

## **EVOLUTION 5G / 6G**



**Etudiants :**

**Yassir ANKOUDY**

**Ghita BOUAYAD**

**Marie CHARTIER**

**Coriolan FELIN**

**Ihsane MOBAREK**

**Fangxuan ZHOU**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Mr Abdelaziz BENSRAIR**



Date de remise du rapport : **17/06/2023**

Référence du projet : **STPI/P6/2023 – 03**

Intitulé du projet : **Evolution 5G / 6G**

Type de projet : **Bibliographique**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

***L'objectif premier de cette recherche documentaire est d'observer et comprendre l'évolution des réseaux de télécommunications mondiaux en se sensibilisant aux enjeux sociétaux, économiques et géopolitiques induits par ces derniers. Le second objectif est de perfectionner nos capacités personnelles à travailler en groupe, que ce soit du point de vue de la répartition des tâches, de la communication et de l'échange. Finalement, ce projet est l'occasion d'expérimenter une situation de travail que nous rencontrerons dans notre vie future d'ingénieur, tout en traitant d'un sujet à la fois actuel et futuriste.***

Mots-clefs du projet : **mobile, réseau, technologie, télécommunication**

## TABLE DES MATIERES

1.	Introduction .....	7
2.	Méthodologie / Organisation du travail .....	7
3.	Travail réalisé et résultats .....	8
3.1.	2G, 3G et 4G : amélioration progressive des communications .....	8
3.1.1.	La 2G : premier changement de technologie .....	8
3.1.2.	La 3G : démocratisation de l'internet mobile .....	8
3.1.3.	La 4G : début d'un monde entièrement connecté .....	8
3.2.	La 5G : innovations et enjeux .....	10
3.2.1.	La 5G, une nouvelle génération de réseau mobile .....	10
3.2.2.	Les performances visées par la 5G .....	10
3.2.3.	Les services de la 5G .....	11
3.2.4.	Relation entre la 5G et l'intelligence artificielle .....	12
3.2.5.	Enjeux sur la santé .....	13
3.2.6.	Enjeux géopolitiques .....	14
3.3.	La 6G : perspectives d'hyperconnectivité .....	16
3.3.1.	Les différences de performance avec la 5G .....	16
3.3.2.	Les défis de la 6G .....	16
3.3.3.	Les enjeux économiques et sociaux .....	18
3.3.4.	Les acteurs de la 6G .....	19
3.3.5.	Problèmes et contraintes .....	20
4.	Conclusions et perspectives .....	21
5.	Bibliographie .....	22
6.	Annexes .....	26
6.1.	Rapport d'étonnement .....	26

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : L'évolution des générations de réseaux mobiles de la 1G à la 4G .....	9
Figure 2 : La 5G, ses KPIs et ses déclinaisons.....	11
Figure 3 : Les services définis en 5G.....	11
Figure 4 : Seuils réglementaires pour l'exposition aux ondes émises par les antennes 5G ..	13
Figure 5 : L'inégale répartition de la 5G dans le monde.....	15
Figure 6 : Les différences de performance avec la 5G .....	16
Figure 7 : Prévisions de l'évolution de l'utilisation des données mobiles.....	17
Figure 8 : Les enjeux économiques et sociaux .....	18
Figure 9 : Les acteurs de la 6G .....	19
Figure 10 : Problèmes et contraintes .....	20

## NOTATIONS, ACRONYMES

<b>NTT :</b>	Nippon Telegraph and Telephone Corporation
<b>SMS :</b>	Short Message Service
<b>MMS :</b>	Multimedia Messaging Service
<b>GPS :</b>	Global Positioning system
<b>UMTS :</b>	Universal Mobile Telecommunication System
<b>VoIP :</b>	Voice over Internet
<b>KPIs :</b>	Key Performance Indicators
<b>ITU-R :</b>	International Telecommunication Union - Radiocommunication
<b>IP :</b>	Internet Protocol
<b>UE :</b>	User Equipment
<b>DN :</b>	Data Network
<b>PDU :</b>	Protocol Data Unit
<b>IMS :</b>	IP Multimedia System
<b>IP-CAN :</b>	IP-Connectivity Access Network
<b>IA :</b>	Intelligence Artificielle
<b>OMS :</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>MIMO :</b>	Multi-input multi-output
<b>THz :</b>	Terahertz
<b>GSM :</b>	Global System for Mobile Communication
<b>LTE :</b>	Long Term Evolution

## 1. INTRODUCTION

Depuis la nuit des temps, l'Homme est en continuelle recherche de moyens de communication à distance : au fil des années, ceux-ci ont évolué des pigeons voyageurs aux systèmes de poste pour finalement arriver à la télécommunication. Celle-ci a marqué un tournant dans la façon d'échanger des informations : entre rapidité et longue portée, elle a permis les échanges internationaux tels que nous les connaissons aujourd'hui.

Tout a commencé avec l'invention de la 1G : prémisse de la communication sans fil, c'est la première génération de réseau mobile. Initialement introduite au Japon dans les années 80 par la société Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT), elle permet de connecter le téléphone au reste du réseau grâce à des ondes radio.

Cette technologie était uniquement dédiée aux appels vocaux, révolutionnaires à cette époque. En revanche, elle comportait de nombreux défauts : débit lent, faible capacité d'utilisateurs, méthode coûteuse et sécurité médiocre. En effet, cette première génération reposait sur une technologie dite "analogie" : les informations n'étaient donc pas cryptées, ce qui constituait un problème majeur. Pour y répondre, l'Homme s'est lancé dans une quête d'amélioration du réseau et des technologies, chaque nouvelle génération laissant place à une autre plus performante.

### Comment cette évolution a-t-elle pris place et jusqu'où ira-t-elle ?

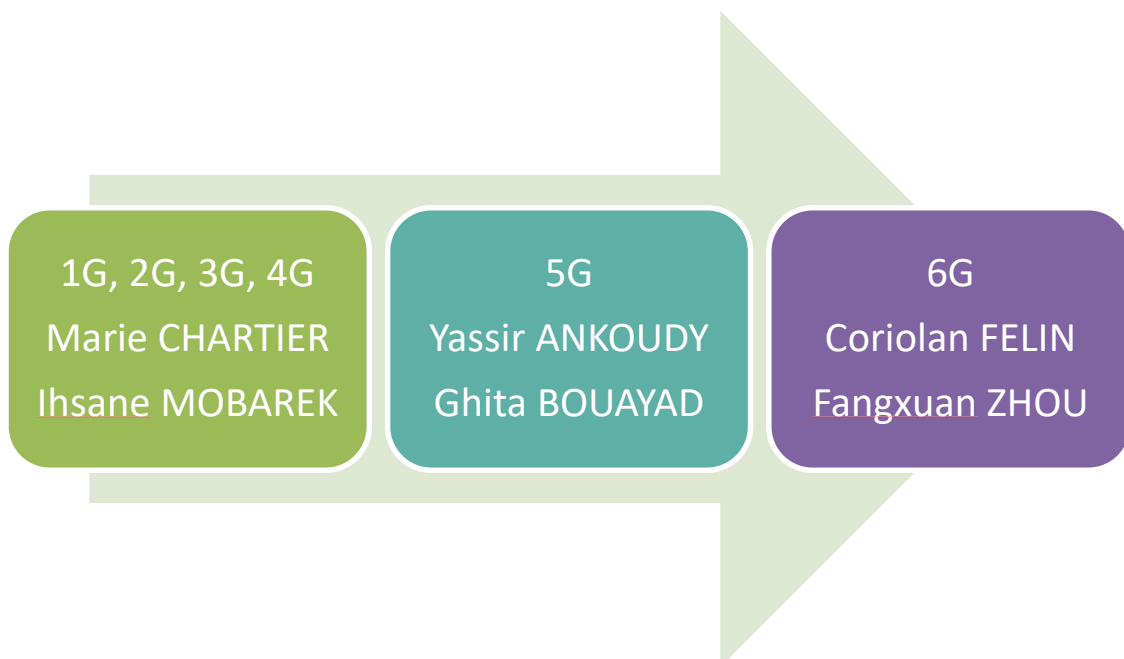
Dans un premier temps, nous détaillerons le fonctionnement des premières générations de communication sans fil, aujourd'hui bien ancrées dans notre système.

Ensuite, nous étudierons l'apparition et la mise en place de la 5G à travers le monde.

Enfin, nous introduirons le développement de la 6G, génération en devenir.

[1]

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL



### 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

#### 3.1. 2G, 3G et 4G : amélioration progressive des communications

De nos jours, la télécommunication sans fil fait partie de notre quotidien : celle-ci a véritablement pris son essor dans les années 1990 avec l'apparition de la 2G et n'a cessé de se développer depuis.

##### 3.1.1. *La 2G : premier changement de technologie*

La 2G fut un tremplin pour le réseau sans fil tel que nous le connaissons aujourd'hui ; en effet, celle-ci marqua le passage de l'analogique au numérique. Grâce à l'adoption du GSM, Global System for Mobile Communication, le marché du téléphone sans fil décolle en Europe de l'Ouest. Celui-ci est composé de trois sous-réseaux principaux : le sous-système radio, qui assure les transmissions ; le sous-système réseau, qui gère l'acheminement des appels ; le sous-système de maintenance, qui permet à l'opérateur d'administrer et de contrôler son réseau. Ce réseau a pour rôle d'établir une communication entre les abonnés grâce à des circuits qu'ils sont seuls à utiliser. En plus d'augmenter la sécurité et la confidentialité des appels, cette nouvelle technologie permet l'envoi de SMS et MMS, ce qui n'était pas possible avec la 1G. De plus, cette nouvelle technologie a considérablement réduit le coût pour les utilisateurs. A l'heure actuelle, la 2G couvre 99% du territoire français. Celle-ci fonctionne sur des fréquences entre 900 et 1800 MHz, avec un débit moyen de 9.6 kbit/s, ce qui est plutôt faible comparé aux réseaux mobiles actuels.

##### 3.1.2. *La 3G : démocratisation de l'internet mobile*

De fait, dans un souci d'amélioration, de nouvelles normes ont rapidement vu le jour. L'arrivée de la troisième génération de réseau mobile en 2004 a notamment accru la rapidité de transmission des données. Ce nouveau système a permis de nombreux services : en plus des SMS et MMS, il était à présent possible de passer des appels vidéos, de télécharger des applications, de regarder des vidéos en streaming ou encore d'accéder à un GPS. Toutefois, ces avancées ont nécessité l'installation de la norme Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), évolution de l'architecture utilisée pour la 2G ; face à l'essor des smartphones dans les années 2000, l'interface radio a dû être réétudiée pour pouvoir parer à une saturation des réseaux 2G. Cette nouvelle infrastructure réseau fonctionne sur des bandes de fréquence plus larges, comprises entre 1900 et 2200 MHz, qui permettent un envoi simultané des données selon un débit théorique maximal de 1,9 Mb/s. Ce premier accès à l'internet de haut débit démocratisa complètement l'utilisation de l'internet mobile.

##### 3.1.3. *La 4G : début d'un monde entièrement connecté*

Ainsi, face à la croissance rapide de la demande pour l'internet mobile, le même phénomène se répéta, entraînant l'arrivée de la quatrième génération.

A son arrivée en 2012, cette quatrième génération de réseau mobile se démarque des précédentes par l'utilisation de la nouvelle norme LTE (Long Term Evolution) dont le débit atteint les 150 Mbit/s. Cette nouvelle norme est répartie sur deux bandes fréquences : une de 800 MHz et une de 1600MHz. Elle a alors fait entrer l'internet mobile dans l'ère du Très Haut Débit, tel que nous le connaissons aujourd'hui : appels vidéos, streaming, transfert de fichiers volumineux etc.

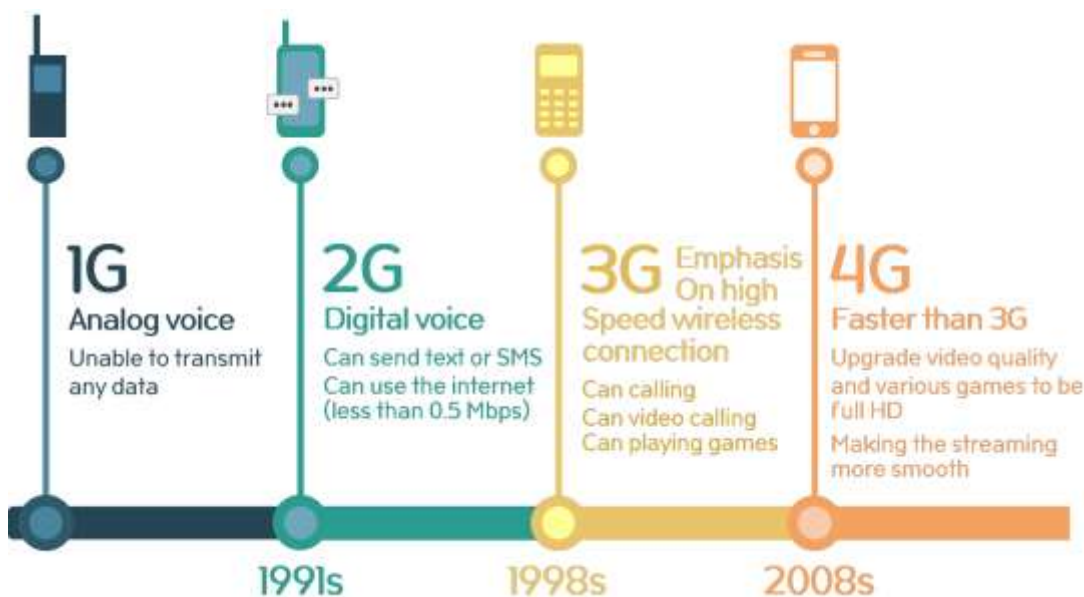
Cette évolution permet une connexion internet environ trois fois plus rapide que la 3G, principalement grâce à deux phénomènes : l'utilisation de la technologie "Voix sur IP" et du multiplexage.



Cette technologie consiste à faire circuler les appels vocaux via le réseau internet plutôt que le réseau téléphonique. Cette branche de la technologie numérique permet la numérisation de la voix sous forme de paquets de données qui sont transmises sur un réseau IP (Internet Protocol). Contrairement au réseau traditionnel qui fonctionne par le biais d'un système de lignes et de câbles physiques, la VoIP (Voice over Internet) permet l'envoi de données vers une multitude d'appareils, comme les smartphones ou les tablettes. Sous réserve d'une bonne connexion, cette technologie amène de nombreux avantages, le principal étant la réduction du coût d'utilisation. En effet, les infrastructures étant inutiles, il revient moins cher d'utiliser cette nouvelle technologie. De même, la communication en temps réel et les superpositions d'appels sont autant d'avantages apportés par la nouvelle génération grâce au multiplexage. Cette innovation technique consiste à faire passer plusieurs types d'informations simultanément sur un seul canal. Elle permet alors d'augmenter drastiquement la quantité d'information transmise ainsi que d'optimiser l'utilisation des canaux, et donc réduire de transmissions.

Pour conclure, les quatre premières générations de télécommunications mobiles ont apporté des avancées significatives dans la connectivité. La 1G a permis la transmission de la voix, la 2G a introduit les messages texte, la 3G a révolutionné l'accès aux données et la 4G a amélioré la connectivité à large bande. Cependant, c'est avec l'arrivée de la 5G que nous assistons à une véritable révolution.

[2] [3] [4] [5]



[6]

Figure 1 : L'évolution des générations de réseaux mobiles de la 1G à la 4G

### 3.2. La 5G : innovations et enjeux

« La 5G menace-t-elle les prévisions météorologiques ? », « Fréquence 5G : en Allemagne, les enchères rapportent 6,55 milliards d'euros », « La 5G, une nouvelle dimension pour nos loisirs », « Comment la 5G est devenu un enjeu géopolitique ? » ... La 5G est devenue un sujet prépondérant dans les médias.

La 5G est une nouvelle génération de réseaux mobiles conçue par les ingénieurs et les chercheurs en utilisant l'expérience acquise lors des déploiements des générations précédentes. Quels sont les principes de fonctionnement d'un réseau 5G ? Nous expliciterons les principaux concepts techniques faisant de la 5G une évolution importante des réseaux mobiles et plus généralement, des technologies de l'information et de la communication.

[7]

#### 3.2.1. La 5G, une nouvelle génération de réseau mobile

De jour en jour, nous nous rendons compte que les services n'ont pas tous des contraintes identiques en ce qui concerne leur performance. Les transferts de fichiers s'accompagnent de débit perçu par l'utilisateur peu satisfaisant, les processus industriels se heurtent à des problèmes de latence, les communications véhiculaires rencontrent des soucis de fiabilité et les objets connectés massivement déployés suscitent des questions de densité de connexion. De plus, un service particulier peut fusionner diverses contraintes. Les chercheurs se demandent alors s'il existe un système universel pour pallier cette problématique. La 5G serait alors peut-être une solution.

[8]

#### 3.2.2. Les performances visées par la 5G

La 5G se démarque des générations de réseau mobile précédentes par une diversité des services proposés, des contraintes à surmonter et des environnements concernés. Chaque service se caractérise par des qualités requises. Les scientifiques ont alors défini des indicateurs de performance clés : Key Performance Indicators (KPIs). Il y a 9 KPIs, 8 KPIs qui ont été défini en 2015 par le Secteur des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications (ITU-R) et un indicateur parmi d'autres rajouté ultérieurement.

Les 8 premiers KPIs concernent des secteurs divers :

- Service vu par l'utilisateur final
  - Le débit utilisateur (Mbit/s) : Débit de données disponible pour un utilisateur, quelle que soit sa position par rapport à l'antenne d'émission.
  - Le débit max (Gbit/s) : Débit de données maximal obtenu dans des conditions d'utilisation optimales.
  - La latence (ms) : Latence unidirectionnelle maximale de bout en bout (entre 2 équipements raccordés au réseau 5G).
- Nombre de terminaux
  - La mobilité (km/h) : Vitesse maximale d'un utilisateur ou d'un terminal sans perte de communication.
  - La densité de connexions (objets/km<sup>2</sup>) : Nombre total d'équipements par unité de surface.
- Performances pour l'opérateur
  - La capacité de débit surfacique (Mbit/s/m<sup>2</sup>) : Débit disponible par unité de surface.

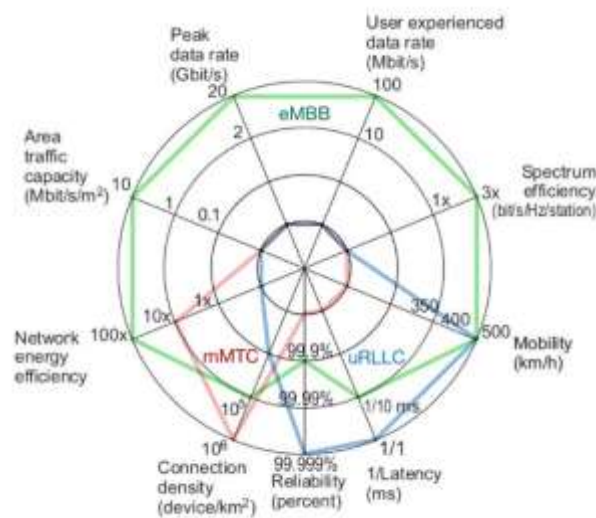
- L'efficacité spectrale (bit/s/Hz) : Débit de données par rapport à la largeur de bande de fréquence utilisée.
- Développement durable
  - L'efficacité énergétique (bit) : Quantité de données reçue et transmise par rapport à la consommation énergétique du réseau.

Le derniers KPI ajouté est la fiabilité (%) : Pourcentage de transmission correct d'un paquet.

Néanmoins, tous ces critères de performances ne sont pas tous conciliables. Alors, en fonction des KPIs qu'on cherche à privilégier, on a 3 déclinaisons principales d'un système 5G.

- eMBB qui privilégie le débit ;
- mMTC nombre massif de terminaux connectés ;
- uRLLC qui privilégie la latence et la fiabilité.

[9]



[10]

Figure 2 : La 5G, ses KPIs et ses déclinaisons

### 3.2.3. Les services de la 5G

La 5G donne accès à de nombreux services : des services de connectivité, des services de communication et des services à des prestataires tiers.



[11]

Figure 3 : Les services définis en 5G

D'une part, la 5G assure des services de connectivité structurée et non structurée. Nous n'aborderons que les services de connectivité structurée.

Avant d'aborder les services de connectivité structurés, voici quelques notions à connaître :

*Un terminal : User Equipment (UE)*

*Un réseau de données : Data Network (DN) peut être un réseau IP, un réseau Ethernet... Les échanges dans un réseau de données sont structurés en blocs d'octets (ou de bits) nommés Protocol Data Unit (PDU). Ils peuvent être des paquets IP, des trames Ethernet...*

*Une session PDU est l'association entre un UE et un DN.*

Les services de connectivité structurés sont des services de connectivité PDU. Il s'agit d'un service qui permet à un UE d'être membre d'un DN par l'intermédiaire d'un réseau 5G. D'abord, une adresse dans le système d'adressage du DN identifie un UE. Puis, il est possible d'échanger des données en transférant des PDU.

D'autre part, la 5G garantit des services de communication : messages courts : Short Message Service (SMS) et multimédias : IP Multimedia System (IMS).

En ce qui concerne les SMS, le format et les protocoles des anciennes générations sont les mêmes pour la 5G. En revanche, la 5G peut transporter des SMS dans des messages de signalisation du réseau.

Pour ce qui est des IMS, un réseau 5G est vu comme un réseau d'accès : IP-Connectivity Access Network (IP-CAN). Le réseau 5G spécifie également les services d'urgence.

Enfin, la 5G se distingue par des services à des prestataires tiers.

Il s'agit de services de suivi : joignabilité de l'UE, connaissance du nombre d'UE présents dans une zone, état d'itinérance et localisation.

Attardons-nous sur la localisation. Il s'agit d'un service fourni par l'opérateur télécom ou un tiers qui utilise l'information de localisation du terminal. Il est utilisé pour diverses raisons, à des fins commerciales, pour l'optimisation, en situation d'urgence ou pour permettre une interception légale. Le service de localisation peut faire suite à une sollicitation (pull) ou une notification (push).

D'ailleurs, le service de notification repose sur le réseau 5G mais nécessite l'intervention des opérateurs mobiles, pour ne pas leur déplaire. En effet, les opérateurs mobiles désirent aller au-delà du transport de données. Ils aspirent à ce que le réseau soit valorisé. Dans cette démarche, un de leurs projets consiste à octroyer des services supplémentaires. Par exemple, ils envisagent des services de notification ouverts à des prestataires externes.

[12]

#### **3.2.4. Relation entre la 5G et l'intelligence artificielle**

La 5G offre aux Fournisseurs de Services de Communication (FSC) des possibilités de croissance du chiffre d'affaires, mais pour transformer les revenus en bénéfices, il est essentiel d'exploiter l'échelle et la complexité de la 5G. Pour monétiser la 5G, il faut répondre aux attentes élevées et diverses des clients. Le découpage du réseau sera crucial à maîtriser, en fournissant juste la bonne connectivité, pour juste le bon cas d'utilisation. Les clients s'attendent à une performance sur mesure, offrant ce qui est important pour leur entreprise. L'IA et l'automatisation avancée seront essentielles pour que cela devienne une réalité.

Imaginons une nouvelle entreprise cliente qui gère une usine de fabrication automatisée. Elle a besoin de connectivité pour contrôler les robots de production, diffuser des vidéos haute fidélité et surveiller les capteurs de sécurité.

Différentes tranches de réseau 5G sont configurées pour répondre à chaque besoin spécifique. Des Accords de Niveau de Service (ANS) sont définis pour chaque tranche, reflétant l'intention commerciale et les besoins du client. Ces intentions servent de données d'entrée au système d'IA cognitive qui exploite leur réseau. Le système d'IA cognitive consiste en une base de connaissances contenant une expertise du domaine, des solutions existantes et de la documentation sur les produits. Il traite les intentions commerciales et peut effectuer des prédictions d'ANS, isoler les causes profondes et résoudre les contraintes.

[13] [14] [15]

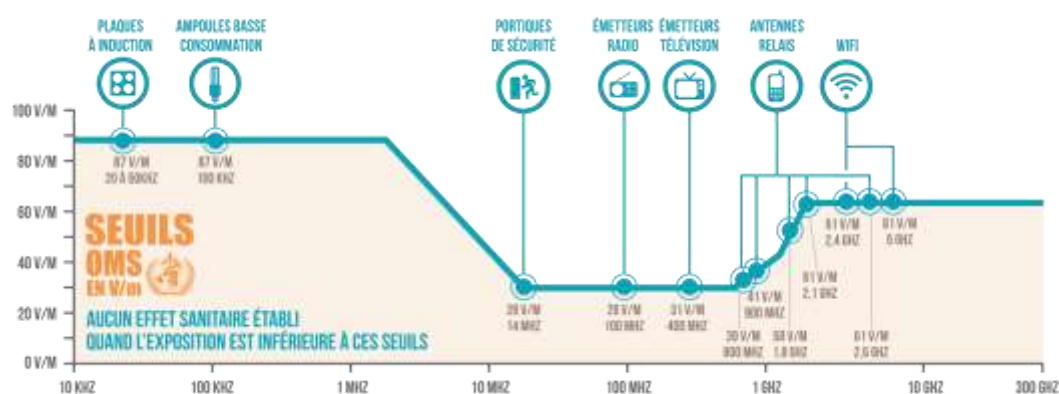
### 3.2.5. Enjeux sur la santé

La 5G représente une évolution des normes de télécommunications. Pour permettre des performances accrues, la 5G s'étendra sur des fréquences plus élevées autour de 3,5 GHz et jusqu'à quelques dizaines de GigaHertz. Ces fréquences élevées, bien qu'elles soient déjà connues et utilisées dans certains domaines comme les scanners corporels pour les contrôles de sécurité ou encore les liaisons radio point à point par exemple, représentent une innovation dans les réseaux téléphoniques mobiles.

À ces fréquences plus élevées, les réseaux 5G utilisent un plus grand nombre de stations de base et d'objets connectés. La 5G utilisera également des antennes à faisceaux pour orienter plus efficacement les signaux vers le dispositif utilisé, au lieu de diffuser le signal dans de grandes directions comme c'est le cas pour les antennes de stations de base actuelles.

À l'heure actuelle, l'exposition des infrastructures 5G à environ 3,5 GHz est similaire à celle des stations de base de téléphonie mobile existantes. Toutefois, certains aspects ont été modifiés afin de pouvoir plus rapidement aux demandes. Tout d'abord, l'utilisation de ces nouvelles fréquences ainsi que le recours à l'emploi de faisceaux multiples pour orienter les signaux permet un plus grand nombre de stations et d'objets connectés. De plus, ces nouvelles infrastructures couvrent une surface géographique plus importante, ce qui permet une exposition plus vaste en fonction de l'emplacement et de la fréquence d'utilisation de l'utilisateur.

Voici l'avis de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sur les potentiels risques de la 5G sur la santé.



[16]

Figure 4 : Seuils réglementaires pour l'exposition aux ondes émises par les antennes 5G

À ce jour, et après de nombreuses recherches, aucun effet néfaste sur la santé n'a été lié de cause à l'exposition aux technologies sans fil. Les conclusions relatives à la santé sont tirées d'études réalisées sur l'ensemble du spectre radioélectrique, mais, jusqu'à présent, seules quelques études ont été réalisées sur les fréquences utilisées par la 5G.



L'échauffement des tissus est le principal mécanisme d'interaction entre les champs de radiofréquences et le corps humain. Les niveaux d'exposition aux radiofréquences résultant des technologies actuelles entraînent une élévation négligeable de la température du corps humain.

À mesure que la fréquence augmente, il y a moins de pénétration dans les tissus du corps et l'absorption de l'énergie devient plus confinée à la surface du corps (peau et yeux). À condition que l'exposition globale demeure inférieure aux recommandations internationales, aucune conséquence sur la santé publique n'est prévue.

[17]

### **3.2.6. Enjeux géopolitiques**

Considérée comme l'une des révolutions technologiques les plus importantes de la décennie en raison des perspectives d'évolution qu'elle présente dans plusieurs domaines, notamment l'agriculture, la santé, les communications..., la 5G, tout comme les générations précédentes, a été l'objet de rivalité entre les grandes puissances mondiales actuelles.

En effet, avec la bipolarisation sino-américaine que connaît le XXIème siècle, et l'affirmation de l'Union Européenne en tant que grande puissance, la 5G a ravivé les tensions entre les blocs, en particulier entre les Etats-Unis et la Chine. Les Etats-Unis cherchant à conforter leur position en tant que leaders, et la Chine aspirant à s'imposer comme nouveau concurrent, rivalisent sur plusieurs secteurs, et la 5G a constitué une nouvelle source de tensions géopolitiques et économiques. Depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale, les Etats-Unis ont toujours eu le monopole sur les nouvelles avancées technologiques concernant les télécommunications mais récemment la Chine a récupéré le leadership avec la 5G et cela via l'avancée technologique de l'entreprise chinoise Huawei et le plan 'Made in China'.

Le Plan 'Made in China' du régime chinois affiche clairement sa volonté de surpasser l'Occident d'ici 2045 dans certains domaines stratégiques, notamment les batteries électriques, l'intelligence artificielle et la 5G. Face à ce projet de domination chinoise, les États-Unis soulèvent des questions de sécurité, notamment la facilitation de l'espionnage et les cyberattaques chinoises.

En mai 2019, le président américain Donald TRUMP a placé Huawei sous un régime de sanctions en la bannissant des réseaux 5G américains, obligeant l'entreprise à revoir ses chaînes d'approvisionnement. Désormais, toute vente de technologie américaine à Huawei, des semi-conducteurs aux systèmes d'exploitation mobiles tels qu'Android, est interdite sans autorisation préalable.

De plus, lors de la mise en place de la 5G, cette dernière a subi des contretemps, qui ont ralenti le développement de cette dernière. On peut citer par exemple celui lié aux aéroports : les fréquences que se sont vu attribuer les entreprises de télécommunication américaines se sont avéré être proche de celles utilisées par les radio altimètres des aéroports, risquant ainsi des interférences. Néanmoins, le problème majeur reste ses relations avec la Chine. En effet, la Chine possède un quasi monopole sur la production d'équipements 5G, par le biais de l'entreprise Huawei. Le fondateur, Ren ZHENGFEI, qui possède un passé d'ingénieur dans l'armée chinoise, ajoutée à l'obligation pour les entreprises chinoises de communiquer avec les services de renseignements, les Etats-Unis ont décidé d'interdire l'utilisation de leur équipement par peur de l'espionnage.

En ce qui concerne les disparités et les inégalités d'accès à la 5G, on peut remarquer que ces différences sont dues à des failles et manque de moyens présents dans les pays sous-développés, et une course effrénée des pays développés vers les nouvelles technologies qui ne font que creuser l'écart entre les 2 catégories.

Dans les pays développés comme les États-Unis, le Japon et la Corée du Sud, les opérateurs de télécommunications ont commencé à déployer la 5G dans les zones urbaines, en fournissant une connectivité haut débit à des millions d'utilisateurs. Les utilisateurs de la 5G peuvent ainsi bénéficier de vitesses de téléchargement plus rapides, de connexions plus stables et d'une latence plus faible pour des applications telles que les jeux en ligne, la réalité virtuelle et la télémédecine. En revanche, dans les pays sous-développés comme le Malawi et le Burundi, le déploiement de la 5G est très limité en raison de l'absence d'infrastructures adéquates, de moyens financiers limités et d'un manque de connaissances techniques. Dans ces pays, l'accès à Internet reste souvent limité aux zones urbaines, et les connexions sont lentes et peu fiables.

De plus, les pays développés ont une longueur d'avance dans la recherche et le développement de technologies 5G avancées. Par exemple, Samsung, le géant sud-coréen de la technologie, a déjà lancé plusieurs modèles de smartphones 5G haut de gamme, tandis que la société chinoise Huawei a développé une infrastructure de réseau 5G complète. En revanche, les pays sous-développés sont souvent exclus de ces avancées technologiques en raison de leur manque de ressources, ce qui aggrave encore l'écart numérique entre les pays riches et les pays pauvres.

Cet écart numérique peut avoir des conséquences économiques et sociales importantes. Les pays qui ne sont pas en mesure de se connecter à la 5G risquent de rester à la traîne dans le développement économique et l'innovation technologique, ce qui peut entraîner une aggravation des inégalités et une augmentation de la pauvreté. Pour réduire cet écart numérique, il est essentiel de prendre des mesures pour fournir des infrastructures de télécommunications adéquates et des technologies abordables et accessibles pour les pays sous-développés.

[18] [19] [20] [21]



[22]

Figure 5 : L'inégale répartition de la 5G dans le monde

Pour conclure, la 5G se démarque de ses prédécesseurs de par les services qu'elle propose au niveau de la connectivité, de la communication, de la localisation etc... De plus, avec le développement de l'IA et sa complémentarité avec cette dernière, la 5G offre de nombreux axes d'optimisation pour les entreprises. Mais une telle révolution dans le monde des télécommunications s'accompagne d'enjeux et de défis, notamment au niveau de la santé, avec l'utilisation de fréquences élevées qui peuvent être néfastes après une forte exposition ou encore au niveau géopolitique, avec les nombreux conflits dont principalement la monopolisation sino-américaine ou l'accès difficile à la 5G pour les pays sous-développés. Le développement de la 5G nécessite donc aussi de surmonter ces enjeux.

### 3.3. La 6G : perspectives d'hyperconnectivité

La 6G, comme son nom l'indique, sera la sixième génération de connectivité mobile. En effet, une nouvelle génération apparaît en moyenne tous les dix ans en apportant son lot d'avancées. Cette dernière, selon les prévisions, serait disponible d'ici 2030.

#### 3.3.1. Les différences de performance avec la 5G

Dans un premier temps, il y aura évidemment des améliorations sur la vitesse et la latence de la connexion. Comme dit précédemment, la 5G permettait un débit de l'ordre de plusieurs gigabits par seconde. Cette fois, les plus optimistes parlent d'une possibilité d'atteindre le téraoctet par seconde avec la 6G, soit 50 fois plus environ.

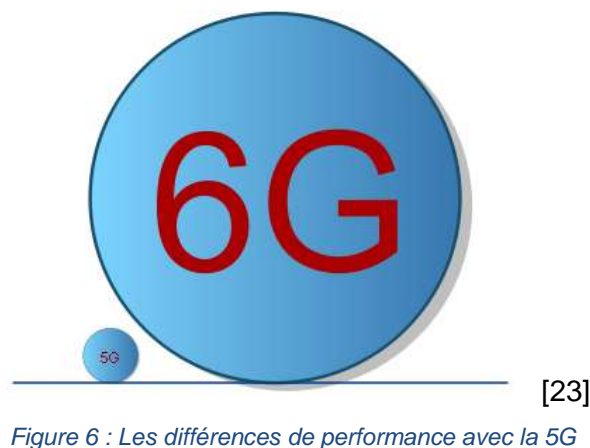


Figure 6 : Les différences de performance avec la 5G

De plus, celle-ci permettrait un plus grand nombre d'appareils connectés au kilomètre carré que la 5G, passant de 1 million à 10 millions. Cette avancée est due aux nouvelles fréquences utilisées par la 6G, qualifiées "d'extrêmes hautes fréquences". De fait, celles-ci vont de 0,1 à 10 THz ; plus la fréquence est élevée, plus le nombre d'informations transmises par unité de temps est important.

#### 3.3.2. Les défis de la 6G

La 5G n'étant pas encore entièrement déployée, on pourrait trouver ambitieux de commencer à réfléchir aux problématiques que devra résoudre la 6G. Cependant, la 5G sera déjà en place dans le monde depuis une décennie lorsque la 6G arrivera : elle devra donc répondre à une demande toujours croissante depuis 30 ans. De plus, certaines problématiques sont devenues primordiales, comme la question de l'environnement ou de la stabilité.

De fait, le développement durable est au centre de notre société actuelle, comme on peut le voir avec les différents sommets pour la Terre qui sont de plus en plus nombreux. Délaissé à l'époque des premières générations, celui-ci fait maintenant partie du cahier des charges du développement de la 6G. L'utilisation de l'intelligence artificielle pour optimiser le réseau, notamment sa distribution, serait une solution afin de réduire les pertes et coûts d'énergie.

De même, la demande de connexion instantanée est en constante augmentation : la 6G doit donc être capable de fournir une connexion de haut débit tout en restant stable avec une latence faible.





[24]

Figure 7 : Prévisions de l'évolution de l'utilisation des données mobiles

En effet, beaucoup de technologie actuellement en développement ou déjà existante auront besoin des évolutions de la 6G pour être plus fiable, notamment tout ce qui touche au domaine des machines autonomes comme les voitures, qui dans le futur, par les biais de la 6G, détectent plus rapidement les obstacles, panneaux et indications au sol. Mais également pour tout type d'actions contrôlé à distance, pour rendre la latence entre l'exécutant et l'exécuteur imperceptible et ainsi pouvoir effectuer des actions délicates relevant de la sécurité d'un ou plusieurs pays, comme pour des dispositifs militaires ou des dispositifs de désamorçage à distance. Mais aussi dans le domaine de la médecine, afin de réaliser des opérations à distance. Finalement on peut se projeter et imaginer toutes les possibilités que pourrait offrir la 6g en termes de connexion rapide. Au-delà de la rapidité, sa capacité à transmettre de gros volumes de données sera utile, par exemple, pour la réalité virtuelle, permettant ainsi de retransmettre des images de très hautes qualités, rendant l'expérience plus vraie que nature.

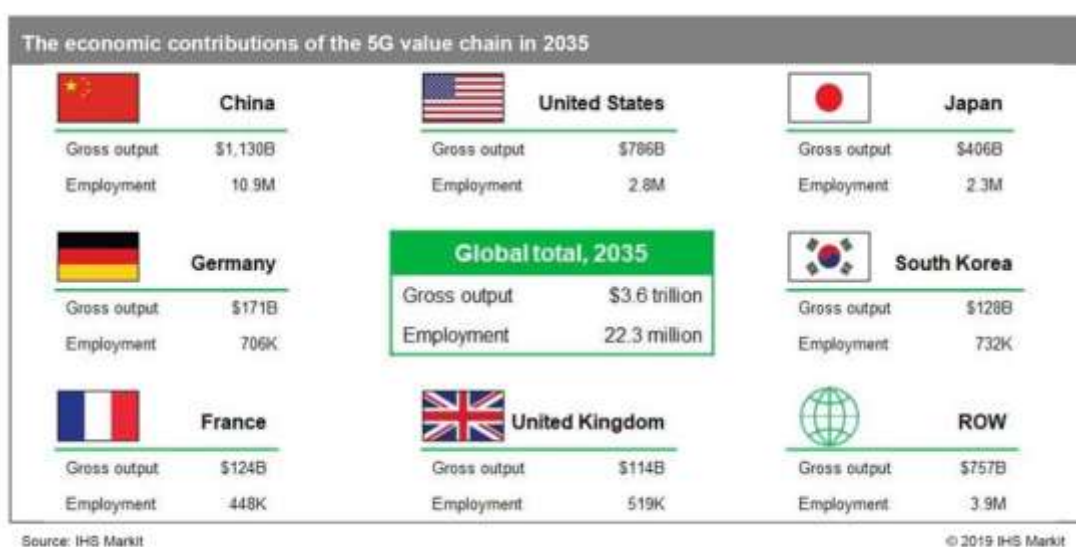
De plus, la sécurité des données se trouve toujours au cœur du développement de cette nouvelle génération. Une technologie prétendant à un futur totalement digital et connectant tous les utilisateurs entre eux se doit d'être irréprochable en termes de sécurité de l'information et de protections des données. Pour cela, on peut être rassuré par certains chercheurs indiquant que plus une onde a une fréquence élevée, moins elle est sensible aux attaques. Toutefois, lors d'expériences menées par des chercheurs de l'université de Rice et de Brown, utilisant des produits du quotidien tels que du papier et de l'aluminium, il a été prouvé qu'il était facile de détourner un faisceau d'onde 6G, remettant en question la sécurité de ce dernier. Il ne faut bien sûr pas voir cette expérience comme une preuve de l'incapacité des ondes utilisées par la 6G à être sécuritaire, mais plutôt une mise en garde cherchant à trouver les possibles failles de la 6G avant sa commercialisation.

En somme, la 6G devra, comme les générations précédentes, répondre aux attentes d'un monde où tout va de plus en plus vite, notamment au niveau de l'évolution technologique. Avec la particularité pour cette génération de devenir un outil sur lequel reposera des actions à risques, elle devra donc être encore plus irréprochable que les précédentes.

### 3.3.3. Les enjeux économiques et sociaux

Comme l'on pouvait s'y attendre, l'apparition de la 6G fait également apparaître l'opportunité aux pays et à de nombreuses entreprises de capitaliser dessus. La 6g est vue comme une opportunité à un billion de dollars dans le domaine de la communication mobile, ce qui donne la motivation aux entreprises et aux pays de s'investir dans le projet. En effet, nous avons déjà des prédictions quant à l'impact économique et social de la 5G dans le monde. La Chine se retrouve grande gagnante de cette course au développement avec un gain global estimé à un billion de dollars et la création de presque 11 millions d'emplois.

De plus, elle devrait également contribuer à une augmentation de la croissance de 0,2 points d'ici 2035, et une augmentation du PIB mondial de 2100 milliards de dollars, soit l'équivalent du PIB de l'Italie. Ainsi, de nombreux pays voudraient prendre la place de la Chine dans le développement de la 6G. D'autant plus que d'autres technologies, citées précédemment, se développent en parallèle de la 6G, et seraient un autre biais de création de patrimoine, rendant le développement de la 6G encore plus lucratif.



[25]

Figure 8 : Les enjeux économiques et sociaux

Un pays plus que les autres a tout intérêt à devenir le leader du développement de la 6G : les Etats Unis. Comme vu précédemment, la Chine s'est imposé comme la grande puissance mondiale en termes de développement 5G. Ce qui a mis un gros coup aux Etats-Unis qui depuis la fin de la seconde guerre mondiale, ont toujours été devant tout le monde en termes de développement technologiques. Les Etats-Unis mènent une guerre froide technologique contre la Chine, et l'échec de la 5G leur a fait perdre de la crédibilité dans le domaine, à l'échelle nationale. En investissant dans la 6G, les Etats Unis essayent de récupérer leur leadership au niveau de la télécommunication, ce qui leur permettrait de réimposer leur puissance dans le monde.

Au-delà de l'aspect économique, un des enjeux de la 6G est de connecter intégralement le monde. Ce serait en effet une vraie nouvelle avancée par rapport à la 5G, et non une simple évolution. En effet, comme on a pu le voir précédemment, le déploiement de la 5G est réparti de façon inégale dans le monde : ceci est en partie lié au fait que le réseau 5G est composé d'antennes qui doivent être installées. La 6G, elle, serait basée sur des satellites rendant l'accès à la 6G mondial, sans nécessiter l'installation d'antennes. Cela permettrait aux pays défavorisés, un bon accès internet et donc une meilleure connectivité mondiale.

### 3.3.4. Les acteurs de la 6G

Contrairement à la 5G, où la Chine dominait le déploiement de cette dernière, le développement de la 6G est plus éparpillé entre différents pays. En effet, beaucoup de pays veulent récupérer leur part du gâteau. C'est dans cet objectif que différents groupes et alliances sont apparues, afin de développer au plus vite la 6G.

On retrouve évidemment la Chine, qui est pour l'instant le pays ayant déposé le plus de brevets pour la 6G. Ils sont donc actuellement en tête du développement de la 6G. Cependant les Etats-Unis ne sont pas très loin derrière.



Figure 9 : Les acteurs de la 6G

De plus, ces derniers ont, comme nous l'avons indiqué précédemment, de multiples motivations à devenir les leaders de la 6G. C'est dans ce but que les Etats-Unis, par le biais de l'entreprise ATIS, ont créé la Next G Alliance, regroupant plusieurs sociétés de télécommunications et entreprises, permettant une mise en commun de leur force dans le but de développer au plus vite la 6g. Leur objectif est de faire progresser le leadership nord-américain dans le domaine de la 6G et des technologies mobiles en général. De plus, les Etats-Unis ont formé des alliances avec différents pays, comme le Japon, dans le but de contrer la montée en puissance chinoise. Les 2 pays ont conclu un accord pour investir ensemble 4,5 milliards de dollars dans le développement de la 6G. La Next G Alliance a également récemment signé un accord avec la 6G-IA, une alliance européenne d'entreprises et de chercheurs dans le développement des réseaux et services de télécommunications, dans le but d'échanger leurs informations respectives. L'Europe a également formé une alliance nommée Hexa-X, se concentrant sur le développement de la connexion humain-logiciel, notamment par l'utilisation de nouvelles technologies comme la 6G, cependant les avancées sont faibles par rapport aux 2 blocs majoritaires que sont la Chine et les Etats-Unis.

Des premiers tests ont déjà été effectués, notamment par l'entreprise Samsung, qui est liée à la Next G Alliance : cette dernière a, lors d'un test effectué en collaboration avec l'université de Californie, obtenu un débit de plus de 6 Gbit/s. Cependant, ce test n'a été effectué que sur une distance de 15m. La société LG ayant remarqué une baisse de puissance avec la distance parcourue, liée à la haute fréquence utilisée, elle a dû construire un amplificateur pour garder une puissance stable et a ainsi permis une transmission sur une distance de 100m. De plus, l'université d'Osaka en collaboration avec l'université de Nanyang à Singapour a présenté une puce 6G permettant de réaliser des transferts de données jusqu'à 11 Gbits/s. La Chine a, elle, envoyé un satellite dans l'espace dans le but de réaliser dans le futur des tests à des fréquences comprises entre 0,1 et 10 THz. Ainsi, on observe déjà une course à la technologie, motivée par l'appât du gain et le pouvoir.

### 3.3.5. Problèmes et contraintes

La 6G, comme toutes avancées technologiques, fait face à des contraintes auxquelles il faut trouver des solutions. Les premières sont les contraintes technologiques, similaires à celles de la 5G. En revanche, la 6G a pour particularité d'utiliser des ondes à des fréquences de l'ordre du térahertz, bien plus hautes que celle de la 5G, venant exacerber les problèmes qu'avaient rencontré celle-ci. En effet, plus une onde possède une haute fréquence, moins son recouvrement est grand et plus elle est exposée aux interférences et au fait d'être bloqué par les obstacles, le premier étant la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère qui absorbe les ondes térahertz.

Ce problème avait été résolu grâce au recours à l'utilisation de la technologie MIMO. Basée sur le déploiement d'un grand nombre d'antennes orientables en fonction des zones à forte densité d'utilisateurs, cette technologie permet d'augmenter la rapidité du réseau et de limiter les pertes. Mais comme la 6G utilisera des fréquences encore plus hautes que la 5G, cette dernière ira encore moins loin dans l'espace, que la 6G. Il faudrait envisager donc un réseau d'antennes encore plus important que celui de la 5G, et un développement de la technologie MIMO pour résoudre ce problème.

Cependant, les actions violentes portées par les détracteurs de la 5G rendent le tout encore plus problématique. En effet, comme vu précédemment, lors du déploiement des antennes 5G, des théories complotistes reliant 5G et covid-19 avait eu pour conséquences des destructions d'antennes et des agressions sur des ingénieurs dans différents pays, certains considère que le choix de la Chine d'envoyer un satellite dans l'espace plutôt que de construire une antenne aurait pu être motivé par la crainte qu'elle soit détruite par des extrémistes. De plus, le déploiement de nombreux satellites est également critiqué par les astronomes. C'est un problème que rencontre Elon MUSK pour le déploiement de ses satellites Starlink. En effet, plusieurs complications pour l'observation astronomique seraient générées par l'utilisation massive de satellite dans la création du réseau 6G. Le premier étant que les satellites laissent la trace de leur trajectoire sur les observations, rendant leur exploitation limitée.



Figure 10 : Problèmes et contraintes

Les astronomes indiquent que déjà 30 à 50% des observations du matin et du soir sont inexploitable. De plus, la radioastronomie serait brouillée par les ondes transmises par les différents satellites. En fin de compte, il est compliqué de faire un choix qui conviennent à tous pour ce qui est du moyen utilisé pour créer le réseau 6G mondiale. Peut-être faudra-t-il créer un réseau hybride, utilisant antennes et satellites afin de satisfaire les exigences de chacun. Où peut-être que d'ici quelques années, on trouvera une nouvelle méthode pour transporter les ondes 6G dans l'espace. Cette technologie étant peu développée pour le moment, on ne peut pas s'avancer sur ce que sera précisément la 6G en 2030.

Pour conclure, la 6G n'est pour l'instant qu'à une phase de développement et fait face à de nombreuses contraintes, mais une fois aboutie, elle permettra des avancées technologiques que les précédentes générations n'auraient pas permises. C'est une nouvelle étape dans la transition du monde d'aujourd'hui vers un monde 100% connecté en temps réel.

[28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44]

#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ainsi, il est aisé de dire que les générations de télécommunications ont évolué de manière exponentielle durant les dernières décennies. Que ce soit du point de vue des performances de ces dernières ou des possibilités qu'elles offrent, chacune surpasse la précédente au vu des nouvelles opportunités qu'elle apporte.

En effet, les compétences offertes par la 1G peuvent maintenant nous sembler archaïques : nous sommes passés de simples appels vocaux à des visioconférences en direct, envisageant même un avenir connecté à temps plein. De plus, cette quête d'amélioration est sans fin, l'Homme cherchant déjà comment améliorer les performances du réseau à sa sortie.

De fait, la 4G a marqué un tournant dans la façon dont nous échangeons ; toutefois celle-ci a été bousculée avec l'arrivée de la 5G et le sera encore plus avec la 6G. D'une part, la 5G offre des services révolutionnaires en termes de rapidité ou d'accès aux informations. Ces performances risquent pourtant d'être encore surpassées avec l'arrivée de la 6G : cette génération nous promet un avenir totalement connecté où le partage serait instantané et sans limites.

De par l'exploit technologique que ces réseaux représentent, cette quête a ravivé certaines rivalités entre nations. Aussi, le déploiement de la 6G est un sujet de compétition entre deux blocs distincts : d'une part la Chine et de l'autre les Etats-Unis. Chaque bloc a déployé de nombreuses ressources dans le but d'être le premier à maîtriser et commercialiser ce réseau innovant. En effet, la 6G représente un symbole de pouvoir scientifique dans notre monde et est devenu un sujet de compétition entre nations.

On ne peut donc qu'imaginer les possibilités octroyées par les versions futures, notamment aux niveaux de leurs fonctionnalités et dystopies dues à leurs convoitises et à l'avidité des différents pays.

Nous tenons à remercier chaleureusement Mr BENSRAHAI, notre enseignant encadrant pour ce projet, qui est resté à l'écoute et nous a apporté diverses informations et ressources utiles afin d'atteindre notre objectif.



## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Wikipédia, l'encyclopédie libre, «1G,» Wikipédia, l'encyclopédie libre, 17 mars 2022. [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/1G>.
- [2] R. W. Alexandre COTARMANAC'H ECHEVARRIA, «TÉLÉCOMMUNICATIONS, La communication sans fil,» Universalis, [En ligne]. Available: <http://www.universalis-edu.com.ezproxy.normandie-univ.fr/encyclopedie/telecommunications-la-communication-sans-fil/>.
- [3] R. WALLSTEIN, «4G, télécommunications,» Universalis, [En ligne]. Available: <http://www.universalis-edu.com.ezproxy.normandie-univ.fr/encyclopedie/4g-telecommunications/>.
- [4] «2G,» Ooreka, [En ligne]. Available: <https://telephonie.ooreka.fr/comprendre/2g>.
- [5] «Les différents réseaux et opérateurs de téléphonie mobile,» Office Easy, 29 mars 2023. [En ligne]. Available: <https://www.officeeasy.fr/guides/amplificateur-gsm/ampgsm1.php>.
- [6] «Can We Skip 5G and Directly Develop 6G,» 25 mai 2021. [En ligne]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/can-we-skip-5g-and-directly-develop-6g/thread/742267-100181>.
- [7] X. LAGRANGE, «5G : Principes de fonctionnement MOOC,» Youtube, 22 juillet 2020. [En ligne]. Available: <https://youtu.be/yXA0tpSE56U>.
- [8] X. LAGRANGE, «1/21 Types de service et KPI - 5G : Principes de fonctionnement,» Youtube, 22 juillet 2020. [En ligne]. Available: <https://youtu.be/4EoIEVvyqVQ>.
- [9] «2/21 KPIs pour la 5G - 5G : Principes de fonctionnement,» Youtube, 22 juillet 2020. [En ligne]. Available: <https://youtu.be/WUcOITDY0As>.
- [10] G. BOUAYAD.
- [11] «Que signifiera la 5G pour vous ?,» Corning, [En ligne]. Available: <https://www.corning.com/optical-communications/emea/fr/home/applications/5g-is-here-and-it-is-made-of-glass/demystifying-5g.html>.
- [12] X. LAGRANGE, «3/21 Présentation des services 5G - 5G : Principes de fonctionnement,» Youtube, 22 juillet 2020. [En ligne]. Available: <https://youtu.be/ePUljz4024>.
- [13] Z. GDALI, «Intelligence artificielle et 5G : comment sont-elles liées ?,» Firecell, 17 juin 2022. [En ligne]. Available: <https://firecell.io/fr/artificial-intelligence-and-5g-how-are-they-linked/>.
- [14] «ENCQOR 5G conjugue la technologie 5G à l'intelligence artificielle et à la science des données à son centre d'innovation de Québec,» Université Laval, 3 septembre 2020.

- [En ligne]. Available: <https://iid.ulaval.ca/encqor-5g-conjugue-la-technologie-5g-a-lintelligence-artificielle-et-a-la-science-des-donnees-a-son-centre-dinnovation-de-quebec/>.
- [15] I. Levame, «5G et intelligence artificielle : quel avenir ?», Selectra, 19 novembre 2019. [En ligne]. Available: <https://selectra.info/telecom/actualites/acteurs/intelligence-artificielle-5g-avenir>.
- [16] Fédération Française des Télécoms, «FAQ – 5G ET SANTÉ», Fédération Française des Télécoms, 20 décembre 2019. [En ligne]. Available: <https://www.fftelecoms.org/grand-public/faq-5g-et-sante/>.
- [17] «Radiation: 5G mobile networks and health», World Health Organization, 27 février 2020. [En ligne]. Available: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-5g-mobile-networks-and-health>.
- [18] A. CUENCA, «La France face à la géopolitique de la 5G : quels enjeux autour de la nouvelle génération de réseau sans fil ?», Diploweb.com, 29 novembre 2020. [En ligne]. Available: <https://www.diploweb.com/La-France-face-a-la-geopolitique-de-la-5G-quels-enjeux-autour-de-la-nouvelle-generation-de-reseau.html>.
- [19] C. Dugoin-Clément, «Les enjeux géopolitiques de la 5G», La Tribune, 1 octobre 2020. [En ligne]. Available: <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/les-enjeux-geopolitiques-de-la-5g-858568.html>.
- [20] J. NOCETTI, «L'Europe dans la géopolitique de la 5G : une ligne de crête technologique ?», Institut français des relations internationales (IFRI), janvier 2022. [En ligne]. Available: <https://www.ifri.org/fr/publications/etudes-de-lifri/leurope-geopolitique-de-5g-une-ligne-de-crete-technologique#:~:text=Pour%20l%27Europe%2C%20les%20enjeux,la%20ma%C3%AEtrise%20des%20technologies%20critiques>.
- [21] W. B.-T. Laurent GAYARD, «La 5G : géopolitique d'une technologie majeure», GeoStrategia, 15 juin 2021. [En ligne]. Available: <https://www.geostrategia.fr/5g-geopolitique-technologie-majeure/>.
- [22] Statistica, «Le déploiement de la 5G dans le monde», 16 octobre 2020. [En ligne]. Available: <https://fr.statista.com/infographie/23223/deploiement-5g-carte-mondiale-lancement-commercial-developpement-reseau-investissements/>.
- [23] C. FELIN.
- [24] Statistica, «Données mobiles : comment le trafic va exploser», 21 juin 2021. [En ligne]. Available: <https://fr.statista.com/infographie/25122/prevision-augmentation-du-traffic-de-donnees-mobiles-par-smartphone-par-region/>.
- [25] L'usine nouvelle, «La 5G contribuerait de 3 600 milliards de dollars à l'économie mondiale en 2035», 8 novembre 2019. [En ligne]. Available: <https://www.usinenouvelle.com/article/la-5g-contribuerait-de-3-600-milliards-de-dollars-a-l-economie-mondiale-en-2035.N901839>.
- [26] Statistica, «La course à la 6G est déjà lancée», 20 septembre 2021. [En ligne].

Available: <https://fr.statista.com/infographie/25803/repartition-des-demandes-de-brevets-lies-a-la-6g-par-pays-ou-region/>.

- [27] Baidu, «L'impact des satellites artificiels sur l'astronomie, bon ou mauvais ? réponse incroyable,» 4 avril 2023. [En ligne]. Available: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1762206509407972679&wfr=spider&for=pc>.
- [28] «6G,» Wikipédia, l'encyclopédie libre, 19 mai 2023. [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/6G>.
- [29] «MIMO (télécommunications),» Wikipédia, l'encyclopédie libre, 30 décembre 2021. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO\\_\(t%C3%A9l%C3%A9communications\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO_(t%C3%A9l%C3%A9communications)).
- [30] «6G,» Baidu, 5 juin 2023. [En ligne]. Available: <https://baike.baidu.com/item/6G/16839792?fr=aladdin>.
- [31] «6G – Connecting a cyber-physical world,» Ericson, [En ligne]. Available: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research-outlook-towards-6g>.
- [32] C. NERNEY, «6G cellular doesn't exist, but it can be hacked,» Network World, 31 mai 2022. [En ligne]. Available: <https://www.networkworld.com/article/3662076/6g-cellular-doesn-t-exist-but-it-can-be-hacked.html>.
- [33] S. McCaskill, «Farewell 5G - here's how the US is going become a 6G superpower,» TechRadar, 8 février 2022. [En ligne]. Available: <https://www.techradar.com/news/heres-how-the-us-is-going-become-a-6g-superpower>.
- [34] S. McCaskill, «6G is a 'trillion dollar' opportunity for the mobile industry,» TechRadar, 22 février 2021. [En ligne]. Available: <https://www.techradar.com/news/6g-is-a-trillion-dollar-opportunity-for-the-mobile-industry>.
- [35] S. McCaskill, «What is 6G? Everything you need to know,» TechRadar, 20 décembre 2020. [En ligne]. Available: <https://www.techradar.com/news/6g>.
- [36] J.-Y. ALRIC, «Quels pays dominant la course à la 6G ?,» Presse-citron, 17 octobre 2021. [En ligne]. Available: <https://www.presse-citron.net/quels-pays-dominent-la-course-a-la-6g/>.
- [37] J.-Y. ALRIC, «6G : les États-Unis et le Japon s'unissent pour contrer la Chine,» Presse-citron, 26 avril 2021. [En ligne]. Available: <https://www.presse-citron.net/6g-les-usa-et-le-japon-sunissent-pour-contrer-la-chine/>.
- [38] J. MERTENS, «6G : Samsung dévoile les résultats de ses premiers tests,» Geeko, 18 juin 2021. [En ligne]. Available: <https://geeko.lesoir.be/2021/06/18/6g-samsung-devoile-les-resultats-de-ses-premiers-tests/>.
- [39] D. MANFREDINI, «LG teste déjà la 6G,» Geeko, 27 août 2021. [En ligne]. Available: <https://geeko.lesoir.be/2021/08/27/lg-teste-deja-la-6g/>.
- [40] S. ADKENS, «La Chine a lancé le premier satellite 6G au monde,» Developpez.com, 24



novembre 2020. [En ligne]. Available: <https://www.developpez.com/actu/310676/La-Chine-a-lance-le-premier-satellite-6G-au-monde-alors-que-nous-ne-savons-meme-pas-encore-ce-qu-est-la-technologie-6G/>.

- [41] B. FASSINO, «La 6G serait 100 fois plus rapide que la 5G, des universitaires présentent déjà une puce,» Developpez.com, 24 août 2020. [En ligne]. Available: <https://www.developpez.com/actu/308215/La-6G-serait-100-fois-plus-rapide-que-la-5G-des-universitaires-presentent-deja-une-puce-capable-de-transmettre-des-donnees-a-une-vitesse-de-11-gigabits-par-seconde/>.
- [42] B. LEPINE, «La Corée du Sud annonce la 6G pour 2028 : quelles différences avec la 5G ?,» LeBigData.fr, 22 février 2023. [En ligne]. Available: <https://www.lebigdata.fr/6g-vs-5g-tout-savoir>.
- [43] C. DELAHAYE, «La 6G, bataille technologique sino-américaine décisive pour la suprématie mondiale,» Ecole de Guerre Economique, 19 mars 2021. [En ligne]. Available: <https://www.ege.fr/infoguerre/la-6g-bataille-technologique-sino-americaaine-decisive-pour-la-suprematie-mondiale>.
- [44] «L'alliance Next G d'ATIS et l'association européenne de l'industrie des réseaux et services intelligents 6G annoncent un protocole d'accord,» 5G Infrastructure Public Private Partnership, 10 août 2022. [En ligne]. Available: [https://1-5g--ppp-eu.translate.google.com/atis-next-g-alliance-and-europes-6g-smart-networks-and-services-industry-association-announce-memorandum-of-understanding/?\\_x\\_tr\\_enc=1&\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=fr&\\_x\\_tr\\_hl=fr&\\_x\\_tr\\_pto=wapp](https://1-5g--ppp-eu.translate.google.com/atis-next-g-alliance-and-europes-6g-smart-networks-and-services-industry-association-announce-memorandum-of-understanding/?_x_tr_enc=1&_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=wapp).
- [45] C. D. BRULLE, «6G, 7G et WiFi du futur pourraient recharger la batterie de votre téléphone,» Daily Science, 13 décembre 2021. [En ligne]. Available: <https://dailyscience.be/13/12/2021/6g-7g-et-wifi-du-futur-pourraient-charger-les-telephones/>.

## 6. ANNEXES

### 6.1. Rapport d'étonnement

Ce rapport présente nos observations et nos étonnements lors de notre participation au projet de groupe portant sur l'évolution des réseaux de télécommunications, en mettant l'accent sur les technologies 5G et 6G.

Premièrement, le fait d'être 6 sur ce projet nous a obligés à être rigoureux sur la répartition du travail, la communication et la cohésion. En particulier, préparer un oral d'exactly 10 minutes nécessite que chacun respecte parfaitement son temps imparti. Il faut alors apprendre à gérer son débit de parole.

Pour ce qui est du sujet en lui-même, il est vrai que nous ne sommes que très peu sensibilisés à ce dernier au quotidien. Nous ne connaissions le sujet qu'en surface au début de notre recherche documentaire et avons découvert des informations qui, sans cette étude, nous seraient probablement restées inconnues. Par exemple, l'aspect géopolitique de ce dernier ou encore les différents freins au développement des générations, qu'ils soient humains ou techniques. Mais également des informations plus précises, notamment le fait que les fréquences utilisées sont propres à chaque pays et sont distribuées à la mise en place des réseaux.

Finalement, l'observation des avancées de la 5G et des perspectives prometteuses de la 6G nous a conduit à une réflexion approfondie sur les implications technologiques, économiques et sociétales de ces réseaux, dont nous n'avions pas pleinement conscience. Nous sommes en droit à présent de nous demander comment les générations futures vont-elles évoluer, mais également comment faire pour que ces générations soient plus performantes, tout en restant respectueuses de l'environnement ? On peut aussi se demander comment les conflits vont évoluer ? Est-ce que la Chine va récupérer son monopole ou est-ce que le développement sera mieux réparti dans le futur ? On peut également rêver sur les futures fonctionnalités, il y a déjà des possibilités évoqués pour la 7G, cette dernière pourrait recharger votre téléphone en transférant de l'énergie, sans fil. Finalement, seul l'avenir nous le dira.

[45]