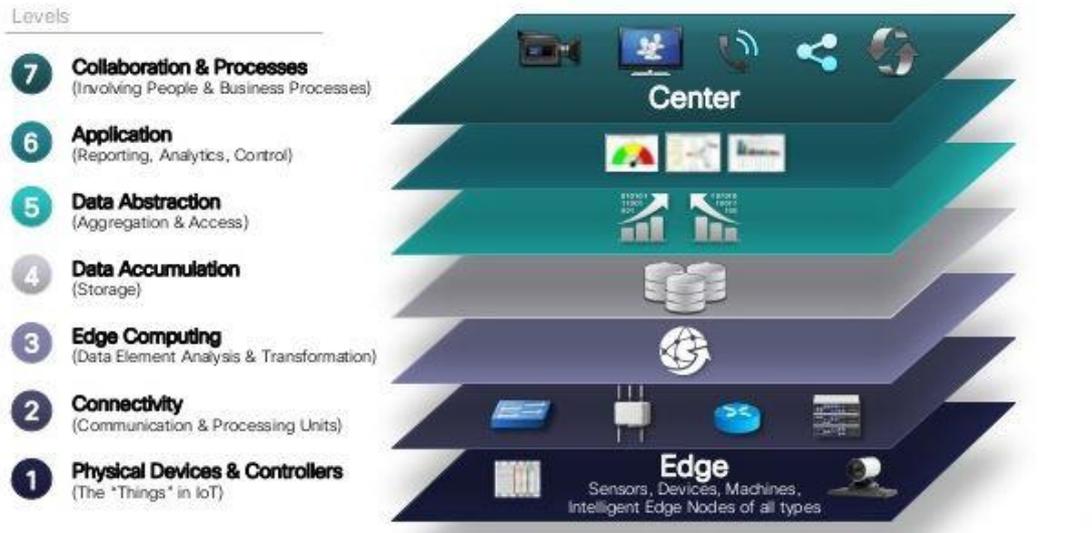


Figure 2 : Les modèles de l'IoT

Le modèle de référence IoT en sept couches décrit deux flux :

- Dans un modèle de contrôle, un flux descendant, de la couche 7 à la couche 1
- Dans un modèle de surveillance, un flux montant, de la couche 1 à la couche 7

L'internet des objets fonctionne principalement avec des capteurs et objets connectés placés dans / sur des infrastructures physiques. Ces capteurs vont alors émettre des données qui vont remonter à l'aide d'un réseau sans fil sur des plateformes IoT.

L'Internet des objets ou IdO (en anglais *(the) Internet of Things* ou **IoT**) est l'interconnexion entre l'Internet et des objets, des lieux et des environnements physiques. L'appellation désigne un nombre croissant d'objets connectés à l'Internet permettant ainsi une communication entre nos biens dits physiques et leurs existences numériques. Ces formes de connexions permettent de rassembler de nouvelles masses de données sur le réseau et donc, de nouvelles connaissances et formes de savoirs.

Considéré comme la troisième évolution de l'Internet, baptisé Web 3.0 (parfois perçu comme la généralisation du Web des objets mais aussi comme celle du Web sémantique) qui fait suite à l'ère du Web social, l'Internet des objets revêt un caractère universel pour désigner des objets connectés aux usages variés, dans le domaine de la e-santé, de la domotique ou du *quantified self*.

L'Internet des objets est en partie responsable d'un accroissement exponentiel du volume de données généré sur le réseau, à l'origine du big data (ou mégadonnées en français). La croissance exponentielle du nombre d'objets connectés dans la première moitié des années 2020 risque d'avoir un impact durable sur l'environnement.

Selon une équipe de l'ETH de Zurich, du fait des smartphones puis du nombre croissant d'objets connectés, en dix ans (2015-2025), 150 milliards d'objets devraient se connecter entre eux, avec l'Internet et avec plusieurs milliards de personnes¹. L'information issue de ces mégadonnées devra de plus en plus être filtrée par des algorithmes complexes, ce qui fait craindre une moindre protection des données personnelles, une information des personnes et de la société de moins en moins autodéterminée notamment en cas d'appropriation exclusive de filtres numériques par des entités (gouvernementales ou privées) qui pourraient alors manipuler les décisions. L'ETH plaide donc pour des systèmes d'information ouverts et transparents, fiables et contrôlés par l'utilisateur.

L'Internet des Objets est un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant.

L'Internet des objets (l'IdO ou IoT en anglais) semble être la « révolution technologique du XXIème siècle ». Il est partout, de la maison intelligente jusqu'aux nanorobots dans la médecine. Plus de 30 milliards d'objets connectés sont prévus à travers le monde en 2020.

Dans le cadre de ce cours axé sur des projets pratiques, vous utiliserez une carte Arduino et un capteur DHT pour développer un dispositif IoT électronique qui transmet en continu les données à partir de l'Internet à un utilisateur à distance éloigné.

2. DOMAINE D'APPLICATION**2.1. Applications de l'Internet des Objets :**

On n'en entendait à peine parler il y a quelques années, et ils sont maintenant partout. Les objets connectés ont envahi notre quotidien sans même que nous y prêtions attention.

De la télé intelligente à la voiture connectée, nos loisirs, nos déplacements sont facilités par ces nouveaux outils qui augmentent grandement notre confort.

Le potentiel des objets connectés est énorme. Une étude de 2016 du cabinet Gartner prévoit qu'en 2020, plus de la moitié des outils et process métiers feront appels à l'Internet des Objets. Les applications sont variées et recouvrent de nombreux domaines : industrie, sciences, santé,... Les Jeudis vous proposent dix applications de l'IdO qui transforment le paysage sociétal.

2.1.1. L'IoT dans le domaine de la santé

Machines à rayons X et imagerie, moniteurs connectés, compteurs d'énergie... 60 % des hôpitaux mondiaux utilisent déjà l'Internet des Objets pour augmenter leur productivité et améliorer les soins apportés aux patients. L'étude d'Arubanetworks montre que d'ici 2019, c'est presque 90 % des services de santé qui auront intégré les objets connectés dans leur matériel médical.

Les objets connectés sont utilisés au quotidien pour :

- La surveillance au sein des établissements médicaux et la maintenance
- Les opérations chirurgicales et le contrôle à distance
- Les services de géolocalisation

La normalisation de l'Internet des Objets dans le domaine de la Santé va permettre de créer de nouveaux modèles de fonctionnement qui augmenteront la productivité des employés, mais aussi la collaboration entre soignants ainsi que la communication avec les patients.

2.1.2. La révolution numérique

L'intelligence artificielle est une véritable plus-value dans le domaine énergétique, qui pourrait dans les années à venir représenter un investissement écologique décisif dans l'avenir de notre société. Les enjeux sont également économiques, et les entreprises l'ont bien compris.

L'IoT, dans le cadre de l'énergie, répond à des problématiques majeures :

- Appauvrissement des ressources naturelles
- Accroissement des besoins énergétiques à l'échelle mondiale
- Instabilité des prix du marché
- Manque de main d'œuvre humaine

La révolution numérique est entrée dans le débat des secteurs énergétiques par la gestion des ressources : compteurs énergétiques, réseau intelligent mais aussi l'Internet des Objets à domicile, avec la maison intelligente.

2.1.3. La domotique ou maison connectée

Appelée également domotique, la maison intelligente est en train de se normaliser. Une étude du cabinet Juniper Research prévoit d'ailleurs un accroissement de 200 % du nombre d'objets connectés à l'intérieur des habitations d'ici fin 2021.

Outre les objets de divertissement comme les télévisions intelligentes ou les enceintes connectées, la domotique a pensé également la sécurité et l'économie d'énergie au sein de l'habitat :

- Centrale domotique : contrôle et programmation de différentes interventions à l'intérieur du foyer
- Capteurs d'informations (système d'alarme, variations de température, etc.)
- Actionneurs, qui permettent la programmation et le contrôle des différents appareils électroniques du foyer, même à distance

2.1.4. L'industrie connectée

L'industrie n'est pas en reste sur l'usage de l'Internet des Objets et des bénéfices que celui-ci lui apporte. Dans le cadre des problématiques rencontrées dans le domaine industriel, l'usage des objets connectés est très spécifique et répond à des besoins :

- D'optimisation (chaîne logistique)
- De transformation des processus d'entreprise
- D'amélioration de l'efficacité et de la productivité
- De traçabilité et de sécurité

La révolution digitale est aussi l'opportunité pour certains types d'industrie de se renouveler et d'apporter une plus-value sur un terrain en perte de popularité. C'est par exemple le cas avec SNCF Fret, qui retrouve doucement ses lettres de noblesse en lançant sa locomotive connectée, qui permet une meilleure traçabilité de ses wagons, et une plus grande sécurité pour le client.

2.1.5. L'Internet des objets dans l'agriculture

La croissance rapide de la population mondiale, les changements d'habitudes alimentaires, les perturbations climatiques sont trois grands facteurs, parmi d'autres, qui font de l'agriculture moderne un défi au quotidien.

D'ici 2050, la productivité agricole devra avoir augmenté de 70 % pour répondre à la demande mondiale. Plus qu'un défi technologique, il s'agit d'un enjeu humanitaire. Les céréaliers et maraîchers ont d'ors et déjà mis à profit les drones afin de récolter en temps réel des informations essentielles à la gestion de l'exploitation :

- Humidité de la terre
- État des plantations
- Climat, etc.

Les données récoltées sont transférées aux tracteurs connectés (parfois autonomes). Cela permet de doser finement le niveau d'engrais et d'arrosage sur telle ou telle parcelle et de réduire les coûts, tant financiers qu'énergétiques.

2.1.6. Les objets connectés dans les élevages

Traceurs GPS pour le bétail, recueillement des habitudes alimentaires des bovins, les objets connectés ne sont pas seulement utiles aux agriculteurs, mais également aux éleveurs qui peuvent surveiller plus finement l'état de santé de leurs bêtes.

Avez-vous déjà entendu parler des vaches connectées ? Fait amusant, il s'agit de l'animal le plus connecté au monde ! Son collier doté de nombreux capteurs permet une meilleure traçabilité mais aussi d'avoir des informations en temps réel sur son état de santé et son comportement.

2.1.7. Smart retail des supermarchés branchés

Le commerce physique subit aussi les transformations de l'ère digitale. Fortement concurrencées par le e-commerce et m-commerce, les boutiques de vente au détail veulent tirer profit de la popularité de l'IdO en alliant l'e-commerce à la vente traditionnelle.

Les boutiques physiques ont donc elles aussi pris le pas de la révolution numérique et sont de plus en plus nombreuses à proposer des fonctionnalités ludiques et interactives afin de renforcer l'expérience de vente et accroître le taux de conversion.

On retrouve, parmi les concepts de « smart retail », la technologie d'identification par radiofréquence (RFID) qui permet de renforcer l'expérience client en offrant un parcours client ultra personnalisé. Outre les applications mobiles, des concepts de caddies connectés ont déjà été pensés pour faciliter les courses en supermarché :

- Liste de courses intégrée
- Parcours guidé pour optimiser le temps de course

- Calcul automatique du montant du panier, ...

Les commerçants investissent également dans les applications mobiles pour fidéliser et attirer les clients vers les boutiques physiques, par le biais, par exemple, de notifications sur les promotions / soldes en cours lors du passage d'un client près d'une boutique.

2.1.8. Des villes intelligentes et connectées

Appelées « smart cities » ou encore « villes connectées », les villes ont entamé leur transition digitale pour répondre aux enjeux de la société moderne. Urbanisme, économie et développement durable forment des enjeux importants pour les villes de demain, qui doivent répondre aux besoins d'une population toujours plus dense avec des ressources de plus en plus limitées.

En effet, la pollution de même que la surpopulation sont deux problématiques majeures pour les agglomérations, qui doivent répondre aux enjeux économiques et sociaux d'une population croissante sans dégrader la qualité environnementale dans laquelle elle évolue.

Là encore, l'Internet des Objets est utile :

- Foyers domotiques
- Supports numériques
- Capteurs et compteurs intelligents
- Bornes de rechargement pour véhicules électriques
- Eclairage citoyen intelligent, etc.

Les applications des systèmes connectés sont nombreuses et c'est un véritable vivier d'innovations pour les métiers de l'informatique et du digital. Au sein des villes intelligentes, la gestion de la consommation du particulier est mieux gérée, tout comme le traitement à plus large échelle des consommations de la ville (coût et pollution des transports en communs et déplacement urbains, traitement des déchets, gestion de l'électricité...).

2.1.9. La sécurité routière

Particulièrement populaire depuis ces dernières années, la voiture connectée participe grandement au renforcement de la sécurité routière. La révolution numérique a offert à l'industrie automobile des perspectives jusqu'alors jamais vues.

- Boitier d'appel d'urgence autonome
- Tableau de bord synchronisé avec le smartphone
- Développement d'applications sur les plateformes dédiées...

La voiture d'aujourd'hui se transforme en véritable ordinateur qui conduit peu à peu à la voiture autonome, comme celle actuellement en essai chez Google. Si nos véhicules ne sont pas encore capables de se conduire tout seuls, ils n'en deviennent pas moins de plus en plus autonomes grâce à un système d'automatisation de certaines tâches de conduite (allumage des phares, park assist, freinage automatique).

2.1.10. Gestion des appareils avec leurs accessoires

Les objets connectés envahissent les espaces publics et les entreprises, mais également notre foyer, comme nous l'avons vu. Ils sont aussi transportables et servent à notre quotidien pour notre sécurité, notre confort ou tout simplement pour notre divertissement.

C'est le cas, par exemple, des casques Dashbon capables de se transformer en masque capable de projeter directement à nos yeux les vidéos et films en cours de lecture sur notre smartphone.

Montres et bracelets connectés se sont également fait leur place sur le marché et servent à de nombreux usages, du divertissement jusqu'à la santé, et peuvent même servir d'assistance pour les personnages en difficulté.

Toutes ces applications entraînent l'accroissement des nouveaux métiers du digital. De la cybersécurité à l'accompagnement à la transition numérique, les profils du Big Data sont toujours plus sollicités. [4]

3. LES TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION DES OBJETS CONNECTES

3.1. Les technologies de courte portée

3.1.1. Le protocole NFC

Les protocoles **Near Field Communication (NFC)** sont fondés sur la technologie d'identification par radio fréquence RFID (Radio frequency identification). Les objets équipés d'une puce électronique RFID possèdent une « étiquette » et sont automatiquement identifiés par radio fréquence lorsqu'ils se trouvent à proximité d'un équipement appelé interrogateur. Le protocole NFC est un standard de communication radiofréquence sans contact à très courte distance, de l'ordre de quelques centimètres, permettant une communication simple entre deux équipements électroniques. Il est par exemple utilisé dans de nombreuses entreprises pour les badges d'accès aux locaux, ou comme support d'un abonnement à un réseau de transport en commun.

3.1.2. Bluetooth

Inventé en 1994 par la société suédoise Ericsson, le protocole **Bluetooth** est un standard de transfert de données sans fil. Il utilise une faible bande passante, ce qui ne lui permet de transférer que peu de données à de courtes distances, mais est également très peu énergivore. Inclus à l'immense majorité des téléphones mobiles, afin de réaliser une communication entre deux téléphones, ou entre un téléphone et un objet connecté de nature différente, il possède désormais de nombreuses applications : oreillette de discussion téléphonique sans fil, montre intelligente, moniteur de fréquence cardiaque, enceinte portative de diffusion de musique, station météo, thermostat, etc. Ce protocole est également utilisé sur des capteurs statiques appelés beamers pour mesurer des flux, par exemple des clients dans un magasin.

3.1.3. Zigbee

Zigbee est un protocole de communication radio développé spécifiquement pour les applications de domotique. D'une portée moyenne de 10 mètres, il utilise une faible bande passante et est idéal pour le transfert de données en faible volume. Peu

énergivore et conçu pour des échanges de données à bas débit, le dispositif Zigbee convient aux appareils alimentés par une pile ou une batterie, et en particulier aux capteurs. Il est conçu pour fonctionner en réseau maillé : chaque nœud reçoit, envoie et relaie des données. Il est par exemple utilisé par certains détecteurs de fumée.

3.2. Les technologies de moyenne portée

3.2.1. Z-Wave

Le **Z-Wave** est un protocole de communication sans fil principalement dédié à la domotique. Il permet de transmettre des données sur des distances allant de 30 mètres en intérieur à 100 mètres en plein air. Il fonctionne en réseau maillé, chaque appareil connecté pouvant relayer les informations émises par ses voisins, ce qui lui permet d'élargir sa portée. Le protocole Z-Wave a été développé pour des usages peu énergivores nécessitant un faible débit de données. Tout comme le protocole Zigbee, l'utilisation de Z-Wave ne nécessite que très peu de puissance et les appareils peuvent donc communiquer pendant plusieurs années avec une simple pile.

3.2.2. Wi-Fi

Le **Wi-Fi** désigne un ensemble de protocoles de communications sans fil, permettant des connexions à **haut débit** sur des distances de 20 à 100 mètres. Il s'agit d'un réseau local sans fil très énergivore, qui ne convient que pour les appareils branchés sur secteur ou dont l'alimentation électrique peut être aisée et fréquente. Il permet de transférer rapidement beaucoup de données. Il existe différentes normes Wi-Fi correspondant à une portée et un débit variables.

3.2.3. Bluetooth Low Energy

Aussi connue sous l'appellation Wibree, la technologie **Bluetooth Low Energy** (BLE) est un protocole de réseau personnel sans fil à très basse consommation. Comme la technologie Bluetooth originelle, le BLE ne permet de transférer qu'une quantité limitée de donnée à une distance moyenne de 60 mètres. La différence entre les dispositifs Bluetooth et BLE se situe au niveau de la consommation électrique nécessaire à la communication, qui est dix fois moindre pour BLE.

3.3. Les technologies de longue portée

3.3.1. Réseaux cellulaires mobiles

Fournis par les opérateurs de télécommunication, les **réseaux cellulaires mobiles**, basés sur la technologie GSM, permettent de transférer une quantité importante de données à une longue portée. Ils nécessitent l'installation d'une carte SIM dans l'appareil à connecter, afin d'identifier celui-ci sur le réseau de communication. Succédant aux premières générations des standards pour la téléphonie mobile, qui ont progressivement permis d'accroître le débit de communication, la quatrième génération (4G) permet une communication mobile à très haut débit.

3.3.2. Réseaux radio bas-débit

a-Sigfox est un réseau de communication radio sans fil à bas débit et à basse fréquence, d'une portée moyenne de 10 kilomètres en milieu urbain et de 30 à 50 kilomètres en milieu rural. Il est également une technologie créée par l'entreprise du même nom. Ce réseau convient à des appareils à basse consommation, dotés ainsi d'une grande autonomie, qui transfèrent une faible quantité de données.

b-LoRa est un protocole de communication radio à très basse consommation, qui permet de transmettre des données en petite quantité, à des distances de 2 à 5 kilomètres en ville et jusqu'à 45 kilomètres en milieu urbain. À l'instar de Sigfox, il s'agit d'un dispositif qui convient particulièrement aux équipements peu énergivores n'émettant que périodiquement, notamment les capteurs.

3.3.3. Réseaux propriétaires

Certains grands groupes industriels, dotés de moyens financiers conséquents, préfèrent installer leur propre réseau de communication. Le déploiement de ces réseaux dits privés ou propriétaires est particulièrement intéressants en cas de déploiement à très grande échelle d'appareils communicants. C'est ainsi que m2ocity, filiale de Veolia Eau et d'Orange, a choisi d'installer son propre réseau de

communication pour connecter les compteurs d'eau intelligents et réaliser des opérations de télé-relevé, de même que Suez.

Le système de comptage évolué à destination des clients résidentiels de gaz naturel de GRDF se fonde également sur un protocole radio à longue portée spécifique et propriétaire : une bande de fréquence radio réservée (169 MHz) est utilisée pour assurer la communication des données entre les compteurs et les concentrateurs de données, eux-mêmes chargés de transmettre au système d'information central les informations qu'ils ont collectées.

4. CHOISIR UN RESEAU ADAPTE A SON BESOIN

Les objets connectés forment une famille extrêmement diversifiée, en expansion permanente. La diversité des technologies de radiocommunication répond à l'hétérogénéité du parc mondial d'objets communicants :

- Pluralité des usages : domotique, maintenance prédictive, téléphonie, transfert et traitement de données, etc. ;
- Pluralité des publics visés : consommateurs résidentiels ou industriels, collectivités locales, etc. ;
- Pluralité des réglementations : bandes de fréquences d'utilisation libre ou sous licence, etc.

Tableau 1 : Technologies de communication

Technologie	Courte portée			Moyenne portée			Longue portée	
	NFC	Bluetooth	Zigbee	Z-Wave	Wi-Fi	BLE	SigFox	LoRa
Portée moyenne (en intérieur)	<10 cm	10 m	10 m	50 m	50 m	50 m	>2 km	2 km
Débit (Mbit/s)	1.10 ⁻³	1.10 ⁻³	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻³	1.10 ⁻³	1.10 ⁻³
Autonomie	Mois	Jours	Années	Années	Jours	Mois	Années	Années
Fréquence	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz 868 MHz	868 MHz	2,4 GHz 5 GHz	2,4 GHz	868 MHz	868 MHz
Usages	Téléphonie Cartes de paiement	Périphériques informatiques et multimédia	Domotique		Navigation Internet Transferts conséquents de données	Périphériques informatiques et multimédia	Prévention d'incidents Collecte de données Gestion de réseaux	

Les entreprises choisissent la technologie de télécommunication qui connectera leur parc d'objets communicants en fonction d'un certain nombre de critères, notamment techniques, tels que la portée, le débit et l'autonomie, c'est-à-dire la consommation électrique des objets connectés. Ces technologies sont représentées par le graphe.1 ci-dessous.

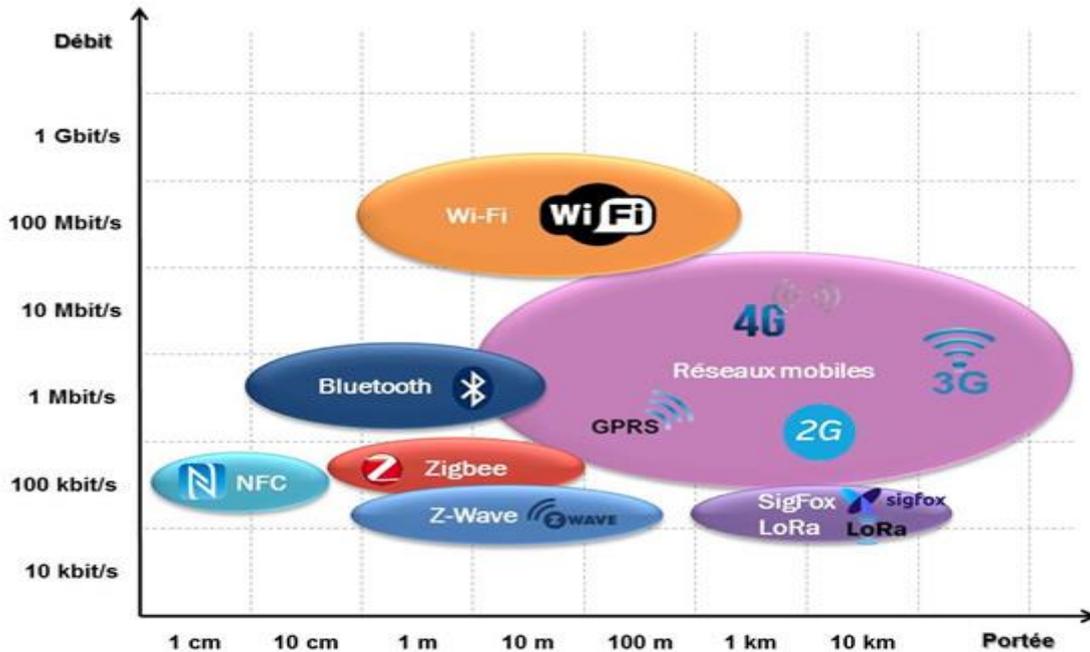


Figure 3 : Technologies de communication

Les besoins en termes de réseaux de communication évoluent sans cesse, au rythme de l'apparition de nouveaux besoins. Ainsi, si l'accent a longtemps été mis sur l'augmentation du débit, peut-être parfois au détriment de la portée, de nouvelles technologies de radiocommunication mettent en avant leur caractéristique longue portée et bas débit. Les réseaux de type SigFox ou LoRa ont su identifier un nouveau marché pour les opérateurs de réseaux appelés à gérer un réseau de capteurs très étendus et peu énergivores.

La multiplicité des réseaux de communication pose la question de leur compatibilité avec les objets connectés et plus généralement de l'interopérabilité entre les objets connectés n'utilisant pas les mêmes protocoles de communication. [5]

5. LES PRINCIPALES MENACES LIEES AUX OBJETS CONNECTES ?

5.1. Chaque objet connecté a un potentiel exploitable caché : même si votre cafetière a pour tâche première de faire du café, son système d'exploitation est capable de faire beaucoup plus en arrière-plan. Sachant cela, un hacker peut s'introduire dans une entreprise ou chez un particulier par ce biais.

5.2. Il y a beaucoup d'objets connectés qu'on oublie : ces objets, comme les alarmes ou les détecteurs de mouvement sont conçus pour fonctionner pendant des années. On a donc tendance à les oublier lors des tournées de maintenance. C'est une erreur de votre part, et une aubaine pour les cybercriminels !

5.3. L'importance d'une protection sécurisée sur les objets : les cybercriminels s'en prennent de plus en plus à ces catégories, et s'intéressent davantage à l'écriture de données plutôt qu'à la lecture. Par exemple dans une usine, un cybercriminel n'a aucun avantage à retirer du piratage du débit d'un tuyau. En revanche, s'il en prend le contrôle, il pourrait changer ce débit et provoquer un incident. Nous n'imaginons même pas ce qu'il pourrait se passer sur des objets connectés dans le milieu médical !

6. COMMENT VOUS PROTEGER DES INTRUS ?

6.1. Avant d'acheter un objet connecté, recherchez sur internet ses éventuelles vulnérabilités. L'IoT étant un vrai sujet, il est tout à fait probable que l'objet que vous envisagez d'acheter ait déjà été examiné par un expert en cybersécurité, que ce soit un écoute-bébé ou autre.

6.2. Privilégiez d'acheter des produits ayant déjà connu plusieurs mises à jour. En effet, acheter un objet qui vient de sortir sur le marché est moins sûr : ils peuvent contenir des failles encore inconnues.

6.3. Avant de décider d'acheter un objet connecté, tenez toujours compte des risques pour la cybersécurité. Par exemple, préférez un système d'alarme professionnel à celui qui se commande sur une appli : ce serait dommage de laisser le contrôle de votre porte de garage à vos cambrioleurs !

7. COMMENT SE DEVELOPPE LA LUTTE CONTRE LES CYBER-RISQUES ?

7.1 La philosophie de risque intégrée n'est plus une option.

Dans la plupart des grandes organisations, l'approche en matière de cyber-risque a assez bien fonctionné et force les dirigeants les plus réticents à rehausser les normes de sécurité de leur entreprise à tous les niveaux de l'organisation. Aujourd'hui, prévenir et anticiper les menaces liées à l'IoT avant qu'elles ne se développent, surveiller et neutraliser les menaces déjà en jeu et rétablir n'est plus optionnel, mais bel et bien indispensable.

7.2 La gestion des cyber-risques et l'innovation doivent être sur un pied d'égalité.

Aujourd'hui, les données créées par les objets connectés sont devenues un marché gigantesque et des modèles commerciaux entiers reposent sur des milliers d'organisations, ce qui pousse les entreprises à investir de manière significative dans les capacités d'analyse client afin de découvrir de nouvelles sources de valeur pour leurs clients. Données de reconnaissance faciales, d'accès aux installations ou de système de contrôle industriel... la gouvernance des données n'a pas suivi le rythme au fil du temps. Cyber-risque et innovation sont inextricablement liés : l'un ne doit pas être subordonné à l'autre.

7.3 Pas de normes de risque globales.

L'IdO est un écosystème et un modèle de fonctionnement intrinsèquement partagés qui transcendent les secteurs public et privé. Pourtant, aujourd'hui, il n'y a pas de normes uniformes régissant l'Internet des objets.

Bien sûr, les partenaires IoT opèrent en coopération dans un état d'esprit de responsabilité partagée en matière de sécurité. Pendant que l'IoT continue de croître à une vitesse phénoménale, les normes officielles ne suivent pas et les chefs d'entreprise et les leaders technologiques n'ont d'autre choix que de commencer à élaborer et à mettre en œuvre leurs propres normes mondiales en matière de cyber-risque, malgré le manque de directives.

La modernisation peut fonctionner, mais elle introduit de nouveaux risques. Certaines entreprises de technologie, de médias et de télécommunications cherchent à mettre en œuvre des solutions IoT, par-dessus des systèmes existants, qui sont, eux, bien plus vulnérables aux piratages. Moderniser oui, mais les organisations doivent d'abord évaluer les risques avec précision.

L'Internet des objets est passé de la science-fiction à la réalité plus rapidement que prévu, et est désormais une source d'énormes opportunités pour la création et la capture de valeur, leur permettant d'innover plus rapidement, de prendre de meilleures décisions et d'offrir des produits et des services attrayants à leurs clients. Le plus important est d'innover en se prémunissant au maximum des risques liés à la cyber sécurité.

8. LA SECURITE DANS L'INTERNET DES OBJETS

Cinq raisons pour lesquelles la sécurité de l'Iot est difficile, la sécurité de l'internet des objets, ou Iot (internet of things) n'est plus une considération secondaire.

L'IoT – smartphones, imprimantes multifonctions, maisons connectées, voitures autonomes, etc – est partout. C'est une bonne nouvelle. La mauvaise nouvelle, c'est que : Les pirates informatiques et les cyber-voleurs savent comment attaquer ces appareils pour accéder à vos données ou à vos systèmes de contrôle industriels.

Pire encore, de nombreux capteurs, actionneurs, contrôleurs et dispositifs informatiques sont connectés à la plupart des infrastructures essentielles dans le monde. La plupart de ces appareils ont été conçus bien avant que les pirates informatiques et les intrusions électroniques ne pénètrent dans nos consciences. Cela signifie que les réseaux électriques intelligents, les centrales nucléaires, les centres de commandement militaires, les installations intelligentes des villes et les systèmes de transport – pour ne citer que quelques exemples – représentent des cibles importantes pour les pirates et les autres mauvais acteurs.

C'est pourquoi les concepteurs, les opérateurs, les fournisseurs et les utilisateurs des systèmes IoT actuels n'ont plus le luxe de privilégier la flexibilité et l'interopérabilité dans leurs conceptions de l'IoT. Désormais, la sécurité et la confidentialité de l'Internet des objets doivent être au centre des préoccupations.

Les chercheurs de PARC, une entreprise de Xerox, l'ont remarqué. De ce fait, l'une des missions de PARC consiste à développer des solutions de sécurité innovantes qui empêchent les attaques sur les flottes de périphériques cyber-physiques faisant partie du monde plus vaste de l'Internet des objets.

Ersin Uzun et Shantanu Rane, chercheurs à PARC, définissent le problème :

8.1 Les contrôles industriels

À l'origine limités à leur environnement physique, ces appareils sont désormais connectés à des réseaux informatiques. Un appareil peut devenir une passerelle vers votre réseau si un attaquant présente les bonnes informations d'identification ou trouve un moyen de contourner ces informations.

8.2 Une surface d'attaque riche

Les avancées en matière de calcul et de connectivité ont engendré des solutions qui automatisent, améliorent et simplifient les tâches clés telles que la collecte des lectures de capteurs sur une ligne de production, la mise en œuvre de chaînes d'approvisionnement intelligentes, qui vérifient la fraîcheur d'une expédition alimentaire, en programmant des coupes et des formes précises que les machines CNC exécutent sur un bloc de métal. Malheureusement, elles présentent également une surface d'attaque exposée, qui peut être exploitée par des pirates informatiques.

8.3 La sécurité dès la conception est difficile

En effet, le concepteur du système doit comprendre l'attaquant potentiel et les innombrables moyens créatifs dont il dispose pour compromettre un système donné.

8.4 Des solutions complexes

Les solutions de cybersécurité peuvent être trop complexes pour les capteurs peu coûteux et peu gourmands en énergie dont certaines applications industrielles et d'entreprise ont besoin. Il est nécessaire de développer des solutions de sécurité qui fonctionnent sur un large éventail de fonctionnalités.

8.5 La résilience

Un système IoT peut être compromis de deux manières : Infecter un composant qui interagit avec d'autres composants ; ou compromettre l'appareil en usurpant une lecture ou en modifiant un facteur critique dans l'environnement externe de l'appareil, tel que la température de la pièce dans laquelle il est placé. Il est important de noter que nous ne pouvons pas compter sur les solutions cryptographiques pour répondre à toutes les attaques possibles.

8.6 Qu'allons-nous faire maintenant ?

Au-delà des approches cryptographiques classiques, les solutions de sécurité doivent englober l'utilisation de modèles mathématiques pour comprendre le comportement du système qu'elles protègent. Un écart par rapport au modèle implique qu'une attaque peut être imminente ou en cours. À ce stade, les opérateurs humains peuvent isoler l'attaque. Par exemple, les composants affectés peuvent être déconnectés du réseau, ou bien un ensemble de clés compromises peut être rejeté.

La cybersécurité traditionnelle est un point de départ nécessaire, mais insuffisant pour sécuriser les systèmes IoT. C'est l'une des raisons pour lesquelles PARC axe ses recherches sur les solutions de sécurité dans trois programmes :

1. Plateforme de communication selon le principe de sécurisation par conception pour les systèmes IoT.
2. Interactions sécurisées entre les humains et les systèmes cyber-physiques.
3. Sécurité basée sur la modélisation hybride de systèmes cyber-physiques.

La sécurité est essentielle pour chaque entreprise. Des systèmes IoT sécurisés, résilients et adaptatifs nécessitent de bons partenariats. Parmi les concepts importants utilisés dans la suite, nous rappelons la notion d'identité. Dans l'IoT, les objets intelligents sont considérés comme des entités indépendantes, capables d'agir au nom d'un utilisateur. Il existe plusieurs définitions dans la littérature, concernant principalement l'identité et l'identité partielle des objets intelligents.

CONCLUSION

L'Internet des Objets permet le développement d'un grand nombre d'applications dotant d'intelligence un certain nombre de domaines : santé, maison, ville, télévision, automobile, processus industriels, etc. Le nombre d'objets connectés croît de manière exponentielle. Les solutions techniques se sont développées pour permettre l'interopérabilité entre les différents niveaux : applications, services du nuage, réseaux de communication et composants, du capteur intelligent au système informatique. Les problèmes de sécurité sont un point critique. Plus généralement, l'essor de l'Internet des Objets ne dépend pas uniquement de la possibilité de faire coopérer des objets courants équipés de microélectronique. Il est essentiel qu'existent simultanément des infrastructures fiables et sécurisées, des conditions économiques et légales d'utilisation et un consensus social sur la manière dont les nouvelles opportunités techniques doivent être utilisées. Dans le deuxième chapitre, nous allons voir les réseaux de communication utilisés par l'Ido.

Chapitre II

Les réseaux de communications actuels

INTRODUCTION

Les réseaux informatiques ont vu le jour à la fin des années 1960. C'est avec le projet ARPANET que le premier réseau a été lancé aux Etats-Unis par la DARPA. Bien entendu, en adoptant cette vue on ne considère pas les terminaux passifs reliés aux gros ordinateurs centraux comme des réseaux informatiques. Actuellement, les réseaux informatiques sont devenus incontournables. Dans le présent chapitre, nous présentons les notions de base des réseaux informatiques et de télécommunication.

1. LES RESEAUX INFORMATIQUES

Un réseau informatique est un ensemble de systèmes informatiques connectés entre eux pour assurer un service de communication de données.

Les réseaux informatiques sont les résultats de rapprochement de deux domaines : l'informatique et la télécommunication. En fait la télécommunication recouvre toutes les techniques (filaires, radio, optiques, etc.) de transfert d'information quelle qu'en soit la nature (symboles, écrits, images fixes ou animées, son, ou autres). L'histoire de la télécommunication a commencé en 1832, date à laquelle le physicien américain Morse (1791-1872) eut l'idée d'un système de transmission codée (alphabet Morse). Cependant le mot « *télécommunication* », est introduit en 1904 par Estaurié (polytechnicien, ingénieur général des télégraphes 1862-1942). En 1932 à la conférence de Madrid, ce terme a été consacré en renommant l'Union Télégraphique Internationale en Union Internationale des Télécommunications (UIT).

Malgré les profondes similitudes entre **les réseaux informatiques** et **les systèmes distribués (les systèmes répartis)**, il est important de noter la différence entre ces deux concepts. En effet, un système distribué est un ensemble de systèmes informatiques indépendants présentés à l'utilisateur comme un système unique cohérent.

Un réseau informatique est composé d'un ensemble de **noeuds** reliés par des **voies physiques** (Figure 01). Un noeud est une machine ou toute entité pouvant être adressée par un numéro unique. On distingue deux types de noeuds :

1. Les terminaux (Hôtes) : sont des systèmes informatiques interconnectés, capables d'échanger des données et sur lesquels tournent les applications des utilisateurs. Dans l'architecture client/serveur ces terminaux peuvent être des clients ou des serveurs.

2. Les noeuds intermédiaires : C'est l'ensemble des équipements qui assurent la communication dans le réseau. Parfois on appelle ces équipements des commutateurs ou des routeurs.

Les différents noeuds sont raccordés aux voies de communication par des équipements spéciaux appelés MAU (Medium Access Unit).

L'ensemble de noeuds intermédiaires et les voies de communications forment un **sous-réseau de communication**.

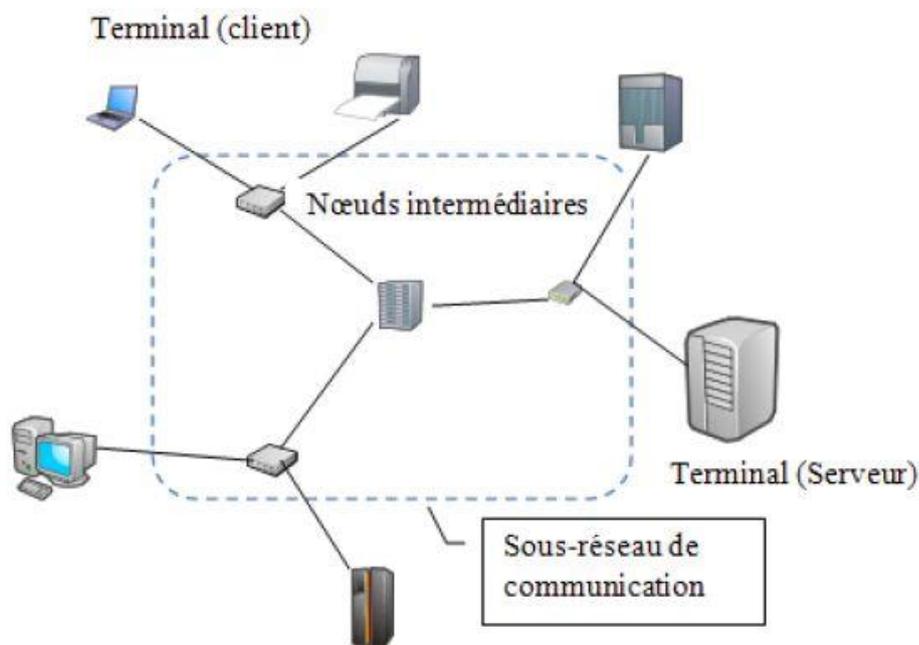


Figure 4 : Les composantes d'un réseau informatique

2. LES OBJECTIFS D'UN RESEAU INFORMATIQUE

Les réseaux informatiques sont nés du besoin de faire communiquer des terminaux distants avec un ordinateur central. En fait, l'évolution des besoins dépasse le désir de connecter les équipements des grands laboratoires et firmes pour le désir de

connecter toutes nos simples appareilles via les réseaux informatiques (notamment l'internet). Un réseau informatique offre plusieurs avantages comme :

Partage de ressources (Matériels : imprimante..., ou logiciel : Fichier...).

- Transfert de données (Fichiers, parole, vidéo...).
- L'interaction avec les utilisateurs connectés : messagerie électronique, conférence électronique, ...
- Fiabilité (en dupliquant les ressources).
- Rapport prix qualité (enjeu économique) : atteindre une puissance de calcul ou de traitement comparable à un multipro

3. CLASSIFICATION DES RESEAUX

Plusieurs critères peuvent être utilisés pour la classification des réseaux comme : la taille, la topologie ou la technique de transmission.

3.1. Classification des réseaux selon la distance

Comme on peut voir dans la Figure 02, les réseaux informatiques peuvent répartis en quatre classes selon leurs portés. Ainsi, on trouve :

PAN (Personal Area Network ou Réseau personnel) : c'est un réseau informatique centré sur l'utilisateur. Il désigne l'interconnexion de plusieurs mètres autour de celui-ci. Dans ce type des réseaux, des liaisons sans fil sont souvent utilisées.

LAN (Local Area Network ou réseau local): peut s'étendre de quelques mètres à quelques kilomètres et correspond au réseau d'une entreprise. Il peut se développer sur plusieurs bâtiments et permet de satisfaire tous les besoins internes de cette entreprise. Les LANs se distinguent des autres classes de réseaux par leur taille, leur technologie de transmission, leur vitesse de transmission et leur topologie. Ayant des débits de quelques Mb/s avec un support partagé.

MAN (Métropolitain Area Network ou réseau métropolitain) : interconnecte plusieurs lieux situés dans une même vile, par exemple les différents sites d'une

université ou d'une administration, chacun possédant son propre réseau local. Leur topologie ressemble à celle des LANs, mais ayant des normes différents de celles-ci. Leur débit peut être de quelques centaines de Kbits/s à quelques Mbits/s.

WAN (Wide Area Network ou réseau étendu): permet de communiquer à l'échelle d'un pays, ou de la planète entière, les infrastructures physiques pouvant être terrestres ou spatiales à l'aide de satellites de télécommunications.

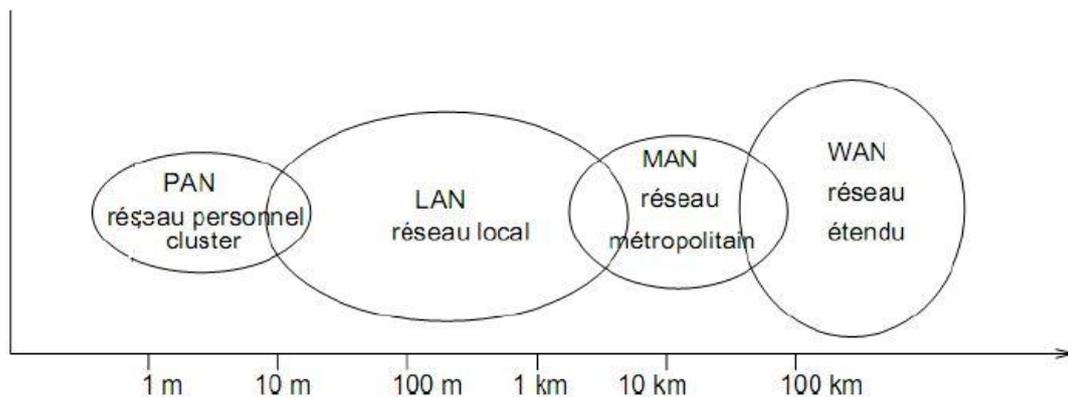


Figure 5 : Wide Area Network ou réseau étendu

3.2. Classification des réseaux selon la topologie

Une topologie désigne la manière dont les équipements d'un réseau sont organisés. En effet, il convient de distinguer deux classes de topologies : la *topologie logique* de la *topologie physique*.

Dans la topologie logique on considère le parcours de l'information entre les différents éléments de réseau. Les aspects de partage de support et les méthodes d'accès à ce dernier sont des éléments essentiels dans ce type de topologie.

Par contre, la topologie physique s'intéresse l'arrangement spatial des équipements. Cette topologie est choisie selon l'environnement, l'architecture et les besoins techniques de débit pour l'entreprise. En plus, elle a une importance extrême sur l'évolution de réseau, sur son administration et sur les compétences des personelles qui seront amené à s'en servir.

Il existe plusieurs topologies possibles. En plus, il est possible de combiner les différentes topologies pour former une topologie hybride. Les principales topologies sont :

La topologie en bus : dans ce type des réseaux les différentes stations sont reliées à travers le même câble par le biais des connecteurs spécialisés. A toutes les extrémités du câble est fixé un bouchon (un terminateur) qui empêche le signal de se réfléchir. Parce que le câble a été

partagé par toutes les stations, on ne trouve qu'une seule qui transmette des données dans une instant donnée. Les réseaux en bus sont simples, peu coûteux, facile à mettre en place et à maintenir. Si une machine tombe en panne sur un réseau en bus, alors le réseau fonctionne toujours, mais si le câble est défectueux alors le réseau tout entier ne fonctionne plus. L'augmentation de nombre des stations connectées au réseau dégrade les performances de ce dernier.

La topologie en étoile : dans ce type plusieurs câbles sont axés autour d'un noeud central. Les réseaux en étoile sont simples à administrer parce que la gestion des ressources est centralisée. En plus, les réseaux en étoile fonctionnent toujours, même si une station tombe en panne ou une liaison est coupée, tant que le noeud central est fonctionnel. Si le noeud central tombe en panne, le réseau entier devient hors service. Sur le plan économique, les réseaux en étoile sont coûteux surtout pour les réseaux WAN. On distingue deux types de noeuds centraux : les hubs et les switches. Le fonctionnement de hub consiste à faire la diffusion de l'information sur tous ses ports. Par contre, le switch assure la fonction de commutation (c'est-à-dire il envoie l'information seulement sur le port concerné).

La topologie en anneau : Il s'agit de la topologie en bus que l'on a refermé sur elle-même. Le sens de parcours du réseau est déterminé- ce qui évite les conflits. Dans ce type, la collision est évitée par une gestion basée sur le droit d'accès au support. En général, l'anneau se trouve à l'intérieur d'un boîtier qui s'appelle un MAU (Multistation Access Unit). Toutes les stations sont reliées au MAU. Le temps d'accès est déterminé (une machine sait à quel moment elle va pouvoir envoyer des informations). Pour éviter la panne du réseau en cas de destruction de câble, une autre boucle de secours est ajoutée dans la topologie anneaux doubles.

La topologie maillée : ce réseau est constitué d'un ensemble de stations reliées par des voies. Selon le nombre de relations établies on distingue des réseaux maillés complètement et des réseaux maillés irrégulièrement.

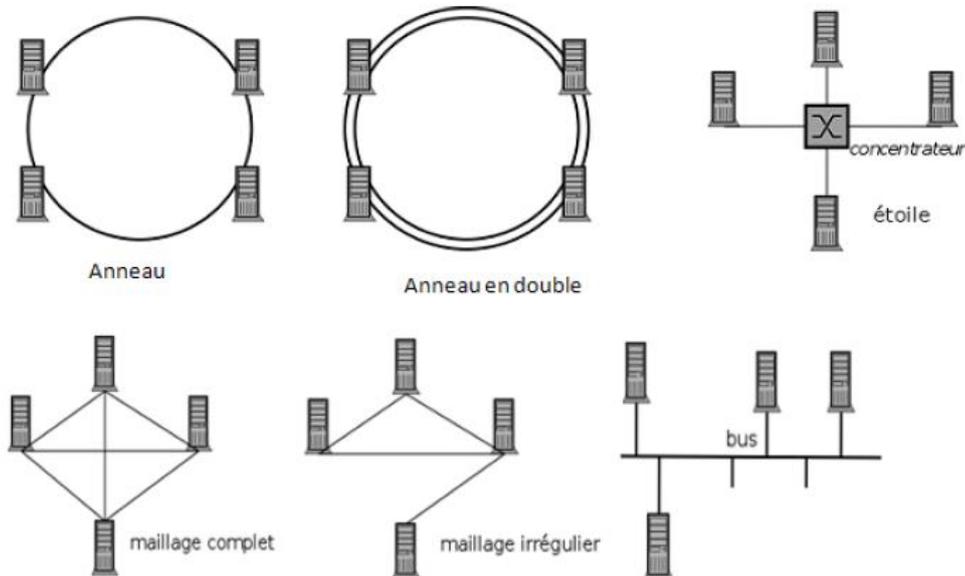


Figure 6 : La topologie maillée

4. LES RESEAUX DE COMMUNICATION

Un réseau de communication est un ensemble de connexion assurant la communication d'information entre des individus ou des terminaux. Un réseau de communication comprend idéalement : des émetteurs, des connecteurs, des canaux, un message, des récepteurs. Terminaux, des canaux ou connecteurs, des nœuds ou carrefour. L'organisation du réseau, centralisée ou décentralisée, influencera la nature des échanges. Pour pouvoir envoyer ou recevoir des informations, les objets connectés doivent pouvoir communiquer en utilisant un protocole de communication ainsi qu'un support de communication. La *connectivité* est là un *maillon essentiel* de l'*Internet of Things*.

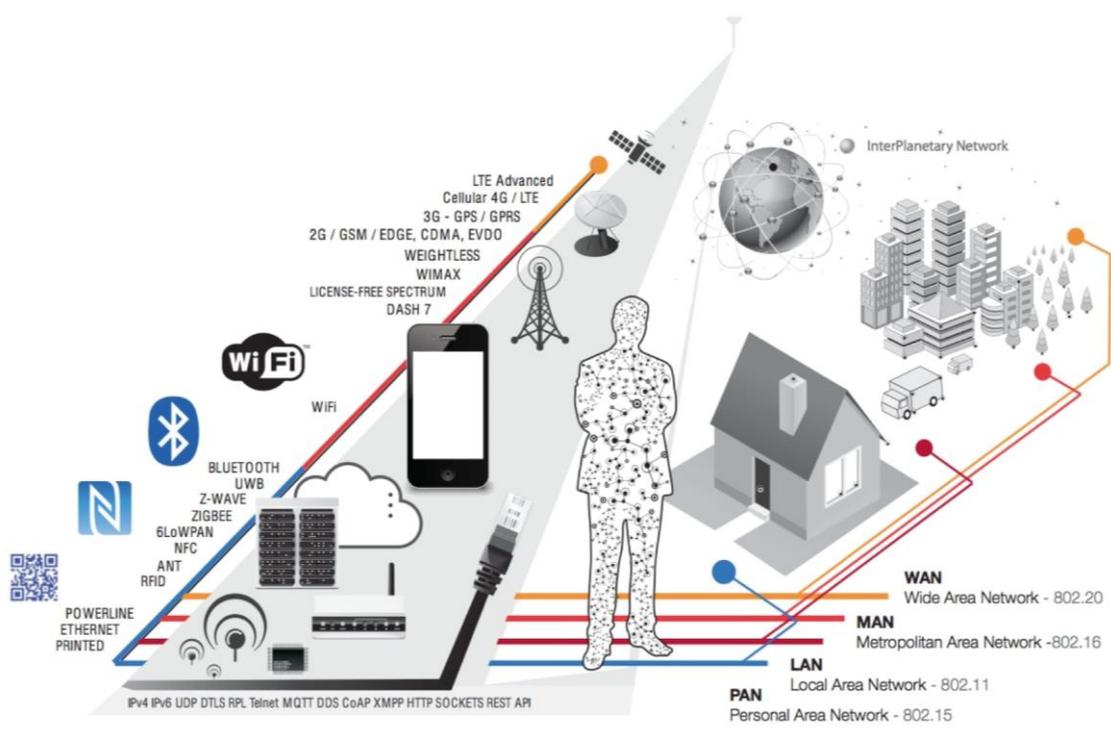


Figure 7 : Les réseaux de communication

5. LES TYPES DE RESEAUX DE COMMUNICATION

5.1. Réseaux Filaires

L’Ethernet est le plus connu et est directement associé aux réseaux filaires dédiés pour faire transiter les données. Cependant, il est tout a fait possible de faire communiquer deux objets en utilisant le CPL (courant porteur en ligne). Depuis 2012, le protocole G3- PLC a été spécialement développé et mis en place pour le fonctionnement des Smart Grid. Plus simple, global et ouvert, il offre de nouvelles opportunités dans la gestion intelligente du réseau électrique.

5.2. Réseaux sans fils

Pour l’IoT, les communications sans fils sont plus couramment utilisées. Les différents réseaux sans fils sont classés en fonction de leur bande passante, de leur distance de communication et de leur consommation. La consommation d’énergie des objets dépendra essentiellement de la technologie retenue mais aussi du volume et de la fréquence d’envoi des informations.

5.3. Les réseaux courte distance

Les bandes de fréquences radios utilisées sont des bandes de fréquences non licenciées et réglementées par l'ITU, International Télécommunications Union. Mondialement disponibles, elles sont appelées ISM : bande radio Industrielle, Scientifique et Médicale.

Quelques exemples de protocoles courtes distances : **Z-Wave**, **ZigBee**, **EnOcean**, **OpenThread**, **Wifi**, **NFC**. Fin 2016, le protocole **BLE** –Bluetooth Low Energy– évolue vers le **Bluetooth 5.0**, considéré comme une solution vers un nouveau standard pour la domotique.

5.4. Les réseaux très bas-débit

Les **LPWAN** -Low Power Wide Area Network- sont des réseaux longue distance permettant la communication des objets connectés sur plusieurs dizaines de kilomètres, pour un faible volume d'information et consommant très peu. Ils sont pour l'instant utilisés uniquement pour la communication M2M –Machine to Machine– dans le monde industriel.

5.5. Les réseaux mobiles

Ceux-ci n'ont pas été prévus avec une capacité suffisante pour envoyer d'importantes quantités de données même si les messages envoyés sont très courts. L'évolution des réseaux de téléphonie mobile permettra de supporter ces communications grâce à une augmentation de leurs bandes passantes. Ainsi en France, Free Mobile s'intéresse plutôt aux solutions existantes comme la 4G LTE et mise surtout sur le futur réseau 5G pour se lancer dans la course de l'IoT.

6. IOT & LES PROTOCOLES DE COMMUNICATION POUR LES RESEAUX SANS-FIL ET FILAIRES

Dans le domaine des réseaux sans-fil et filaires, un protocole de communication définit les règles et les procédures de communication des couches physiques et de liaison du modèle OSI sur un support/canal physique. Il permet ainsi de connecter un objet (device en anglais) à un réseau filaire ou sans-fil. En outre, si ce réseau comporte une passerelle (gateway en anglais), c'est-à-dire un appareil connecté à la

fois au réseau et à Internet, alors cet objet peut transmettre et recevoir des données depuis Internet.

7. SUPPORT PHYSIQUE

On entend par support physique le milieu physique à travers lequel la transmission d'information est réalisée. Celui-ci peut être segmenté en deux catégories :

7.1 Communications sans fil

Cela englobe les communications radio (cellulaires, Bluetooth, WiFi, SigFox, LoRaWAN...) mais aussi lumineuses (le protocole Li-Fi utilise les fréquences du spectre lumineux pour transmettre de l'information). Ce type de communication est utilisé dans les environnements hospitaliers car cela évite les nuisances provoquées par les communications radio comme le WiFi.

7.2 Communications filaires

Les communications filaires dans l'IoT sont principalement réalisées sur les trois supports :

- **CABLE A PAIRES TORSADEES** (pour les réseaux [Ethernet](#)) : très utilisé dans les environnements de bureautique, comme par exemple avec les imprimantes distantes ;
- **CPL** : il est notamment utilisé dans la domotique et dans les compteurs communicants.
- **Fibre optique** : idéal pour les communications à très haut débit.

8. LA PORTEE

La portée d'émission d'un signal, c'est-à-dire la distance maximale à laquelle un récepteur est capable de décoder le signal, peut être découpée en trois catégories :

- Courte : quelques mètres à une centaine de mètres
- Moyenne : centaines de mètres à quelques kilomètres

- Longue : jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres

La portée d'un signal dépend à la fois de la valeur de la puissance maximale d'émission prévue par le protocole et le milieu physique. En effet, en dehors des communications radio qui permettent d'atteindre de très longues distances, les milieux physiques que nous avons cités plus haut ne permettent de diffuser des signaux que jusqu'à quelques centaines de mètres. Pour pallier cette limitation, un ensemble de **répéteurs** sont généralement déployés pour relayer le signal.

Par conséquent, il est important de juger la distance à laquelle se trouvera votre objet de la passerelle la plus proche. En fonction de cette valeur, il sera évident que certains protocoles seront plus adaptés que d'autres.

9. DEBIT

Le débit est principalement limité par la modulation du signal et la largeur de la bande de fréquences : plus celle-ci est large et plus le débit est important. Cela s'explique par le fait qu'il y a plusieurs fréquences sur lesquelles il est possible d'émettre ou de recevoir simultanément plusieurs bits d'information. On peut citer l'exemple du protocole NB-IoT qui fonctionne sur les mêmes fréquences que le protocole LTE, mais sur une bande plus étroite.

Comme pour la portée, on peut également identifier des catégories de débit :

- Bas débit : jusqu'à plusieurs dizaines de bit/s ;
- Moyen débit : jusqu'à plusieurs centaines de Kbit/s ;
- Haut débit : Plusieurs centaines de Kbit/s et jusqu'à plusieurs dizaines de Mbit/s ;
- Très haut débit : Plusieurs centaines de Mbit/s voire plusieurs Gbit/s.

Il est intéressant d'avoir le plus haut débit possible pour transmettre de grands volumes de données, cependant, cela demande de grandes ressources d'énergie et de calcul. Par conséquent, les limitations en termes de ressources prédéterminent la catégorie de débit à utiliser.

Ajoutons qu'il est possible de constater que le débit de son objet est plus ou moins inférieur au débit dit « théorique » défini par le protocole, nous l'avons tous expérimenté avec nos abonnements téléphoniques. Cette différence est due aux équipements des constructeurs et/ou de la gestion du réseau par l'opérateur télécom. L'Arcep et UFC-Que Choisir publient régulièrement des rapports sur ce sujets.

10. COMPARATIF

Le tableau ci-dessous regroupe en ligne les principaux protocoles utilisés dans les projets IoT, et en colonne les paramètres que nous avons définis précédemment.

Tableau 2 : Les principaux protocoles utilisés dans les projets IoT

	Support physique	Topologie	Portée	Débit	PMAD	Géolocalisation	Avantages	Inconvénients	Applications
GSM (GPRS/EDGE)	Sans-fil	Cellulaire	Moyenne	Moyen	(mais difficilement)	Quelques mètres à des dizaines de mètres	Fonctionnalités multimédia (SMS, MMS), accès Internet et introduction de la carte SIM	Portée faible en zone rurale Possible abandon de la maintenance du réseau par les opérateurs	Appels vocaux, messages courts, navigation (partielle)
3G	Sans-fil	Cellulaire	Moyenne	Haut		Quelques mètres à des dizaines de mètres	Sécurité élevée, itinérance internationale	Consommation élevée d'énergie, couverture de réseau faible, coût élevé de licence de spectre	Vidéoconférence, TV sur mobile, GPS
4G	Sans-fil	Cellulaire	Moyenne	Très haut		Quelques mètres à des dizaines de mètres	Très haut débit, haute disponibilité, très bonne couverture géographique, gestion de la mobilité	Consommation en batterie grande, prix de l'abonnement important	Applications à très haut débit et très grandes volumes de données (voix, vidéo). Adapté à la télésurveillance, aux smartphones (IoT critique)
LTE-M	Sans-fil	Cellulaire	Longue	Moyen		Quelques mètres à des dizaines de mètres	Apport de nouvelles fonctionnalités d'économie d'énergie adaptées à une variété d'applications IoT. Pas d'utilisation d'un modem spécifique. Gère la mobilité des objets	En cours de déploiement, délai de livraison d'une donnée à l'objet variable	S'adresse à la fois aux applications propres au GSM et aux technologies LWPAN
SIgfox	Sans-fil	Diffusion	Longue	Bas		Jusqu'à plusieurs centaines de mètres	Très bas débit, faible puissance, prix bas pour l'appareil et l'abonnement (~ 1 € / mois), longue portée, économie de la batterie (> 10 ans)	Dépendance à une technologie propriétaire, utilisation d'un modem spécifique, ne gère pas la mobilité des objets, délai de livraison d'une donnée à l'objet très variable (jusqu'à plusieurs jours)	Uniquement adapté à la télémétrie à très bas débit
LoRaWAN	Sans-fil	Diffusion	Longue	Bas		Jusqu'à plusieurs centaines de mètres	Bas débit, faible puissance, prix bas pour l'appareil et l'abonnement (~ 1 € / mois), longue portée, économie de la batterie (> 10 ans)	Utilisation d'un modem spécifique, Itinérance en cours de déploiement, ne gère pas la mobilité des	Adapté à la télémétrie à bas débit. Ce qui englobe plus généralement l'IoT des masses

								objets, délai de livraison d'une donnée à l'objet très variable (jusqu'à plusieurs jours)	
NB IoT	Sans-fil	Cellulaire	Longue	Bas		Quelques mètres à des dizaines de mètres	Bas débit, prix bas pour l'appareil et l'abonnement (~ 1 € / mois) réduit, économie de la batterie (> 10 ans)	Utilisation d'un modem spécifique, ne gère pas la mobilité des objets, délai de livraison d'une donnée à l'objet variable	Convient pour des parcs importants d'appareils fixes et nécessitant un faible volume de données: adapté à la télémétrie pour les compteurs d'eau ou électrique connectés ou l'agriculture intelligente
WiFi	Sans-fil	Etoile	Courte	Très haut		Jusqu'à plusieurs mètres	Très Haut débit, qualité du signal assurée, connexion simple et rapide à la passerelle	Non adapté aux objets uniquement alimentés par batterie. Couverture réseau limitée à une faible zone autour de la passerelle. Une passerelle WiFi mal configurée expose le réseau à des failles de sécurité (man in the middle)	Adapté aux applications de domotique, au contexte indoor
ZigBee	Sans-fil	Mesh	Courte	Moyen		Jusqu'à plusieurs mètres	Technologie peu consommatrice en énergie et s'intègre à bas coût dans les équipements	Couverture réseau limitée à une faible zone autour de la passerelle. Achat d'appareils spécifiques car la technologie n'est pas disponible dans les smartphones et ordinateurs	Adapté aux applications de contrôle de commandes dans les contextes bureautique et domotique
Z-Wave	Sans-fil	Mesh	Courte	Bas		Jusqu'à plusieurs mètres	Adapté aux objets alimentés par batterie et communiquent à bas débit	Technologie adapté à des besoins très spécifiques. Achat d'appareils spécifiques	Spécifiquement conçu pour les applications de domotique
Bluetooth	Sans-fil	Etoile	Courte	Haut		Jusqu'à plusieurs mètres	Haut débit, faible portée, quasiment intégré dans tous les appareils du quotidien	Si la sécurité n'est pas bien configurée alors l'objet s'expose à des failles de sécurité telles que le	Adapté aux technologies portables telles que les oreillettes pour les communications voix ou

								bluejacking et le bluesnarfing	aux raccordements d'équipements à un PC
NFC	Sans-fil	Etoile	Courte	Moyen		x	Technologie facile à utiliser et à mettre en place. Idéal pour échanger de courtes informations	Contrairement au Bluetooth, la technologie n'est pas encore disponible dans les objets du quotidien tels que les smartphones	Adapté pour les situations de badge (paiement sans contact, titre de transport, contrôle d'accès...)
LiFi	Sans-fil	Etoile	Courte	Haut		x	Technologie moins coûteuse qu'une technologie radio car les ampoules LED peuvent être utilisées en tant que point d'accès (passerelle). Débit théorique supérieur à ceux des technologies radio. La lumière ne traverse pas les murs contrairement aux technologies radio cela offre une meilleure sécurité pour l'accès au réseau LiFi	Pas de communication sans lumière allumée. Technologie unidirectionnelle et doit être couplée avec une autre technologie (CPL, WiFi) ou être utilisée si il n'est besoin uniquement de débit descendant	Utilisé dans les milieux hospitaliers car cela évite les nuisances provoquées par les communications radio comme le WiFi. Adapté aux secteurs critiques comme dans la banque-finace, la défense ou les activités de R&D car cela garantit la confidentialité des communications
Fibre Optique	Filaire	Mesh	Moyenne	Très haut		x	Fourni le plus haut débit du marché et très stable car insensible aux perturbations électromagnétiques. Prix de l'abonnement pas plus cher que celui de l'ADSL	Déploiement national en cours. Raccordement à la fibre optique difficile et couteux pour une mise en production en masse	Adapté aux applications à fort volume de données nécessitant du très haut débit (téléchargement de fichiers, TV en 3D...)
CPL (X10)	Filaire	Mesh	Moyenne	Moyen	(partielle)	x	Contrairement à la fibre optique, les infrastructures électriques (urbaines, immeubles, habitation...) sont déjà présentes. L'installation d'objets est très simple car il suffit de les brancher sur les prises électriques. Contrairement aux communications radio (ex: WiFi), il n'y a pas de problèmes d'atténuations dues aux murs	Les communications sont assujetties à de fortes atténuations si l'infrastructure électrique est de mauvaise qualité	Idéal pour la domotique et le smart metering

CONCLUSION

Pour résumer ce que nous venons de voir, le choix du protocole de communication est capital car il permet la transmission/réception de données par l'objet. Il est donc important de se poser certaines questions avant de faire son choix. C'est ce que nous avons fait dans la première partie.

Ensuite, nous avons défini les paramètres protocolaires qui permettent de comprendre leur fonctionnement et d'apporter des éléments de réponse.

Enfin, le tableau ci-dessus vous propose un comparatif des protocoles les plus utilisés dans le marché de l'IoT, avec leurs caractéristiques, dans le but d'accompagner votre choix ou vous permettre de mieux comprendre le comportement de certaines technologies. Dans le chapitre qui suit on va présenter la cinquième génération Internet (5G) et ses spécifications pour l'IoT .

Chapitre III

Le réseau 5G

INTRODUCTION

Les générations 2G, 3G puis 4G de téléphonie mobile se sont inscrites dans une continuité technologique : chaque nouvelle génération était une évolution de la précédente. Avec la 5G, une véritable rupture technologique est née. Cette nouvelle norme de téléphonie mobile exploite par exemple les technologies IP et HTTP2 pour la gestion de la signalisation dans le contrôle du réseau pour une intégration dans le cloud. La 5G n'est plus seulement un accès mobile très performant, mais un véritable réseau d'intégration comprenant un ensemble de technologies permettant d'offrir des services adaptés aux verticales, comme la télémédecine, la ville intelligente, la voiture connectée, l'accès à Internet à très haut débit pour des applications de réalité virtuelle, etc. C'est une évolution encouragée par la communauté internationale, via le consortium 3GPP. En effet, les exigences de ces verticales, telles que la qualification des débits montants et descendants, les seuils de latence acceptables ou encore le niveau de disponibilité des systèmes sont pleinement considérées dès la phase initiale des spécifications de la 5G. La 5G offrira un débit accru et de très faible latence, proche de celui de la fibre optique, permettant de proposer une connectivité performante là où la fibre est absente, avec le FWA (Fixed Wireless Access). Du côté des opérateurs, la virtualisation du réseau permettra d'adresser tous les marchés avec une infrastructure unique. L'ère des équipements dédiés est révolue : la même architecture matérielle sera utilisée pour différents types de réseaux et services, grâce au logiciel. La virtualisation ouvre ainsi la porte au réseau à la demande, tout en souplesse. Le but de ce chapitre est de présenter l'architecture, l'intérêt et le fonctionnement de la 5G.

1. LA CINQUIEME GENERATION DE RESEAU MOBILE

Vous avez sans doute entendu parler de la 5G. Mais, vous ne savez pas ce que c'est. La 5G, c'est la 5^{ème} génération de réseau mobile. Une technologie qui va notamment permettre de répondre à l'explosion du trafic mobile.

Elle est la cinquième génération de **réseau de téléphonie mobile**. Il sera commercialisé à partir de l'année en cours. Petit retour en arrière pour comprendre l'intérêt de se doter d'un nouveau réseau. En 1986, la première génération a permis de passer des appels, la seconde d'envoyer des SMS. Créée en 2004, la 3G a rendu

possible l'Internet mobile. Quant à la 4G, qui est apparue en 2011, elle a permis de développer les usages de l'Internet mobile avec une plus grande rapidité. Et la 5G alors ?

Tout d'abord, la 5G doit permettre de répondre à l'explosion de notre consommation de data. Aujourd'hui, les Français consomment en moyenne 9 Go d'Internet mobile tous les mois. Et pourtant, le réseau 4G sature. Or, d'ici à 2025, un utilisateur sur 5 consommera 200 Go tous les mois. Voilà le premier intérêt de la 5G : apporter de l'oxygène au réseau et éviter les effets de saturation dans les zones très denses.

Aussi, dans un premier temps, "*La 5G sera assez proche de la 4G*", explique Jean-Paul Arzel, directeur réseau de Bouygues Telecom. Néanmoins, la 5G ne doit pas être vue comme une simple évolution de la 4G.

C'est en réalité une **technologie de rupture**, qui "se distingue des générations précédentes en ce qu'elle vise, dès sa conception, à intégrer un nombre de cas d'usages inédits", note l'Agence nationale des fréquences. Mais, "Les changements d'usages, les nouveaux usages, et de manière un peu massive, c'est pas avant 2023", assure Jean-Paul Arzel.

2. L'ARCHITECTURE DE RESEAU 5G ET SES SERVICES

Un réseau 5G est composé d'un réseau d'accès 5G (**AN**) et d'un réseau cœur 5G. Le réseau d'accès lui-même est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (**NG-RAN**), qui utilise la nouvelle interface radio 5G(NR), et/ou un non 3GPP AN connecté au réseau cœur 5G. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport TCP/IP sous-jacents, qui prend en charge les fichiers **QOS**.

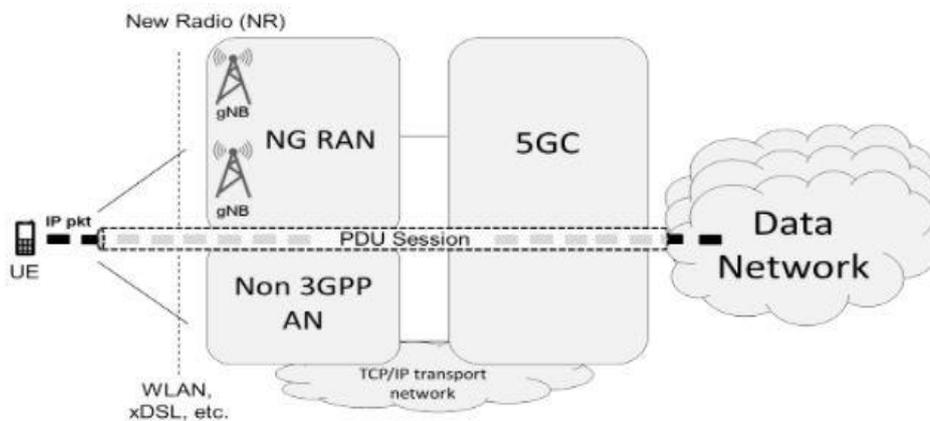


Figure 8 : Architecture de réseau 5G et ses services

NG-RAN New Generation of Radio Access Network (nouvelle génération de réseau d'accès radio)

AN Access Network (réseau d'accès)

UE User Equipment

PDU Protocol Data Unit

QOS Quality Of Service

Comme le montre la figure 8 le réseau 5G connecte l'équipement d'utilisateur (UE) à des réseaux de données externes. La session **PDU** représente le service de connectivité 5G, elle constitue par une séquence de tunnels NG dans le 5GC plus un ou plusieurs porteurs radios sur l'interface radio. Cet ensemble de "tubes" relie finement le **UE** à ses fonctions de contrôle ainsi que le réseau de données externe pour l'échange de trafic d'utilisateur

3. EN QUOI LA 5G EST-ELLE DIFFERENTE DE LA 4G ?

La 5G, c'est la cinquième génération de réseau mobile. Elle est plus élaborée. La 5G va utiliser plus de fréquences et des fréquences différentes de la 4G. Elle va tout d'abord permettre de désengorger le réseau 4G, proche de la saturation. Grâce à des débits beaucoup plus élevés, une latence beaucoup plus faible et la possibilité de

prendre en charge un plus grand nombre d'appareils, la 5G va permettre de développer des usages totalement différents de la 4G, comme la télémédecine, les véhicules autonomes, ou l'automatisation des usines.

4. COMMENT AVOIR LA 5G ?

Le réseau mobile 5G sera différent du réseau mobile 4G. Et, il faudra remplir trois conditions afin de pouvoir bénéficier de la 5G.

La première condition va de soi : il faudra être dans l'une des villes couvertes par la 5G, avant qu'elle ne se propage à l'ensemble du territoire. En revanche, pour les non-initiés, les deux autres conditions paraissent moins évidentes.

Tout d'abord, chez certains opérateurs, les forfaits 5G seront différents des forfaits 4G. Enfin, la dernière condition est d'avoir un smartphone compatible 5G. L'histoire se répète. En effet, il en avait été de même en 2011 pour le lancement de la 4G. Aussi, avoir la 5G passera par l'achat d'un nouveau smartphone.

En France, la 5G sera commercialisée à partir de l'année en cours. Mais, d'ores et déjà, il est possible d'acheter un smartphone compatible 5G auprès de certains opérateurs ou directement auprès d'un fabricant. Néanmoins, ils sont tous encore très chers. Et mieux vaut attendre quelques mois : il y aura plus de modèles, plus élaborés et aussi un peu moins chers.

5. LA 5G EST-ELLE DANGEREUSE POUR LA SANTE ?

C'est la question que tout le monde se pose mais à laquelle il est encore impossible d'apporter une réponse claire. L'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire) a été chargée par le gouvernement de conduire une expertise sur l'exposition de la population aux champs électromagnétiques de cette technologie et aux éventuels effets sanitaires associés. Mais, elle ne rendra pas ses conclusions et ses recommandations avant la commercialisation de la 5G. C'est pourquoi des associations ont déposé un recours devant le Conseil d'État pour obtenir un moratoire.

5.1. Les radiations émises par la 5G seraient inoffensives pour la santé

Pour les américains, l'affaire est classée depuis le 08 Août dernier. L'état-major de la FCC (Federal Communications Commission, le gendarme américain des télécoms), avec le soutien de la Food and Drug Administration (FDA), a conclu que la **5G est tout aussi inoffensive que la 3G ou la 4G.**

En France, l'Anses "a mis en évidence un manque de données scientifiques sur les effets biologiques et sanitaires potentiels liés à l'exposition aux fréquences autour de 3,5 GHz. De ce fait, les experts évalueront la possibilité d'extrapoler les résultats des travaux d'expertise antérieurs de l'Agence sur les impacts sanitaires des diverses technologies de communications existantes (3G, 4G, Wi-Fi, ...) qui utilisent des fréquences proches de la bande 3,5 GHz, de 0,8 à 2,45 GHz. Concernant les fréquences plus élevées, entre 20 et 60 GHz, les données disponibles dans la littérature sont plus nombreuses, les travaux d'expertise s'attacheront donc à les analyser pour évaluer les impacts sanitaires éventuels liés aux expositions dans la bande 26 GHz." dans un communiqué de fin janvier de 2020.

Le 11 mars 2020, la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants a estimé que les radiations émises par la 5G étaient inoffensives pour la santé : "*Nous avons pris en compte tous les types d'effets, par exemple si les ondes radio engendraient le développement d'un cancer sur le corps humain*", a déclaré le Docteur Eric van Rongen, président de l'ICNIRP, à la BBC. "*Il n'y a pas suffisamment de preuve scientifique pour conclure qu'il y a un tel effet*", a-t-il conclu.

La Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP), est un organisme reconnu par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). C'est notamment elle qui a fixé la limite à 2 W/kg pour les ondes émises par les smartphones (DAS).

Toutefois, la Commission a durci ses lignes directrices sur les rayonnements non ionisants, établies en 1998 et utilisées par de nombreux pays pour établir leurs restrictions en matière de champs électromagnétiques. Ces nouvelles lignes concernant la 5G mais aussi les ondes radio, le Wifi, le Bluetooth et les réseaux 3G et 4G.

Ainsi, il est ajoutée une limite d'exposition pour l'ensemble du corps et pour une exposition brèves (moins de 6 minutes), ainsi qu'une réduction de l'exposition maximale pour une petite région du corps. « *La chose la plus importante à retenir pour les personnes est que les technologies 5G ne seront pas en mesure de nuire lorsque ces nouvelles directives seront respectées* », rassure Eric van Rongen dans un communiqué de l'ICNIRP.

Si outre-Atlantique le débat est clos (du moins en apparence), le sujet risque de faire couler encore beaucoup d'encre en Europe et dans l'Hexagone. Impossible pour le moment de se prononcer formellement sur la dangerosité potentielle de la 5G sur la santé. Un recul de dix ans minimum paraît indispensable pour y voir plus clair sur la question.

6. À QUOI VA SERVIR LA 5G ?

À termes, le réseau mobile 5G va permettre une révolution des usages de l'Internet mobile. En attendant, dans un premier temps, grâce à des débits plus rapides, la 5G continuera d'améliorer les services existants dans le domaine grand public. On pense notamment au streaming en qualité 4K ou 8K, au cloud gaming, ou encore à la réalité virtuelle où à la réalité augmentée. Grâce à la densité, la 5G favorisera ensuite l'Internet des objets. Enfin, grâce à sa faible latence, la 5G va entraîner une révolution des usages qui va toucher de nombreux secteurs, et particulièrement l'industrie. Avec des bouleversements dans le domaine de la santé (télémédecine), des transports (véhicules autonomes), de la ville intelligente (maîtrise énergétique) ou encore des usines du futur (automatisation).

Pour comprendre l'intérêt de la 5G, on vient de voir qu'il y a trois mots importants à retenir : débit, latence et densité.

- **Le débit.** La 5G va permettre d'obtenir des vitesses de connexion à Internet beaucoup plus rapides qu'en 4G. La 5G est à la 4G ce que la fibre optique est à l'ADSL. Le débit de la 5G sera jusqu'à 10 fois plus rapide que le débit en 4G. Elle doit permettre d'atteindre jusqu'à 1 Gb/s de débit en réception (300 Mb/s en émission). Bien évidemment, il s'agit d'un débit théorique. Néanmoins, les

opérateurs devront dès le départ fournir en 5G un minimum de 100 Mb/s aux utilisateurs. Pour rappel, le débit moyen en 4G est de 45 Mb/s.

- **La latence.** C'est l'autre énorme avantage de la 5G. La latence, c'est le temps de réaction entre le moment où l'on passe une commande et le moment où elle se traduit à l'écran. Avec la 5G, elle passerait **de 10 à 1 ms**. Cette réactivité est cruciale pour certaines applications de la 5G. En effet, des échanges constants et quasi-immédiats sont requis pour faire émerger de nouveaux usages.
- **La densité.** C'est la dernière promesse majeure de la 5G. L'ultra connectivité permet une plus grande densité d'appareils connectés au km². Au minimum, la 5G pourra supporter **1 million d'appareils par kilomètre carré**. Indispensable quand on sait qu'il y aura 50 milliards d'objets connectés en 2025.

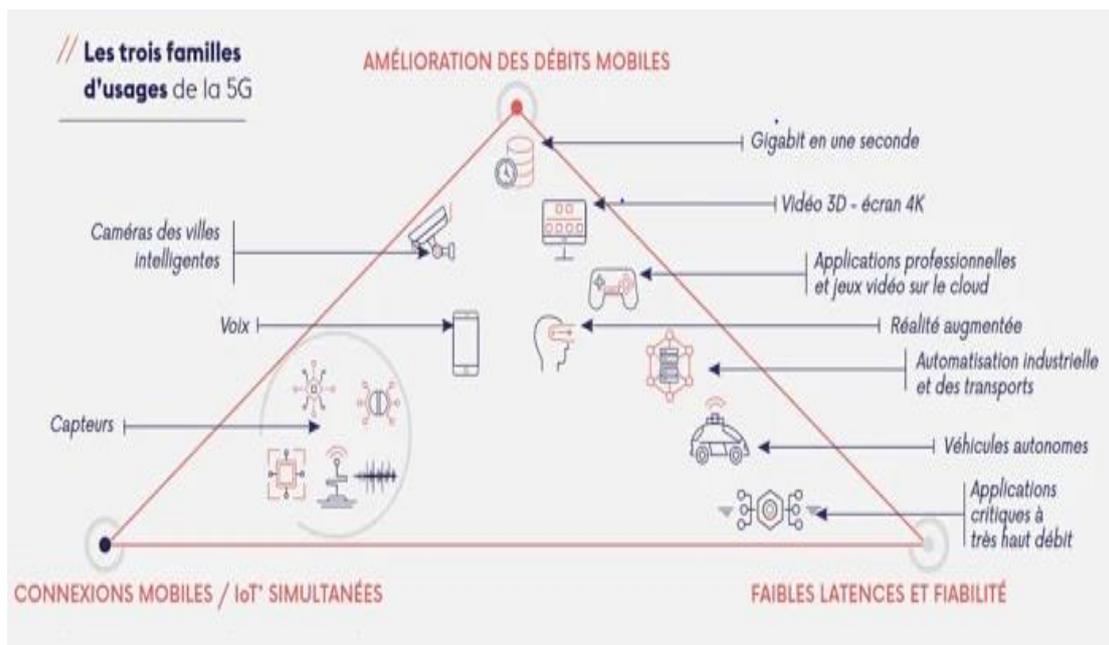


Figure 9 : Les trois familles d'usages 5G

7. LA 5G, COMMENT ÇA MARCHE ?

La 5G, c'est un réseau mobile appelé à prendre le relais de la 4G. Or, pour fonctionner, un réseau a besoin de deux éléments indispensables : des fréquences et des antennes pour émettre le signal.

Commençons par les fréquences de la 5G, ce sont elles qui nous permettent d'avoir des communications. Pour le nouveau réseau mobile, trois bandes de fréquences ont été retenues, avec des propriétés différentes :

- **La bande des 3,5 GHz.** C'est elle qui va supporter le réseau mobile 5G dès sa commercialisation, cet été. Elle représente un bon compromis car elle permet d'avoir des débits élevés tout en assurant une bonne couverture du territoire.
- **La bande des 700 MHz.** Ce sont des fréquences basses, avec une très bonne portée mais des débits moyens. Actuellement attribuée à la 4G, elle sera dévolue à la 5G dans un second temps.
- **La bande des 26 GHz.** Ce sont des fréquences hautes, avec une faible portée mais des débits très élevés. On parle d'ondes millimétriques. La bande des 26 GHz sera également attribuée à la 5G dans un second temps. Les communications qui passent par les fréquences sont relayées par des antennes. C'est pourquoi les opérateurs vont devoir déployer leur propre réseau mobile 5G. Dans un premier temps, ils vont s'appuyer sur des supports déjà existants, des pylônes équipés en 4G par exemple, pour y installer des antennes 5G.

Il s'agit d'antennes spécifiques, appelées **Massive MIMO**. Équipées de très nombreux connecteurs, elles peuvent toucher un plus grand nombre d'utilisateurs. En outre, plutôt que d'arroser en ondes toute une zone, elles émettent un signal ciblé à chaque utilisateur, grâce au **beamforming**, et adapté à ses besoins, grâce au **network slicing**.

Mais, ce n'est pas tout. On vient de le dire, à termes, la 5G va s'appuyer sur les ondes millimétriques. Comme elles ont une faible portée, cela nécessite l'installation de **Small cells**, des antennes miniatures en complément des antennes macro.

8. COMMENT SE PASSE LE DEPLOIEMENT DE LA 5G ?

En France, quatre opérateurs (Bouygues Telecom, Free, Orange et SFR) ont déposé des dossiers de candidature pour participer au processus d'attribution des fréquences de la 5G. Ce processus est actuellement en cours. Néanmoins, avant même d'obtenir des fréquences et la commercialisation de la 5G à l'été 2020, les opérateurs ont

commencé le déploiement de la 5G dans certaines grandes villes où ils mènent des expérimentations 5G.

C'est l'Arcep, le régulateur des télécoms qui est chargé de l'attribution des fréquences 5G. Si les opérateurs veulent des fréquences, ils vont devoir respecter un certain nombre d'engagements. Parmi les obligations fixées par le gouvernement et par l'Arcep, la **bonne couverture mobile en 5G** au bénéfice de tous les Français est un "*objectif majeur*" du gouvernement. Comprendre que les opérateurs ne devront pas se contenter d'équiper les grandes villes mais les zones à plus faible densité de population. Autre objectif, chiffré celui-là : **au moins deux villes équipées en 5G en 2020**, puis le déploiement de 3.000 sites en 2022, 8.000 en 2024 et 10.500 en 2025. Une règle qui vaut pour chaque opérateur.

CONCLUSION

L'analyse de l'ensemble des technologies proposées et utilisées à travers le monde pour des fins de communication téléphonique nous a permis de conclure que la technologie de la 5G se développe selon un modèle radicalement différent de ce qui se faisait jusque-là dans le secteur des télécommunications. En effet, le concept du « service de télécommunication » est substantiellement modifié puisque des réseaux « virtuels » se sont avérés dépendants des infrastructures d'opérateurs variés. Cependant, le plein potentiel de la 5G ne pourra être atteint que si - et seulement si - les comportements des opérateurs dominants visant à freiner la concurrence pourront être modérés par la loi et la réglementation.

Le passé pouvant éclairer l'avenir, l'avènement de la 5G laisse entendre qu'une « guerre de télécommunication » est quasi inévitable. Autrement dit, les principaux opérateurs du secteur des télécommunications chercheront à empêcher les autres d'accéder directement au contrôle des réseaux et plus généralement, aux nouvelles technologies de la 5G.

La configuration de la 5G en liaison avec L'Iot faisant objet de cette concurrence sans limites est illustrée dans le chapitre IV.

Chapitre IV

La 5G pour l'IoT

INTRODUCTION

L'évolution des réseaux de cinquième génération (5G) se fait de plus en plus viable comme un moteur majeur de la croissance des applications IoT. Selon le rapport international Data Corporation (IDC), les services 5G mondiaux incitera 70% des entreprises à dépenser 1,2 milliard de dollars sur l'homme de la connectivité. Les nouvelles applications et modèles commerciaux dans le futur IoT nécessite de nouveaux critères de performance tels que la connectivité massive, la sécurité, digne de confiance, couverture de la communication sans fil, latence ultra-faible, mis, ultra-fiable, et tout pour un grand nombre d'appareils IoT. Pour répondre à ces exigences, l'évolution des technologies LTE (Long Term Evolution) et 5G devraient fournir de nouvelles interfaces de connectivité pour la future application IoT. Le développement de la prochaine génération de «5G» en est à ses débuts, ce qui vise la nouvelle technologie d'accès radio (RAT), l'amélioration des antennes, l'utilisation de fréquences plus élevées et ré-architecture des réseaux. Cependant, la principale des progrès a été accomplis et l'évolution du LTE doit être complète. Un changement radical au cours des prochaines années dans les fondamentaux des réseaux sans fil, un changement de génération dans la technologie et les architectures et processus métiers.

1. CONTEXTE ET RECHERCHE ACTUELLE SUR LA 5G ET L'IOT

Dans l'IoT hétérogène, un certain nombre de technologies sans fil, telles que 2G / 3G / 4G, WiFi, Bluetooth, etc. ont été utilisés dans les applications IoT, en quel milliard d'appareils seront connectés par la technologie de communication sans fil. Les réseaux 2G (couvrent actuellement 90% de la population mondiale sont conçus pour la voix, la 3G (couvre actuellement 65% de la population mondiale pour la voix et les données, et la 4G (depuis 2012) pour l'internet haut débit expériences. La 3G et la 4G sont largement utilisées pour l'IoT mais pas entièrement optimisées pour les applications IoT. La 4G a considérablement amélioré la capacité de réseaux cellulaires qui peuvent fournir un accès Internet utilisable pour les appareils IoT.

Depuis 2012, 'l'évolution à long terme ' (LTE) vers la connectivité 4G est devenue la variété de la 4G la plus rapide et la plus cohérente par rapport aux technologies concurrentes comme BLE, WiMaxb , ZigBee , SigFox , LoRa , etc.

Les réseaux de nouvelle génération, les réseaux 5G et la norme sont attendus pour résoudre les défis auxquels sont confrontés les réseaux 4G, tels que les plus complexes communications, capacités de calcul de l'appareil, intelligences, etc. pour répondre aux besoins des environnements intelligents, de l'industrie 4.0, etc.

La figure 10 montre l'évolution des réseaux cellulaires de la 3G au suivant IoT activé par la 5G. Le développement de la 5G reposera sur la base créée par 4G LTE, qui fournira la voix des utilisateurs, les données, Internet. La 5G augmentera considérablement la capacité et la vitesse pour fournir une connectivité rapide avec la future IoT. La 4G LTE actuelle peut fournir une vitesse de transmission de 1 Gbps, mais le signal 4G pourrait être facilement perturbé par interférences, telles que les signaux WiFi, les bâtiments, les micro-ondes, etc. Les réseaux de la 5G peuvent fournir aux utilisateurs une vitesse plus rapide que la 4G jusqu'à 10 Gbit/s, tandis que la 5G peut fournir une connexion fiable jusqu'à des milliers d'appareils en même temps.

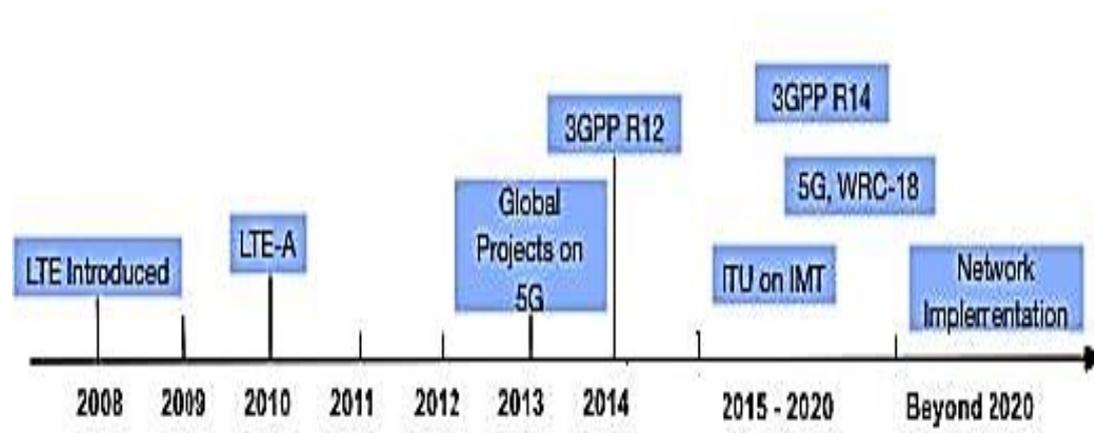


Figure 10 : Chronologie vers la 5G

La figure 11 montre que dans la communication de type machine massive IoT (MTC) applications dans les villes intelligentes, le système de santé, etc. les réseaux, qui créent une énorme hétérogénéité d'IoT et créent de nombreux défis de mise en œuvre. Au cours des deux dernières décennies, un certain nombre de M2M des technologies de communication ont été mises en œuvre, y compris à courte portée MTC tels que Bluetooth basse consommation (BLE v 4.0), ZigBee, WiFi, etc. et la communication à longue portée, telle que la large zone de faible puissance (LPWA), Accès multiple

en phase aléatoire Ingenu (RPMA), SigFox, LoRa, etc. Pour garantir que les applications M2M, le partenariat de trois générations projet (3GPP) proposé communication améliorée de type machine (eMTC), couverture étendue - Système mondial de communications mobiles pour l'IoT (EC GSM-IoT) et Narrowband-IoT (NB-IoT) en tant que technologie LPWA cellulaire pour l'IoT. Les technologies de communication existantes sont diverses et il est difficile pour le réseau mobile de cinquième génération (5G) de répondre aux exigences des applications dans l'IoT.

1.1. Réseaux sans fil en 5G

Les technologies sans fil ont considérablement amélioré le déploiement de l'IoT, un certain nombre de standards ouverts pour l'IoT ont été publiés, comme le Voda-IoT cellulaire de fon et le NB-IoT basé sur 3GPP. La 5G sera capable de fournir une connexion d'IoT massive, où des milliards d'appareils intelligents peuvent être connecté à Internet. Les réseaux 5G sont des réseaux plus rapides, qui peuvent être mis en œuvre via le logiciel sans fil paradigme de réseau de (WSDN). Un certain nombre de solutions WSDN pour La 5G a été proposée, y compris SoftAir, CloudRAN, CONTENT.

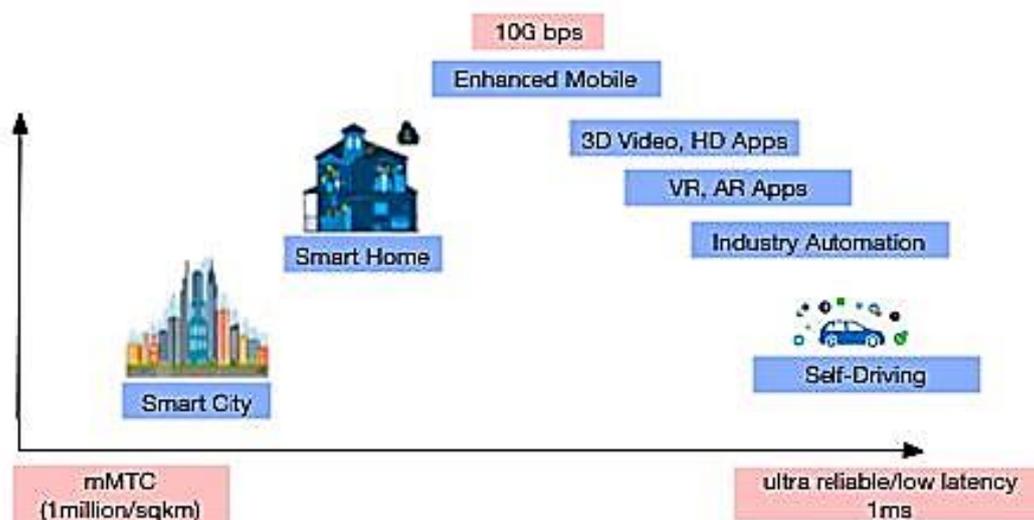


Figure 11 : MTC dans 5G-IoT

L'IoT a le potentiel de fournir aux utilisateurs des services intelligents, tout en soulevant des questions de sécurité et de confidentialité et proposer de nouveaux défis organes de gouvernance. La technologie 5G peut significativement étendre l'IoT au-

delà de ce qui est possible avec les technologies existantes. Le fil 5G moins de réseau permettra aux appareils IoT d'interagir avec un environnement intelligent nouveau niveau grâce à des capteurs intelligents connectés. Le réseau sans fil 5G peut élargir également considérablement la portée et l'échelle de la couverture de l'IdO en fournissant la communication et la capacité les plus rapides.

Au cours des dernières années, l'IoT basé sur la 5G a attiré un grand nombre d'attention tant dans la recherche que dans l'industrie. Il est rapporté qu'il y aura certains premiers réseaux 5G (au-delà de LTE-Advanced), la 5G complète sera disponible une fois le processus de normalisation achevé après 2025.

Dans une nouvelle plate-forme informatique hétérogène a été développée la 5G-Applications IoT, qui correspondent aux besoins de la 5G-IoT axée sur les services. La récupération et le transfert d'énergie pour les solutions spectrales ont été proposés. Dans de nombreux ouvrages, les problèmes de communication à bande étroite sont habillés : une nouvelle solution NB-SCMA pour la communication en liaison montante 5G-IoT est proposée. Chen et al. a proposé un canal sans fil modèle pour l'IoT 5G, qui applique l'excavation de big data sans fil pour fournir un Schéma de communication sans fil efficace et garantissant une attente active. Fr-L'efficacité énergétique est un sujet important dans la 5G-IoT. Zhang et coll. analyse l'efficacité énergétique en 5G a permis Iot et proposé une architecture intégrée a été proposé d'analyser séparément les parties sans fil et câblées.

1.2. IoT compatible 5G

Un certain nombre d'efforts de recherche se sont concentrés sur la recherche de pointe dans tous aspects des systèmes IoT et 5G du point de vue des universitaires et de l'industrie. L'objectif est d'offrir un lieu sur les progrès récents de la théorie, application, standardisation et implémentation des technologies 5G dans l'IoT scénarios. Au cours des dernières années, de grands travaux sur la 5G-IoT ont été fait. CISCO, Intel et Verizon ont développé conjointement un projet de recherche sur la 5G pour révéler un nouvel ensemble d'algorithmes basé sur les neurosciences rythmées "cette qualité vidéo adaptative aux exigences de l'œil humain, les fonctionnalités du théâtre les réseaux sans fil auraient intégré l'intelligence humaine. La 5G peut apporter des contributions significatives sur le futur IoT en connectant des

milliards d'appareils intelligents pour créer un véritable IoT massif, dans lequel vices interagissant mutuellement et partageant des données sans aucune assistance humaine. Actuellement, un domaine d'applications hétérogène le rend très difficile pour l'IoT afin d'identifier si les appareils seront capables de satisfaire les besoins d'application. Les systèmes IoT existants n'utilisent largement que des applications spécifiques domaine, tel que BLE, ZigBee, etc. Autres technologies, telles que WiFi, LP-WA réseaux et communications cellulaires (par exemple, MTC utilisant 3GPP, 4G (LTE)), etc.

L'IoT évolue constamment et rapidement, avec la nouvelle proposition de technologie, et avec les existantes entrantes dans un nouveau domaine d'application.

De nombreux systèmes IoT actuels visent à améliorer la qualité des everyday life, qui engage l'interconnexion entre les appareils domestiques intelligents et les environnements intelligents, tels que la maison intelligente, les bâtiments intelligents ou même les villes intelligentes. Dans l'industrie, l'Industrie IoT évolue encore et fait face à de nombreux défis, y compris les nouvelles exigences en matière de produits et de solutions et de transformation de modèles commerciaux. Dans certains systèmes industriels critiques, tels que le trafic, machine, etc., l'IoT est toujours confronté à de nombreux défis techniques, tels que fiabilité, intemporalité, robustesse de connexion, etc. Les réseaux 3GPP et LTE existants sont les techniques de la connectivité IoT, qui des systèmes IoT avec large couverture, faibles coûts de déploiement, niveau de sécurité élevé, accès à des spectres et simplicité de gestion. Cependant, le cellulaire existant les réseaux n'est pas en mesure de prendre en charge les communications MTC, ce qui est l'IoT. Les réseaux 5G émergents offrent une solution potentielle dans un tel contexte. La 5G peut fournir le débit de données le plus rapide du réseau cellulaire avec une faible latence et couverture améliorée pour la communication MTC avec respect vers la 4G actuelle (LTE) sont les applications IoT les plus exigeantes et potentielles.

En fait, la communication M2M prend en charge de grandes quantités d'appareils intelligents et permet la vision d'un véritable monde connecté.

Au cours des deux dernières années, un certain nombre de technologies permettant l'IoT ont été développées. Dans cette revue, nous avons classé les œuvres dans les catégories suivantes :

1.3 Architecture IoT 5G

On s'attend à ce que le 5G-IoT fournisse des applications en temps réel, sur demande, toutes les expériences en ligne, reconfigurables et sociales, qui nécessitent l'architecture 5G-IoT devrait pouvoir être coordonnée de bout en bout, avec fonctionnement simple, automatique et intelligent à chaque phase. Le 5G-IoT et les architectures doivent fournir :

- Fournir des réseaux logiquement indépendants selon les exigences des applications.
- Utilisez le réseau d'accès radio basé sur le cloud (CloudRAN) pour reconstruire le réseau d'accès (RAN) et pour fournir des connexions massives de plusieurs standards et implémenter le déploiement à la demande des fonctions RAN requis par la 5G.
- Architecture de réseau central simplifiée pour implémenter la configuration à la demande des fonctions réseau.

La figure 12 montre l'architecture des futures télécommunications mobiles internationales (IMT), dans lesquelles les réseaux 5G sont censés de fournir :

- (1) haut débit mobile amélioré (eMBB),
- (2) ultra-fiable et à faible latence communications (uRLLC)
- (3) communications massives de type machine (mMTC) .

2. EXIGENCES RELATIVES A L'IoT COMPATIBLE 5G

L'IoT révolutionne notre vie quotidienne en fournissant une large gamme de nouvelles applications tirent parti des écosystèmes intelligents et très hétérogènes dispositifs. Au cours des dernières années, de nombreux efforts de recherche ont été de nombreux sujets difficiles pour l'IoT-5G et les principales exigences de l'IoT comprennent :

- Débit de données élevé, les futures applications IoT, telles que la haute définition streaming vidéo, réalité virtuelle (VR) ou réalité augmentée (AR) et al., nécessitent des débits de données plus élevés à environ 25 Mbps pour fournir des performances.

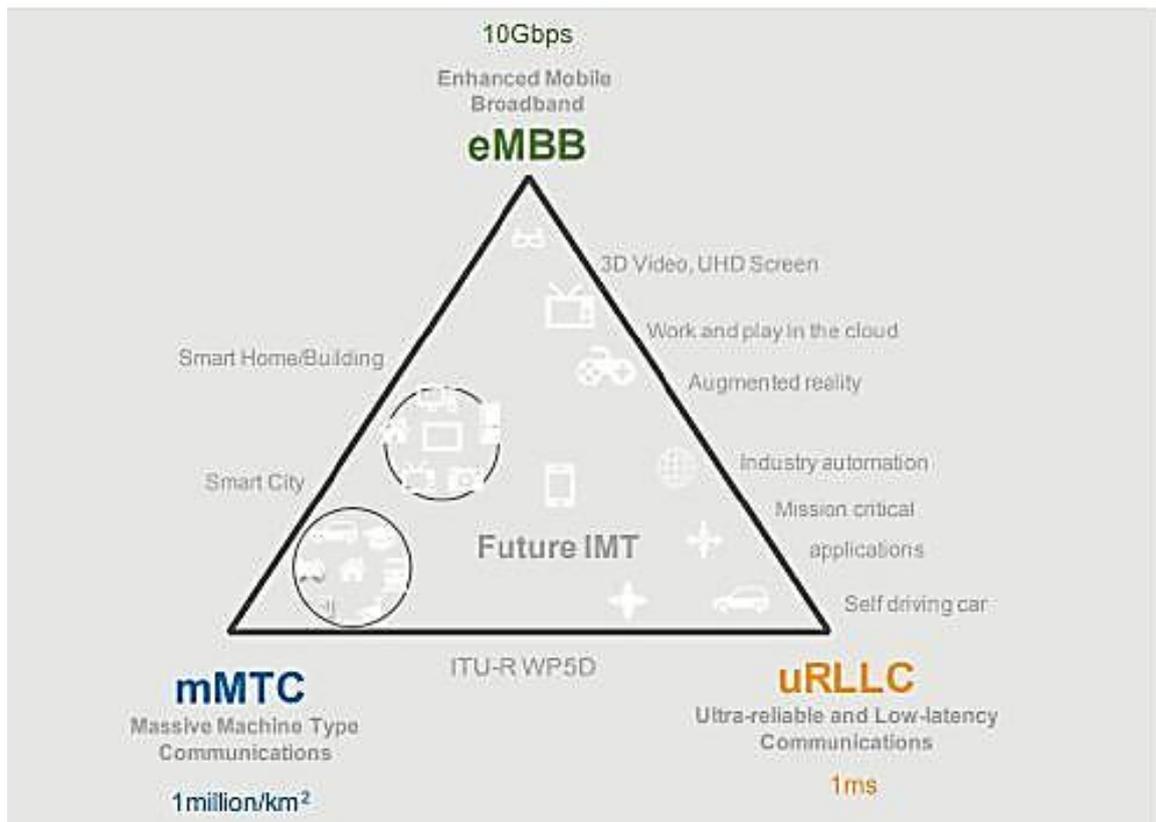


Figure 12 : Exigences relatives à l'IoT compatible 5G

- Réseaux hautement évolutifs et à granularité réduite, pour augmenter l'évolutivité du réseau, la 5G-IoT nécessite une évolutivité plus élevée pour prendre en charge le fronthaul à grain unique décomposition du réseau à travers NFV.

- Très faible latence, dans les applications 5G-IoT, comme Internet tactile, AR, les jeux vidéo, et al., nécessitent une latence inférieure à environ 1 ms.
- Très faible latence, dans les applications 5G-IoT, comme Internet tactile, AR, les jeux vidéo, et al., nécessitent une latence inférieure à environ 1 ms.
- Sécurité, dans le futur paiement mobile IoT et application de portefeuille numérique différentes de la stratégie de sécurité générale sur la protection de la connectivité et la confidentialité des utilisateurs, l'IoT 5G nécessite une stratégie de sécurité améliorée pour améliorer la sécurité sur l'ensemble du réseau.
- Longue durée de vie de la batterie, pour prendre en charge des milliards d'IoT à faible consommation et à faible coût appareils en 5G-IoT, des solutions basse énergie sont requises par la 5G activée IoT.
- Densité de connexion, un nombre massif d'appareils seront connectés dans la 5G-IoT, qui nécessitera la 5G devrait pouvoir prendre en charge la livraison réussie du message dans un certain temps et dans une certaine zone.



Figure 13 : Architecture IoT.

- Mobilité, la 5G-IoT devrait pouvoir prendre en charge un nombre massif de connectivité appareil à appareil avec une mobilité élevée.
- L'état de l'art de l'IoT suppose le téléchargement et le stockage de toutes les données générées par les appareils IoT vers le cloud, qui seront traitées par les serveurs cloud pour extraire des connaissances utiles en utilisant des méthodes d'analyse de données.

3. PRINCIPALES TECHNOLOGIES HABILITANTES DANS LA 5G-IoT

L'IoT compatible 5G comprend un certain nombre de techniques d'activation clés de la communication physique avec les applications IoT. La figure 6 décrit les principales technologies associées à la 5G-IoT. Dans cette revue, nous avons résumé les technologies habilitantes clés dans les cinq grandes catégories suivantes :

- (1) 5G activée connectivité sans fil
- (2) architecture 5G-IoT
- (3) communication appareil à appareil
- (4) applications 5G-IoT
- (5) l'analyse des données et du cloud dans 5G-IoT

3.1. Architecture 5G-IoT

L'architecture 5G-IoT est un sujet clé. La figure 14 montre un prototype de maison intelligente qui a intégré l'infrastructure 5G, dans laquelle le 5G-IoT a ponté un certain nombre d'appareils IoT à ressources limitées sur le cloud distant applications utilisant plusieurs protocoles de communication sans fil.

La 5G-IoT reposera principalement sur les systèmes sans fil 5G, de sorte que l'architecture comprend généralement deux plans.

- Plan de données, se concentre sur la détection de données via des réseaux fronthaul définis par logiciel

	Peripheral connectivity	Local (home) networking	Wide area networking
Typical range	<30 ft.	<300 ft.	Outdoor (miles)
Content distribution Focus on high data rates Energy consumption secondary	Bluetooth®	WiFi 11ah, 11ax ZigBee®	4G LTE 5G LTE Cat-M NB-IoT
Sense and control Low energy/long battery life Data rate is secondary	Bluetooth® SIGANT	ZigBee®	GPRS
Proprietary solutions	ANT	enOcean SUB-1GHz	LoRa SIGFOX UNIGENU
Typical applications	Personal appliances (wristband, smartwatch, step counter, keyboard, mouse, pointer, etc.)	Indoor networks (internet, email, phone, security, energy management, smart home monitoring, etc.)	Outdoor networks (smartphone, internet, city, industry 4.0, agriculture, smart logistics, etc.)

Figure 14 : Technologies associées à la 5G-IoT

Plan de contrôle, composé d'outils de gestion de réseau reconfigurés et fournisseurs de services (applications) L'architecture 5G-IoT devrait être en mesure de répondre aux besoins des services des aspects suivants :

- Plan de contrôle, composé d'outils de gestion de réseau et réconfigurable fournisseurs de services (applications) L'architecture 5G-IoT devrait être en mesure de répondre aux besoins des services des aspects suivants :
 - Évolutivité, cloudification / virtualisation des fonctions réseau (NFV)
 - Capacité de virtualisation de réseau
 - Gestion de réseau sophistiquée, comprend le contrôle de la mobilité, l'accès contrôle et virtualisation du réseau économe en termes de ressources.
 - Fournisseur de services intelligents, l'architecture doit être en mesure de fournir services intelligents basés sur l'analyse du Big Data.

3.2. Virtualisation des fonctions de réseau sans fil (WNFV)

En complément des réseaux 5G, le WNFV permettra la virtualisation de l'ensemble des fonctions du réseau pour simplifier le déploiement de la 5G-IoT, dans lequel NFV se découplera matériel et sous-jacent flexibles et évolutifs les fonctions réseau pour activer la 5G-IoT se concentrent sur les serveurs cloud générique.

La NFV vise à fournir des réseaux flexibles pour les applications 5G-IoT, qui permettront un découpage personnalisé du réseau sur le cloud distribué pour créer des réseaux programmables pour les applications 5G-IoT.



Figure 15 : Exemple d'architecture 5G-IoT

Le NFV est capable de séparer un réseau physique en plusieurs réseaux virtuels réseaux comme le montre la figure 15, dans lesquels les appareils peuvent être reconfigurés pour construire plusieurs réseaux selon les exigences des applications.

Le NFV fournira une capacité de traitement en temps réel des applications 5G-IoT en optimisant la vitesse, la capacité et la couverture dans les réseaux à tranches logiques pour répondre aux exigences des applications. Une solution 5G-IoT est proposée

comme le montre la figure 16 , dans laquelle un certain nombre de techniques de réseau émergentes sont appliquées, comme la 5G, la LTE-A Pro, les appareils M2M et l'IoT intelligent, avec NFV, il est possible de construire dynamiquement des réseaux tels que les réseaux sans fil 5G, les réseaux d'appareils et les réseaux 4G dépendent de la demande des applications.

On peut résumer que la 5G NFV transformera la façon de construire un réseau en 5G-IoT et offrira une solution évolutive et réseau flexible. La NFV améliorera également et considérablement la viabilité de l'accès radio réseau (RAN). La 5G-IoT très hétérogène, la densification du réseau sera capable de densifier les infrastructures 5G avec une connectivité multi-RAT dépendant des exigences des services des applications.

3.3. Réseaux hétérogènes (HetNet)

Réseaux hétérogènes (HetNet) est un nouveau paradigme de réseautage posé pour répondre aux exigences à la demande de l'IoT-5G de service.

HetNet permet à la 5G-IoT de fournir des taux de transmission d'informations à la demande. Un certain nombre de solutions 5G Netnet ont été développées récemment. Le 5G-IoT déploiera un nombre massif de ressources limitées et dispositifs Pour garantir la qualité de service des appareils en 5G-IoT, un certain nombre de solutions Internet ont été proposées : un Hetnet basé sur Massive MIMO a été développé pour construire un lien MIMO à grande échelle pour le backhauling.

La communication M2M a été largement revue dans la norme ETSI et ses applications ont été discutées dans quels appareils mobiles sont utilisés comme passerelles mobiles pour les ressources limitées appareils IoT. Dans des solutions ont été proposées pour améliorer encore le déploiement d'applications M2M utilisant le réseau 3GPP LTE / LTE-A.

Les appareils MTC deviennent de plus en plus une partie intégrante de nos vies, grâce à sa prise en charge de débit de données élevé et à d'autres fonctionnalités importantes, la 5G / Hetnets est considéré comme une solution technologique robuste en 5G-IoT aux données à croissance rapide demandes de trafic des dispositifs MTC.

Le HetNet a été initialement conçu pour les communications interhumaines (H2H) communication, tandis que les applications MTC se caractérisent par des fonctionnalités uniques comme un grand nombre d'appareils, l'accès haute fréquence au réseau et strin-exigences de qualité de service gent pendant les situations d'urgence.

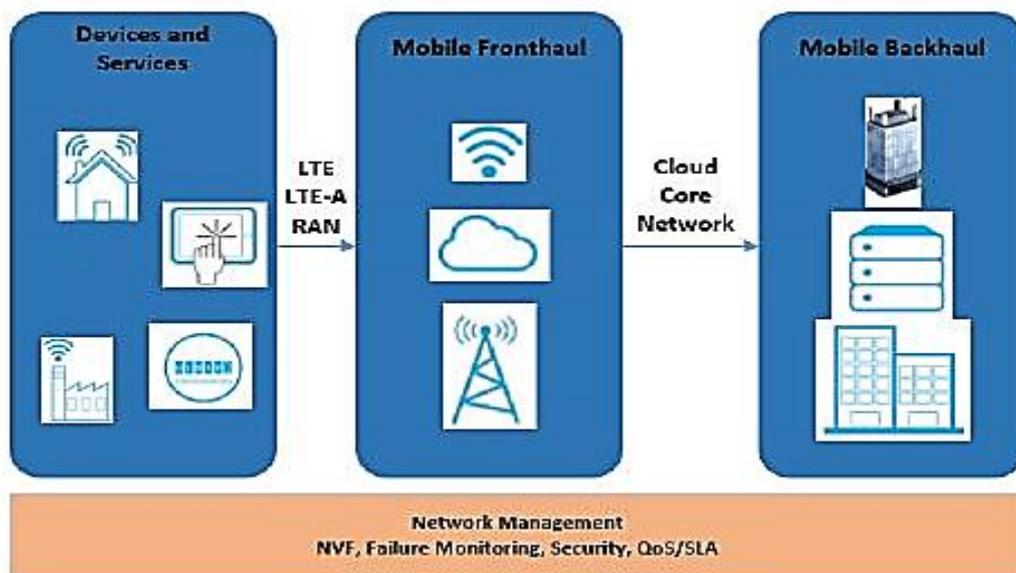


Figure 16 : 5G-IoT

3.4. Partage de spectre avancé et gestion des interférences

De l'architecture 5G-IoT décrite un nombre massif de 5G, les appareils IoT seront largement déployés dans de nombreux cas pour garantir la couverture et déséquilibre de charge de trafic. En conséquence, le partage du spectre et les interférences la gestion des ressources est une technologie clé de la 5G-IoT. Le HetNet est une solution prometteuse pour la gestion des interférences dans l'IoT 5G.

Les MIMO massifs sont au cœur de l'atteinte d'une plus grande efficacité spectrale. Récemment, un certain nombre de techniques avancées MIMO ont été proposées, y compris MIMO multi-utilisateur (MU-MIMO), très grand MIMO (VLM) etc.

3GPP LTE-A a déjà inclus MU-MIMO, qui peut considérablement améliorer la capacité du réseau en exploitant un plus grand nombre d'antennes à la station BS.

3.5. Autres techniques habilitantes dans 5G-IoT

En outre, les communications de type machine (MTC), onde millimétrique (mmWave), informatique de périphérie mobile, mise en réseau logicielle (SDN), la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et l'IoT à bande étroite (NB-IoT) sont tous devraient jouer un rôle fondamental pour l'IoT dans les futurs systèmes 5G.

Les autres techniques habilitantes clés incluent: les méthodes d'optimisation dans l'IoT 5G, qui incluent l'optimisation convexe, les méthodes heuristiques, l'algorithme (EA), méthodes d'apprentissage automatique et réseaux de neurones artificiels (RNA).

Ces méthodes auront un impact croissant sur les principales techniques habilitantes.

4. DEFIS DE LA RECHERCHE ET TENDANCES FUTURES

La 5G offre des fonctionnalités qui peuvent répondre aux exigences du futur, l'IoT cependant, ouvre également un nouvel ensemble de défis de recherche intéressants sur l'architecture de la 5G-IoT, communications fiables entre les appareils, sécurité, etc. la 5G-IoT intègre un certain nombre de technologies et crée un impact significatif sur les applications dans l'IoT. Dans cette section, nous passerons en revue les défis potentiels de la recherche et tendances futures en 5G-IoT.

4.1. Défis techniques

Bien que de nombreux efforts de recherche aient été faits sur la 5G-IoT, il existe encore défis techniques :

4.1.1. L'architecture 5G-IoT est un grand défi, comme indiqué ci-dessus, un certain nombre des architectures ont été proposées avec de nombreux avantages, cependant, la conception de l'architecture impose encore de nombreux défis, notamment :

- **Évolutivité et gestion du réseau**, dans le 5G-IoT, l'évolutivité du réseau est un problème majeur en raison du nombre massif de l'appareil IoT. Gérer les informations d'état d'un nombre massif des dispositifs IoT est également un problème qui doit être pris en compte.

- **Interopérabilité et hétérogénéité**, interconnexion transparente entre réseaux hétérogènes est un défi majeur. Un nombre massif d'appareils IoT à connecter via une technologie de communication pour communiquer, diffuser et collecter des informations avec d'autres réseaux ou applications intelligentes.
- **Assurance de la sécurité et problèmes de confidentialité**, sécurité et cyber-attaque, augmentation des problèmes de confidentialité

4.1.2. Réseau défini par logiciel sans fil (SDN), l'efficacité de la 5G, la mise en réseau de données est toujours un défi. Tout en apportant l'évolutivité, ils sont encore des lacunes techniques qui doivent être comblées dans le SDN.

(1) Pour fournir le réseau central avec une flexibilité, le SD-CN évolutif est un défi pour l'évolutivité du réseau.

(2) La séparation du plan de contrôle et du plan de données est difficile pour la plupart des SDN.

4.1.3. Le NFV est très complémentaire du SDN, mais non dépendant dessus. Au cours des dernières années, un certain nombre de solutions NFV ont été développées, y compris SoftAir, OpenRoads, CloudMAC, SoftRAN et al. Plusieurs défis techniques doivent être excédés dans 5G-IoT :

(1) cloudification du réseau économe en énergie ;

(2) Sécurité et la confidentialité, les VNF fonctionnent sur des clouds publics tiers. La sécurité et la confidentialité deviennent une grande préoccupation.

(3) la gestion des VNF, Les systèmes de commutation et les interfaces VNF efficaces fournis par les VNF sont deux défis techniques dans NFV.

4.1.4. La communication D2D devrait fournir un débit élevé pour 5G-IoT. En D2D, les sciences énergétiques et spectrales sont deux défis. Le succès de D2D nécessite une ressource spectrale et des interférences bien système de gestion pour maximiser le passage et fournir une fiabilité élevée sur les communications entre appareil à appareil.

4.1.5. Le déploiement des applications IdO est difficile en raison de sa grande échelle, dispositifs limités en ressources et environnement hétérogène. Beaucoup existent, les applications IoT consistent en des déploiements superposés d'appareils IoT réseaux dans lesquels les appareils et les applications ne peuvent pas inter-agir et échanger des informations. Meanhile, la capacité et la capacité de collecter et de diffuser des données dans le monde physique sont difficile. Une prestation de services multi- niveaux et multidimensionnelle est proposée pour l'IoT qui répond à la fois aux problèmes difficiles.

4.1.6. Il y a encore plusieurs défis à résoudre, tels que l'hétéro-déploiement de réseaux génétiques dans l'IoT, techniques d'accès multiples pour la 5G et au-delà des réseaux 5G, transmission full-duplex en même temps, etc .

4.2. Assurance de la sécurité et problèmes de confidentialité

Dans la prochaine 5G-IoT, de nouvelles capacités de sécurité critiques seront nécessaires, les niveaux de périphérique et de réseau pour répondre aux applications complexes, y compris ville, réseaux intelligents, etc. Dans le système 5G-IoT diversifié, la sécurité est très compliquée. Le concepteur doit tenir compte non seulement de l'intrusion logicielle loin, mais aussi intrusion locale au niveau de l'appareil lui-même. Pendant ce temps, la sécurité, l'assurance doit envisager d'éviter des liens de sécurité faibles.

4.3. Problèmes de normalisation

De grandes quantités de solutions IoT seront proposées dans le 5G-IoT. La norme de la 5G-IoT rendra la mise en œuvre et le développement d'applications plus faciles. En raison de la nature diversifiée des réseaux et des appareils dans 5G-IoT, il y a un manque de cohérence et de normalisation pour les systèmes IoT et applications. Il y a encore de nombreux obstacles et défis dans la mise en œuvre de ces solutions. Les obstacles auxquels est confrontée la 5G ont permis la normalisation de l'IoT peuvent être regroupés dans les quatre catégories suivantes :

- Les appareils IoT, à savoir la plate-forme, incluent la forme et la conception des produits IoT, outils d'analyse de Big Data.
- Connectivité, comprend les réseaux de communication et les protocoles qui connectent les appareils IoT.
- Les modèles commerciaux, censés répondre aux exigences du commerce, les marchés virtuels, horizontaux et consommables.
- Les applications tueuses, incluent la fonction de contrôle, la collecte de données et l'analyse de fonctions.

La standardisation de l'IoT 5G implique deux types de normes :

(1) tech-normes de technologie, y compris la communication sans fil, les protocoles réseau, les données normes d'agrégation.

(2) les normes réglementaires, y compris la sécurité et confidentialité des données, comme le règlement général sur la protection des données (2018), la sécurité solutions, primitives cryptographiques, et les défis auxquels l'adoption des normes au sein de la 5G-IoT sont les données non structurées, les problèmes de sécurité et de confidentialité protocoles d'analyse de données, etc.

La 5G-IoT est un écosystème très complexe, capable de combler les lacunes entre l'humain et l'environnement autour. La 5G-IoT en tant que service pourrait être un résultat possible d'une future normalisation.

CONCLUSION

La 5G-IoT intègre les techniques 5G émergentes dans le futur IoT. Ce chapitre passe en revue les recherches récentes sur la 5G et l'IoT. Nous introduisons d'abord le contexte et la recherche actuelle sur la 5G et l'IoT. Ensuite, nous avons analysé les nouvelles exigences de l'IoT compatible 5G. Ensuite, nous avons détaillé la technologie clé-niques en 5G-IoT et analysé le défi et les tendances du futur IoT.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les réseaux 5G devraient massivement étendre l'IoT d'aujourd'hui qui peut améliorer les opérations cellulaires, la sécurité de l'IoT et défis du réseau et conduire l'avenir d'Internet à la périphérie. Les solutions IoT sont confrontées à un certain nombre de défis tels qu'un grand nombre de connexion des nœuds, de la sécurité et des nouvelles normes. Dans ce mémoire, nous avons présenté la recherche actuelle sur l'état de l'art de l'IoT 5G, les principales technologies habilitantes et principales tendances et défis de la recherche en IoT 5G.

La 5G changera radicalement la façon dont nos réseaux mondiaux. Il ne faudra pas longtemps avant que la société mondiale doive s'adapter au nouveau mode de vie technologique - à travers les industries, les marchés et les régions. Cette nouvelle norme technologique promet bien plus que de simples développements supplémentaires des technologies de communication mobile existantes. Des changements globaux dans la numérisation, la société et l'économie se produiront dans presque tous les domaines de la vie. Jusqu'à présent, l'objectif principal a été d'étendre les conditions infrastructurelles des réseaux conventionnels à tous les niveaux, afin de garantir la disponibilité du réseau pour presque tous les appareils mobiles. Dans les années à venir, en plus de la mise en réseau continue au sein de l'IoT 5G, l'accent sera mis sur la satisfaction des besoins croissants de la société en réseau de manière encore plus optimale qu'auparavant.

La transformation numérique dans le domaine de la connectivité réseau se fait déjà sentir et le potentiel est clairement défini. Sur la base des chiffres impressionnants concernant la bande passante ou la densité des appareils au sein d'un réseau 5G, on a l'impression que la connectivité exploite son potentiel maximum. Une connectivité qui fonctionne bien est la base la plus importante pour mettre en place des réseaux IoT, que ce soit dans un style petit ou grand. Grâce à la technologie 5G, il existe également des idées, des méthodes et des mesures pour le monde entier auxquelles personne n'a peut-être pensé auparavant. Il se pourrait que grâce à la connectivité 5G, de nombreuses nouvelles idées commerciales soient mises sur le marché et continuent de révolutionner notre monde numérique. Il reste à voir quand la technologie 5G atteindra la maturité du marché. Mais une chose est sûre : la technologie fonctionne et le monde est prêt pour un autre pas de géant dans l'avenir numérique.

En effet, ce travail étant une étude sur l'Iot-5G, n'est pas une étude unique et parfaite, c'est pour raisons que nous restons ouverts à toutes les critiques et nous sommes prêts à recevoir toutes les suggestions et les remarques tendant à améliorer d'avantage cette étude.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. <https://www.futura-sciences.com/tech/internet-objets/>
2. https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet_des_objet
3. <https://congolestin.org/cours-internet-des-objets-iot>
4. <https://blog.lesjeudis.com/10-applications-de-l-internet-des-objets-qui-revolutionnent-la-societe>
5. <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>
6. https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project,
7. <https://www.pandasecurity.com/france/mediacenter/technologie/linternet-des-objets-risques/>
8. https://www.researchgate.net/publication/310490018_La_Securite_des_Objets_Connectes
9. <https://www.xerox.com/fr-cg/infos-complementaires/securite-iot>
10. <https://blog.ariase.com/mobile/dossiers/5g>
11. <https://www.zoneadsl.com/couverture/>
12. <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/broadband-12-2018/fr/>
13. <https://lehub.bpifrance.fr/5g-enjeux-implications>
14. <https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/11/gsma-deloitte-impact-mobile-telephony-economic-growth.pdf>
15. <https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Technology-5G-Economic-Impact-Study.pdf>
16. <https://www.ericsson.com/fr/blog/3/2016/la-5g-creera-plus-de-2-millions-demplois-et-generera-113-milliards-de-profits-par-an-en-europe-dici-2025>
17. <https://www.institutmontaigne.org/publications/leurope-et-la-5g-passons-la-cinquieme-partie-1>
18. <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports>
19. <https://www.journaldunet.com/ebusiness/telecoms-fai/1489159-la-5g-une-opportunite-a-saisir-pour-les-entreprises/>
20. <https://www.zdnet.fr/actualites/deploiement-de-la-5g-cinq-choses-que-les-dsi-devraient-faire-maintenant-39880339.htm>
21. <https://www.entreprendre.fr/lincidence-de-la-5g-sur-le-deploiement-et-lutilisation-de-linternet-des-objets/>

Références bibliographiques

22. https://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1832_fr.htm
23. <https://www.globalsecuritymag.fr/Sommes-nous-prets-a-faire-face-a-1,20200717,100863.html>
24. <https://www.zdnet.fr/actualites/deployer-un-systeme-de-detection-d-intrusion-2118189.htm>
25. <https://hellofuture.orange.com/fr/la-5g-lefficacite-energetique-by-design/>
26. <http://www.intrapole.com/spip.php?article18> .
27. A Shancang Li b,c,d Li Da Xu Shanshan Zhao e, 2018: 5G Internet of Things: A Survey, University of the West of England, UK (email: shancang.li@uwe.ac.uk), Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190,