



**HAL**  
open science

## From 5G to 6G: context and challenge!

Jean-Pierre Damiano

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Damiano. From 5G to 6G: context and challenge!. IESF Côte d'Azur, Société des Ingénieurs et Scientifiques de France, 2020, 4, pp.13-23. hal-03699991

**HAL Id: hal-03699991**

**<https://hal.science/hal-03699991>**

Submitted on 23 Jul 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# De la 5G à la 6G : contexte et enjeux !

## *From 5G to 6G: context and challenges!*

Jean-Pierre DAMIANO

Ancien ingénieur de recherches (Université Côte d'Azur CNRS)

[jean-pierre.damiano@univ-cotedazur.fr](mailto:jean-pierre.damiano@univ-cotedazur.fr)

### **Résumé**

Notre société devient de plus en plus dépendante du tout numérique que ce soit du point de vue de la connectivité de tout type d'objet, du pilotage de structures industrielles, des échanges de volumes importants de données, etc. Le besoin de communication mobile à très haut débit est donc vital pour préparer au mieux l'arrivée de nouveaux services et d'applications émergentes : la réalité étendue immersive, l'imagerie très haute résolution, l'hologramme mobile à haute-fidélité, les jumeaux numériques, etc. Les domaines concernés sont, par exemple, l'internet des objets, la santé, le transport autonome, le climat, la cybersécurité, etc. L'article présente le contexte international, les enjeux économiques et sociétaux. Après quelques rappels sur la 5G en cours d'implantation territoriale, des éléments de technologie nécessaires pour la 6G future sont exposés avec les tendances, les promesses et les relations à l'humain. Les images ou figures présentées sont la propriété de leurs auteurs cités comme source. Des références bibliographiques et des liens vers les sites d'organismes et d'institutions sont indiquées.

### **Mots-clefs**

5G, 6G, communication mobile, téléphonie mobile, transformation numérique, réalité virtuelle, réalité mixte, réalité étendue, intelligence artificielle, jumeau numérique, hologramme, internet des objets, transport autonome, cybersécurité, débit, latence, fiabilité, bande de fréquence, terahertz.

### **Abstract**

*Our society is becoming more and more dependent on digital technology, whether it be for the connectivity of all types of objects, the control of industrial structures, or the exchange of large volumes of data. The need for very high speed mobile communication is therefore vital to prepare for the arrival of new services and emerging applications: immersive extended reality, very high resolution imaging, high-fidelity mobile holograms, digital twins, etc. The domains concerned are, for example, the Internet of Things, health, autonomous transport, climate, cybersecurity, etc. The article presents the international context, the economic and societal issues. After some reminders on the 5G being implemented territorially, elements of technology needed for the future 6G are exposed with trends, promises and relationships to humans. The images or figures presented are the property of their authors cited as source. Bibliographic references and links to the sites of organizations and institutions are indicated.*

### **Keywords**

5G, 6G, mobile communication, mobile telephony, digital transformation, virtual reality, mixed reality, extended reality, artificial intelligence, digital twin, hologram, internet of things, autonomous transportation, cybersecurity, throughput, latency, reliability, frequency band, terahertz.

## Introduction

La société devient de plus en plus dépendante du tout numérique. De nouvelles technologies innovantes voient le jour permettant l'émergence d'applications - la réalité mixte, l'imagerie haute résolution, les véhicules autonomes, l'internet des objets, etc. Tout cela génère des volumes de données de plus en plus colossaux, ce qui oblige à envisager de nouveaux systèmes de communication dans divers domaines - la santé, le transport, le climat, la cybersécurité, etc. - dans les secteurs civil et militaire. Ainsi les ruptures technologiques, les transformations numériques, le développement de l'intelligence artificielle (IA), l'avènement de la 5G dans les années à venir et de la 6G à la fin de cette décennie, modifient notre vie quotidienne, conditionnent nos méthodes de travail, la conception de la recherche et nos interactions sociales. Elles transforment nos échanges commerciaux et impactent notre environnement. Les objectifs des nouvelles générations de communication intègrent la réalisation de plusieurs objectifs de développement durable ([ODD](#)).

Selon les études de l'ONU, la population mondiale passera à près de 11 milliards à la fin du siècle. La population urbaine devrait représenter près de 70% au milieu du siècle. Ceux sont l'Afrique et l'Asie qui sont les continents à plus fort développement. Cette croissance rapide est liée aux progrès de la médecine moderne, aux progrès technologiques, à un meilleur niveau de vie. Cela amène à mettre en œuvre des systèmes de communication innovants et performants, de grande fiabilité et de qualité de service garantie, pour l'industrie et le particulier, tout en protégeant les écosystèmes vitaux de la Terre [Source : [ONU](#)].

L'article présente le contexte international, les enjeux économiques et sociétaux, sans prétention d'exhaustivité. Après quelques rappels sur la 5G en cours d'implantation territoriale, des éléments de technologie nécessaire pour la 6G future sont exposés avec les tendances, les promesses et les relations à l'humain. Diverses références sont proposées pour approfondir le sujet.

## Les générations de la téléphonie mobile

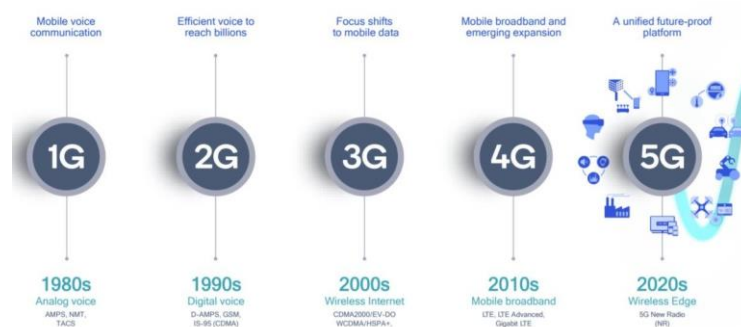
La première génération de téléphonie mobile (1G) avait un fonctionnement analogique et des volumineux terminaux de communication, sans rapport avec les nôtres aujourd'hui ! C'est dans les années 1980 que le CNET (Centre National d'Etudes des Télécommunications) effectua un travail de recherche important servant de base à l'élaboration de la norme GSM (*Global System for Mobile communication*) qui a permis le développement de la téléphonie mobile, particulièrement en Europe avec les bandes 900 MHz et 1800 MHz, mais avec d'autres fréquences aux Etats-Unis.

La technologie fût entièrement numérique à partir de la deuxième génération (2G). Les téléphones pouvaient échanger des messages *texte* de type SMS (*Short Message Service*). Une version (2,5G) à débit plus rapide, de l'ordre de 40 kbit/s, utilisant le standard GPRS (*General Packet Radio System*) a vu le jour. De même, la version EDGE (*Enhanced data Rates for Global Evolution*), avec un débit de 3 487Kbit/s, est aussi mise sur le marché.

L'avènement de la 3G, 10 ans après les débuts de la 2G, va bouleverser l'utilisation des téléphones portables entre autres, avec des débits de 384 kbit/s à 2 Mbit/s, puis jusqu'à 42 Mbit/s. Des messages multimédia de type MMS (*Multimedia Messaging Service*), courriels, photos, vidéo, sont échangeables avec des débits de l'ordre de 1,9 Mbit/s. En effet, suite aux spécifications IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications for the year 2000*) de l'UIT (Union internationale des Télécommunications), plusieurs avantages sont mis en valeur, à savoir un débit variable selon la couverture liée à l'utilisation (fixe, en mouvement, etc.) et une comptabilité universelle pour permettre les accès à Internet. A partir de 2005, la norme UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) transforme le terminal en serveur web, fournissant des services multimédias (télévision ou visioconférence). Début 2008, près de 300 millions de terminaux mobiles sont en service. Des variantes existent : la 3G<sup>+</sup> et ses 10Mbit/s, ou la 3G<sup>++</sup> avec un débit de 42Mbit/s.

La 4G utilise la norme LTE (*Long Term Evolution*), plus performante, offrant un débit de 150 Mbit/s. La 4G<sup>+</sup> utilise la norme LTE Advanced, proposant un débit théorique de 1Gbit/s, souvent plus proche des 300 Mbit/s. La 4G participe au développement de l'internet mobile, des usages vidéo, des visioconférences, etc. [Source : [frandroid Telecom](#) 18 nov. 2020].

La 5G est caractérisée par des débits jusqu'à 10 fois supérieurs à ceux de la 4G (>1 Gbit/s). La latence (temps de réponse) est divisée par 10. La densité de connexion est multipliée par 10. La 5G permettra de connecter les personnes, les objets, les données, les applications, les réseaux, les systèmes de transport, les territoires, etc. La première démonstration 5G, en précommercial, a eu lieu en Corée du Sud (PyeongChang), pour les XXIII<sup>èmes</sup> Jeux olympiques d'hiver, en février 2018.



De la 1G à la 5G (Crédit : [Qualcomm](#))

Alors que la 5G commence à se déployer sur tous les continents, les recherches sur la 6G sont déjà menées dans les laboratoires et les entreprises concernées. Les premiers réseaux 6G seraient opérationnels en 2028. L'objectif est d'atteindre 1 000 Gbit/s dans la gamme de fréquences du térahertz. La 6G est élaborée avec de nouvelles technologies et des capacités de répondre aux futurs besoins de communication et aux exigences de performance et de fiabilité dans les services et applications à venir.

## Le contexte et les enjeux

Pour mémoire, les Etats-Unis ont dominé le développement de la 4G et l'Europe, celui de la 3G. La Chine considère qu'il faut investir massivement dans cette technologie (400 milliards de dollars) : elle en a fait une priorité nationale tout comme pour l'IA.

Les enjeux stratégiques sont tels que les États-Unis avaient envisagé, un temps, de nationaliser le réseau 5G pour en détenir toute l'infrastructure. En France, l'enjeu de déploiement de la 5G est vital car il devra s'appuyer sur des équipements soit chinois (Huawei), soit européens (Ericsson ou Nokia). Quel que soit le choix du prestataire, l'Etat et les gouvernances concernées devront développer les outils nécessaires pour assurer la sécurité nationale face aux menaces d'espionnage et de piratage (technologies embarquées, usines connectées, etc.).

Les nations qui auront la suprématie dans la 5G pourraient aussi la détenir dans l'internet de tout (*Internet of Everything* ou *IoE*) dont les possibilités vont bien au-delà de l'internet des objets. L'*IoE* connectera toute machine, tout objet muni de capteurs, tout utilisateur potentiel avec les processus, les bases de données, etc. Ce concept consiste donc à opérer la fusion entre le contenant et le contenu.

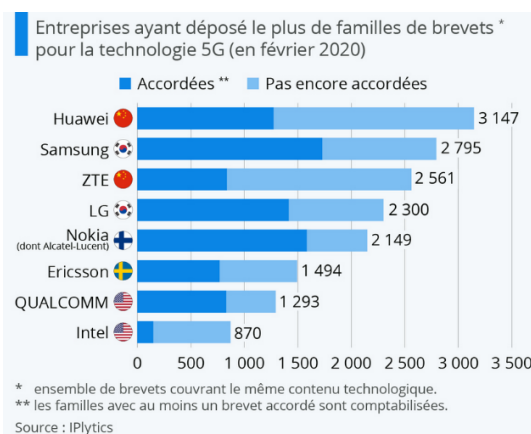
Grâce à l'électronique embarquée et aux capteurs, divers produits (véhicules, objets, etc.) se connectent à l'internet et génèrent des données, qui, analysées, donneront des tendances et des informations. Les applications sont très nombreuses - l'industrie, le véhicule autonome, la santé, l'énergie, l'environnement, etc. Les problématiques étudiées sont les économies d'énergie, la mobilité internationale, la puissance de calcul, l'intelligence embarquée, les réseaux 5G, l'IA, etc. Les opérateurs de télécommunications investissent dans les constellations de l'IoT (*Internet of Things*) en partenariat avec les entreprises spécialisées dans le lancement de nanosatellites. L'ensemble des territoires terrestres, maritimes, aériens et spatiaux seront couverts [Source : [Les enjeux de la recherche et l'intelligence économique et stratégique](#), Tech. Ing., Oct. 2019].

En ce qui concerne l'Union européenne, la présidente de la Commission, Mme von der Leyen, a déclaré que la transformation verte et la transformation numérique étaient des défis indissociables. Ils nécessitent des solutions et des moyens durables en ayant conscience que les humains puissent en tirer des avantages. Les systèmes de communication, l'intelligence artificielle ou les technologies quantiques permettent de répondre aux besoins et aux services naissants, mais il faut tenir compte des risques et des conséquences d'une cyber-malveillance de plus en plus développée et agressive : il est donc nécessaire de veiller à la qualité et à la fiabilité de nos infrastructures critiques (énergie, communication, transport, données, etc.) et à la préservation de nos intérêts vitaux (ressources naturelles, santé, etc.).

Trois objectifs en vue du développement de la transformation numérique sont au cœur des décisions : la technologie au service des personnes, une économie juste et compétitive, une société ouverte, démocratique et durable. Pour cela de gros investissements dans la connectivité Gbit sont actés. Le déploiement de la 5G et la préparation de la 6G au cours de cette décennie sont des éléments majeurs. Cela participe activement à la souveraineté numérique et aux compétences européennes dans les microprocesseurs, les technologies de la communication, l'intelligence artificielle et les infrastructures de données qualitatives [Source : [Communication : Façonner l'avenir numérique de l'Europe](#), 19 février 2020].

Si l'Europe a pris du retard dans le développement de la technologie 5G (la Chine a plus d'un an d'avance, grâce notamment à l'opérateur Huawei) elle a pris de nombreuses initiatives comme celle du *Joint European Disruptive Initiative (JEDI)* afin de repositionner l'Europe parmi les meilleurs dans la course à l'innovation de rupture technologique. Cette agence franco-allemande rassemble les dirigeants des grands groupes, des jeunes sociétés et évidemment des organismes de recherche français et allemands. Les pôles de compétences, les universités, les industries, etc. sont sollicités dans le cas de grands programmes européens de recherche, pour élaborer le système de communication de la 6G . Une autre initiative est le *PIIEC* (Projet important d'intérêt européen commun) sur le *cloud* et la microélectronique, qui ouvrira d'autres possibilités de financement pour des projets communs franco-allemands, par exemple, en y associant d'autres partenaires.

Le tableau ci-contre présente la répartition des familles de brevets relatifs à la 5G, disponible sur le site de [Statista](#) : les brevets déposés par Huawei et ZTE sont majoritairement récents. Compte-tenu du délai de délivrance des brevets, les entreprises asiatiques dominent pour le moment. En novembre 2019, Qualcomm a déclaré avoir ouvert, en Allemagne, avec Siemens, le premier réseau privé 5G en mode autonome dans un environnement industriel [Source : [JDN](#), 10 déc.2019].

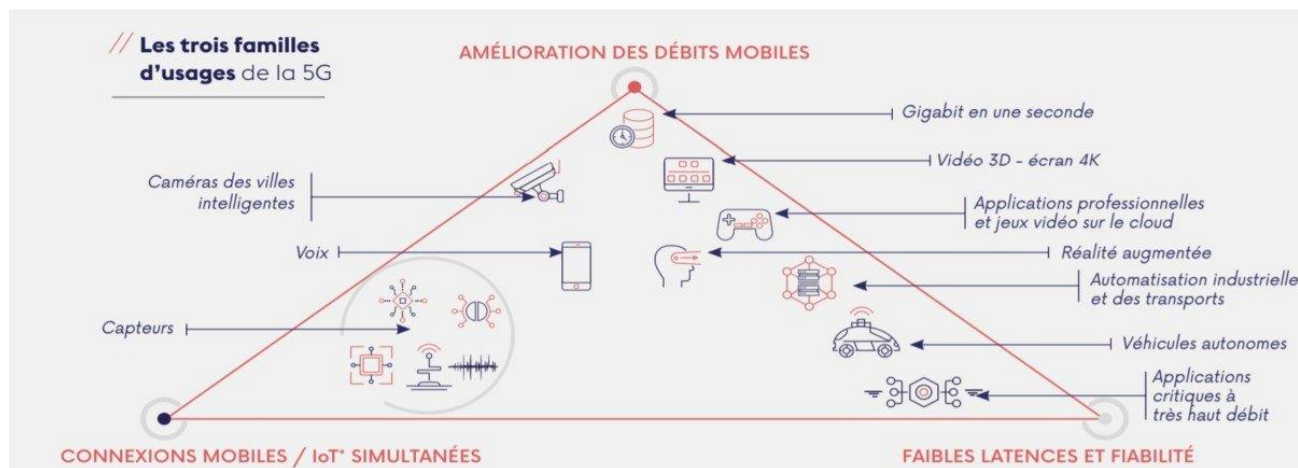


## Quelques rappels sur la 5G

*Le déploiement des réseaux sans fil et des systèmes communicants avec les différentes générations de communication ont amené conjointement une importante demande de débit de plus en plus élevé.*

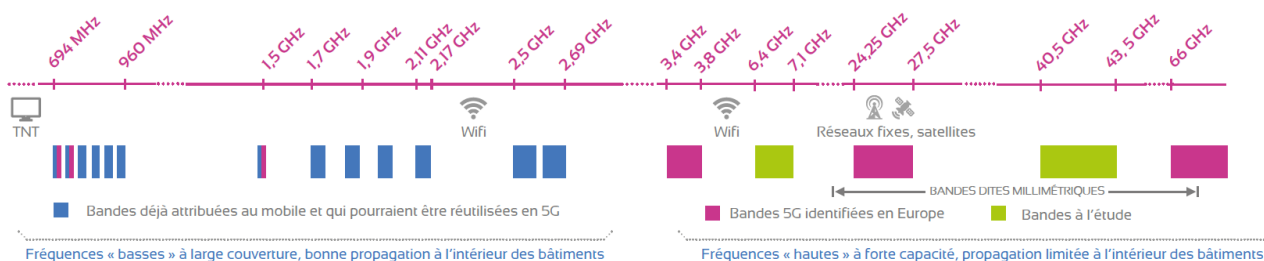
Selon l'[ANFR](#) (Agence nationale des fréquences), outre l'allègement de la charge de la 4G, de nouveaux usages sont possibles comme, par exemple, en e-santé (télé médecine, téléchirurgie, etc.), dans les transports (véhicules autonomes et connectés), dans l'élaboration de villes intelligentes intégrant la maîtrise de l'énergie, la sécurité publique, etc. Les industries seront en capacité de développer la robotique, les systèmes automatiques, etc. Les technologies mobiles adaptées à la 5G offrent ainsi la possibilité de connecter les personnes, les objets, les données, les applications, au sein de réseaux intelligents.

La 5G rend possible le transport et le traitement de gros volumes de données, la connexion d'un très grand nombre de dispositifs communicants, avec une fiabilité accrue. Ainsi un film HD sera téléchargé en 2 ou 3 secondes. L'architecture des réseaux et les matériels spécifiques auront la capacité, du moins théorique, de pouvoir transférer 20 gigabits de données par seconde, depuis une station de base jusqu'à un dispositif connecté au réseau, et deux fois moins en sens inverse.



Les trois familles d'usage, Crédit [ANFR](#)

En ce qui concerne la normalisation des communications, c'est l'UIT qui orchestre la gestion du spectre des fréquences radioélectriques et contribue à l'élaboration des normes adaptées ([IMT-2020](#)). Les spécifications techniques sont élaborées avec le 3<sup>rd</sup> *Generation Partnership Project* ([3GPP](#)). Il s'agit de disposer d'une réglementation stable au niveau international et d'un réseau central permettant le déploiement de la 5G. Parallèlement à l'[ANFR](#) qui attribue les fréquences, l'[Arcep](#) (Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse) s'occupe de la régulation des télécommunications.



Attribution des fréquences, Crédit [ANFR](#)

Plus précisément, la bande des 3,5 GHz a été attribuée exclusivement à la 5G alors que les bandes des 700 MHz (offrant une meilleure couverture mobile) et des 2,1 GHz, attribuées à la 4G, sont utilisables. La bande des 26 GHz (permettant de meilleurs débits) sera aussi attribuée à la 5G [Source : [Blogariase](#), 19 nov. 2020]. Les bandes des 3,5 GHz et des 2,1 GHz proposent le meilleur compromis débit/portée du signal. En France, les quatre principaux opérateurs ont acheté des fréquences 5G dans la bande des 3,5 GHz. Dans le cadre de la 5G, d'autres bandes plus hautes, dans le domaine des [ondes millimétriques](#) entre 24 et 30 GHz et entre 30 et 300 GHz offrent un très haut débit sur une courte portée. Elles sont associées à des antennes directives de type Massive-MIMO et MU-MIMO et au *beamforming*. Cela permet de couvrir un grand nombre d'utilisateurs simultanément, mais une telle antenne n'est active que sur demande des dispositifs communicants selon leurs besoins. Toutes ces fonctionnalités permettent une utilisation plus efficace de l'énergie [Source : [Orange](#)].



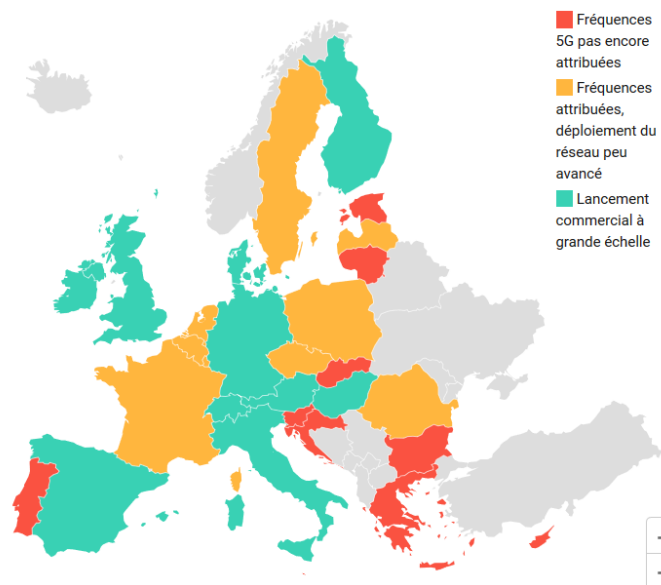
Le beamforming utilisé avec la 5G. Crédit : [Orange](#)

La possibilité d'une configuration dynamique à la demande offre des fonctionnalités et des performances adaptées aux besoins des industriels, des entreprises et des particuliers [Source : [Rapport Arcep](#), 2017].

Le déploiement de la 5G peut se faire en plusieurs étapes. Ainsi il peut débuter en utilisant des sites 4G (cœur de réseau 4G LTE), c'est la 5G NSA (ou Non-standalone). Puis il est ajouté des éléments antennaires adaptés pour l'utilisation des autres bandes de fréquence spécifiques (5G NR).

La mise en place du partage du spectre dynamique DSS (*dynamic spectrum switching*) pour les technologies 5G et LTE a l'avantage de pouvoir basculer, si besoin, directement depuis l'antenne entre la 4G et la 5G pour chaque bande de fréquence : ajustement du réseau en temps réel en attendant que le nombre de dispositifs 5G augmente.

Le déploiement a commencé à l'échelle mondiale. Selon Ericsson, en juillet 2020, il y a 92 réseaux commerciaux en 5G dans 38 pays. Les États-Unis et le Royaume-Uni ont commencé le déploiement avec des réseaux 5G NSA sub-6 (fréquences inférieures à 6 GHz). La Chine recense alors 150 millions d'abonnés à la 5G, la Corée du Sud en dénombre huit millions. *Fin novembre 2018, près de Séoul, une ville artificielle, K-city, est présentée comme la plus grande installation au monde (320 ha) dédiée aux transports autonomes utilisant plusieurs réseaux de communication. Elle comporte de nombreuses zones de test (autoroutes, routes urbaines, aires de stationnement, chantiers, tunnels, zones piétonnes, etc.). à moindre échelle, c'est le cas dans d'autres pays : Russie, Suède, etc.*



Parmi les 27 membres de l'UE plus le Royaume-Uni et la Suisse  
Carte: Hubert Mary • Source: IDATE DigiWorld • Récupérer les données • Créé avec Datawrapper

Usine Nouvelle, Oct. 2020, carte interactive.  
[Le déploiement de la 5G est déjà bien avancé en Europe](#)

Pour l'usage de la 5G, il est nécessaire de se procurer des appareils ou dispositifs identifiés 5G. Des constructeurs et des opérateurs proposent une gamme d'appareils dédiés (Huawei, Oppo, HP, Qualcomm, Microsoft, etc.). L'offre va se développer d'autant plus que des applications voient le jour. La 5G en est à ses débuts. Ce ne sera vraisemblablement que vers 2023-2025 que l'infrastructure réseau dédiée sera opérationnelle et offrira la possibilité de connecter un million d'objets au km<sup>2</sup>.

La 5G est amenée à jouer un rôle primordial dans le développement de l'économie et la transformation numérique : réseaux énergétiques intelligents, hyper-mobilité, transports autonomes, usines intelligentes, santé, agriculture, environnement, etc. Cependant avec la multiplication des dispositifs connectés, le déploiement d'antennes, etc. des points de vulnérabilités peuvent exister : il est indispensable de garantir la sécurité maximale dans les transactions, les stockages de données, les applications logicielles, etc. C'est une question stratégique pour chaque pays membre de l'UE.

Les États membres ont publié, en octobre 2019, un [rapport](#) sur l'évaluation coordonnée des risques liés à la cybersécurité des réseaux 5G avec le soutien de la Commission européenne et de l'agence européenne chargée de la sécurité des réseaux et de l'information ([ENISA](#)). Une approche coordonnée a donc été actée et un ensemble commun de mesures a été décidé pour répondre aux menaces potentielles à l'aide d'une boîte à outils spécifique.

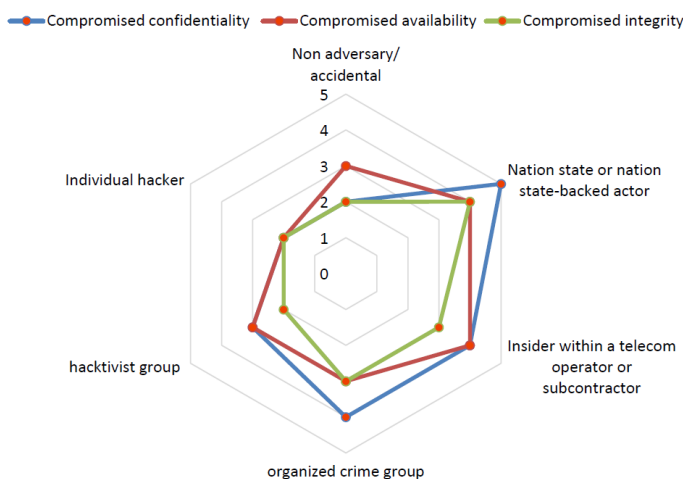
Parmi les mesures préconisées, on recense :

- des exigences de sécurité accrues pour les opérateurs de réseau mobile
- d'éviter toute dépendance majeure à l'égard de fournisseurs considérés comme à haut risque
- le maintien d'une chaîne d'approvisionnement de valeur durable et diversifiée dédiée 5G
- des investissements dans la normalisation et la certification des produits et processus
- des exigences en matière de sécurité et de résilience des réseaux
- le filtrage des investissements directs étrangers
- etc.

Plusieurs acteurs ont la capacité de mener des actions contre les réseaux 5G afin de servir leurs intérêts : groupes criminels organisés, entreprises pour un vol de propriété intellectuelle, cyber-terroristes, et bien d'autres.

Mais les menaces les plus graves proviennent de la confidentialité, de la disponibilité et de l'intégrité compromises par l'action d'un Etat ou d'un acteur soutenu par un Etat.

[Source : Europa, [Des réseaux 5G sûrs : Questions-réponses sur la boîte à outils de l'UE](#), janvier 2020].



Origine des menaces sur la 5G, [rapport UE](#)

Plus généralement, les nouvelles technologies comme l'IA (intelligence artificielle), la 5G, l'informatique quantique et la réalité virtuelle ou mixte sont de nouveaux défis en matière de cybersécurité. Bien souvent encore, les entreprises sous-évaluent les risques potentiels et sous-estiment ainsi les conséquences graves qui en découleraient en cas d'attaque non contrée. [Accenture](#) cite, par exemple, "l'hyper précision de la géolocalisation et l'explosion du volume et de la vitesse du réseau" dans le cas de la 5G. Suite à une enquête auprès des chefs de la sécurité des entreprises concernées, seuls 55 % d'entre eux ont prévu de sécuriser l'IA et 36 % la 5G.

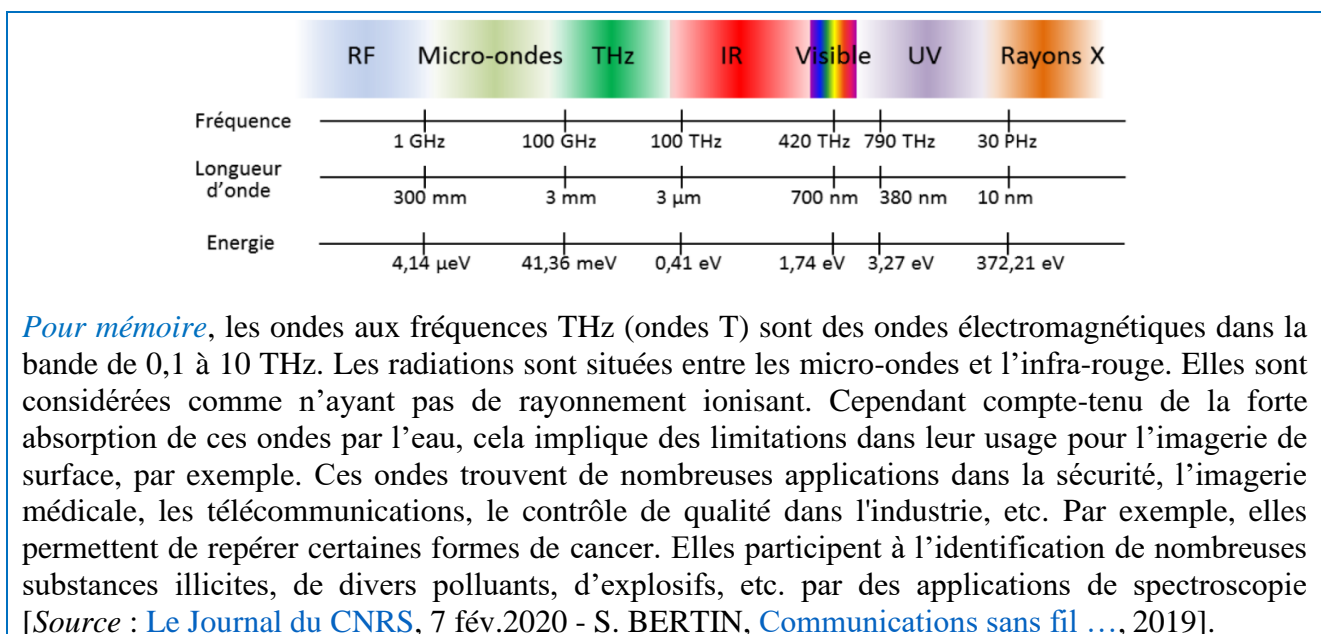
Aujourd'hui, compte-tenu du développement des technologies numériques, de la multiplication des attaques de type cyber, des menaces de captation ou d'usurpation ou de manipulation de données, donc de contenu, il est impératif de dépasser le cadre technique des actions défensives liées uniquement aux protections du contenant. Il s'agit aussi de prendre en considération l'importance grandissante du rôle du facteur humain [Source : [Les enjeux de la recherche et l'intelligence économique et stratégique](#), Tech. Ing., Oct. 2019].



## Défis et promesses de la 6G

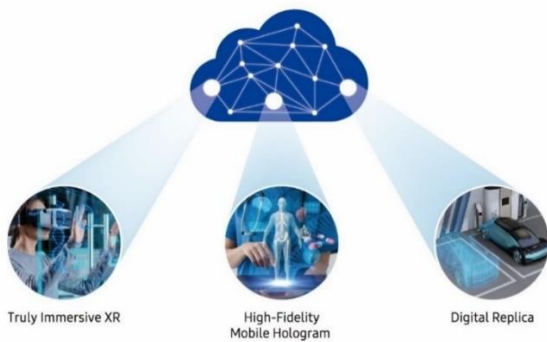
Alors que la 5G est en cours de déploiement au niveau mondial, la 6G est déjà en cours d'élaboration dans les laboratoires, les entreprises télécoms, l'industrie des composants, les fabricants et les gestionnaires de réseaux, les concepteurs de logiciels, etc. Parmi les défis qui se dessinent, les communications holographiques, la fabrication de haute précision, l'introduction omniprésente de l'intelligence et l'incorporation de nouvelles technologies basées sur la sub-THz ou la VLC (*Visible Light Communications*) sont de véritables enjeux. Cela a lieu dans un cadre de couverture véritablement tridimensionnel (3D), intégrant la radio terrestre et aérienne, pour répondre aux besoins à l'aide de fonctionnalités *cloud* où et quand cela est nécessaire à la demande [Source : [6G: The Next Frontier](#), May 2019].

Les radiofréquences sont utilisées dans les télécommunications sans fil, mais le besoin de débit très importants nécessite des bandes passantes plus larges, d'où l'usage de très hautes fréquences et particulièrement les térahertz (THz). Il est possible d'obtenir en laboratoire un débit de 100 Gbits/s avec des émetteurs THz délivrant des ondes de 300 GHz environ (Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie - [IEMN](#)).



[Samsung](#) prévoit que le nombre de dispositifs connectés à l'internet devrait être évalué à 500 milliards d'ici 2030 (capteurs de toute sorte, smartphones, drones, robots, véhicules autonomes, production d'hologrammes, etc.). Les débits attendus seraient environ 100 fois supérieurs à ceux de la 5G avec une ouverture au public en 2030.

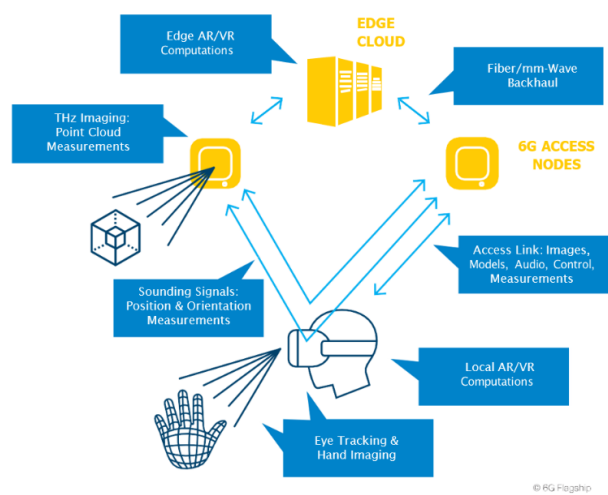
Dernière information : pour tester le comportement de la technologie 6G pour des communications entre un satellite et la Terre, dans les très hautes fréquences (THz), la Chine a réussi, début novembre, à mettre sur orbite le satellite Tianyan 05. Ces ondes submillimétriques sont bien connues des astronomes car elles sont utilisées pour l'observation astronomique. Dans la pratique l'usage de satellites pourrait combler le manque de connectivité dans les zones blanches, entre autres avantages.



De nouveaux services 6G impossibles à réaliser avec les technologies 5G :

- la réalité étendue réellement immersive (*truly immersive extended reality*)
- l'hologramme mobile à haute-fidélité 3D (*high-fidelity mobile hologram*)
- les répliques numériques de personnes et d'objets réels ou jumeaux numériques (*digital replica*).

Livre blanc [Samsung](#)



Les réseaux 6G peuvent gérer le positionnement, la cartographie de nuages de points 3D et la fusion de données de réalité mixte à la périphérie.

[Oulu Univ. \(Finland\), 6Gflagship](#)


Pour éviter que l'Europe soit laissée sur le côté sur les communications du futur, des chercheurs universitaires, des fabricants d'infrastructures, des opérateurs, etc. se sont réunis, fin mars 2019, à Levi, en Finlande, lors du [6G Wireless Summit](#) [Source : [L'Europe mise sur la 6G pour rester dans la course](#), Tech. Ing., Innovations sectorielles, 2 mai 2019]. En mars 2020, lors du second congrès, sous forme virtuelle, à cause de la crise sanitaire de la Covid-19, plusieurs centaines de participants ont pu échanger activement. Outre les organismes académiques et d'administration, les principaux acteurs étaient présents : Ericsson, Nokia Bell Labs, Huawei, ZTE, Keysight Technologies, Rohde & Schwarz, VDI Virginia Diodes Inc., Interdigital, Wipro, etc. Les points de vue des experts concernant des sujets très techniques, les aspects réseaux et sociétaux ont permis de mettre en commun des défis et des exigences pour la 6G, sans oublier les objectifs de développement durable des Nations Unies. Les nouveaux réseaux devraient intégrer des fonctions avancées de communication, d'imagerie, de détection et de sécurité. Une évolution des interactions homme-machine sera effective avec l'émergence d'un internet des sens.

## Research Direction for the network 2030

### Preparing the network for the era of human and machine augmentation

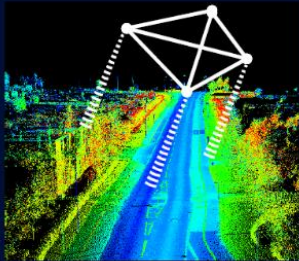
#### Hyper Specification

- One network platform customizable for highly specialized uses




#### Hyper Capable

- Vastly expanding across all dimensions using spectrum up to THz



#### Hyper Sensing

- 6<sup>th</sup> Sense: Inferring state and meaning to augment humans and machines



**NOKIA** Bell Labs

Selon [Peter Vetter](#) (Nokia Bell Labs), dans les cinq à dix prochaines années, il y aura une révolution technologique dans laquelle un nouveau tissu numérique sera créé qui augmentera notre intelligence et permettra l'automatisation de chaque tâche banale et l'assistance intelligente pour chaque tâche complexe. La manière dont les nouvelles applications bénéficieront d'un futur réseau et la valeur que cette transformation créera pour l'existence humaine est primordiale.

La Commission européenne ouvre un budget de 100 milliards d'euros pour la recherche et l'innovation, principalement orienté vers les problématiques sociétales et la compétitivité industrielle) Le programme Horizon Europe pour la période 2021-2027 prévoit 2,5 milliards € d'investissements assortis d'au moins 7,5 milliards € d'investissements privés pour préparer la 6G. Ce nouveau programme lance le Conseil européen de l'innovation destiné aux chercheurs, entrepreneurs et entreprises développant des projets à fort potentiel d'innovation. L'objectif est donc de passer des découvertes scientifiques les plus prometteuses à des entreprises capables de se développer rapidement [Source : [Horizon Europe/CEI](#), 23 sept. 2020].

Selon le livre blanc conçu par un groupe de 70 experts, lors d'un atelier du [6G Wireless Summit](#) 2019, les technologies de communication mobile vont progresser largement au-delà de ce qui est connu aujourd'hui. Cela devrait rendre la vie quotidienne plus fluide et plus sûre tout en améliorant considérablement l'efficacité des entreprises et des industries. Le concept « *Ubiquitous Wireless Intelligence* » signifie que :

- les services disponibles seront accessibles partout et tout le temps de manière transparente
- la connexion sans fil est partie intégrante de toute l'infrastructure
- les applications intelligentes sont sensibles aux environnements humains et non-humains.

Evidemment ces projections impliquent que la recherche 6G doit se concentrer sur la faisabilité d'une transmission jusqu'à 1Tbps par utilisateur. A cela il s'agira d'y associer de nouveaux émetteurs et récepteurs et des nouveaux matériaux semi-conducteurs, optiques, etc. pour les ondes térahertz. Compte-tenu de la diversité des systèmes connectés et des applications complexes mises en œuvre, il faudra que l'architecture des télécommunications 6G donne des gages de confiance réelle vis-à-vis des utilisateurs (sécurité conçue et réalisée sur couche physique pour les dispositifs connectés). Le volume de données sera tel que la protection de la vie privée deviendra un des facteurs clés pour les services proposés.

La 6G facilitera la circulation et le traitement des données mais elle sera aussi un environnement de services où tous les calculs se déroulent près de l'endroit physique où les données sont collectées et analysées plutôt que sur un serveur centralisé ou dans le nuage (*Edge Computing*).

L'intégration de capacités de détection, d'imagerie et de positionnement très précis avec mobilité ouvriront une myriade de nouvelles applications en 6G (formation de faisceaux 3D, cartographie 3D, imagerie 3D THz prometteurs pour les applications IoT et IoE, le développement de la réalité virtuelle mixte étendue, etc.) [Source : B. AAZHANG et al., [Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence](#) (white paper), Sept.2019].

## **Confiance sociétale et relations à l'humain**

Les nouvelles technologies (systèmes de communication, intelligence artificielle, algorithmes, usage du quantique, nanorobots, etc.) apportent beaucoup d'avantages mais induisent aussi des risques avec diverses conséquences aussi bien sur les infrastructures vitales d'un pays que sur le périmètre de chacun. Le problème de la confiance démontrable est essentiel. Ne pas pouvoir maîtriser les échanges, le stockage et le traitement de nos propres données est préjudiciable à l'acceptation des nouvelles approches comportementales. Cela est renforcé par les cybermenaces dont les conséquences sont à prendre très au sérieux. Cela nécessitera donc une meilleure information et de meilleurs produits certifiés par les agences spécialisées à destination du particulier et des entreprises, sans oublier les établissements publics.

*Un exemple est celui de la voiture autonome connectée (VAC) pour laquelle de nombreuses questions éthiques et de sécurité se posent. En effet, quand un VAC a deux options de conduite impliquant un risque pour la vie humaine - heurter un autre véhicule ou changer de direction au risque de blesser ou tuer des personnes - quelle sera la décision ? Comment doit-elle être prise ? Quelles sont les règles éthiques incluses dans les logiciels de navigation ? Qui décidera de telle ou telle règle à retenir ? Est-ce que l'apprentissage des IA s'est effectué à partir de bases de données non biaisées ? L'explicabilité des décisions issues de l'IA est un enjeu essentiel [[Livre blanc](#), INRIA, Mai 2018].*

Au sujet de la dangerosité des ondes électromagnétiques, les débats sont nombreux et donnent lieu à diverses conclusions. Mais au mois de mars 2020, la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants ([ICNIRP](#)) préconise, dans ses conclusions, les grandes [lignes directrices](#) pour une protection contre tous les effets nocifs scientifiquement prouvés sur la santé dus à l'exposition aux champs électromagnétiques dans le spectre 100 kHz à 300 GHz. Elle établit les valeurs limites d'exposition sur la base des seuls effets avérés. La thématique de la dangerosité des ondes n'est pas encore au cœur des grandes conférences mondiales concernant la 5G et bientôt la 6G. La multiplication des antennes pourrait peut-être poser un problème de densité d'émissions de radiofréquences mais des études sont encore à diligenter pour avoir des données fiables. De plus tous les pays n'adoptent pas les mêmes limitations : certains appliquent le principe de précaution plus que d'autres, vis-à-vis des conclusions de l'ICNIRP (réglementations européennes / [Radiofréquences](#)).

Quant à l'impact écologique de la 5G, les études ne sont pas encore publiées car le recul est trop court. Selon l'opérateur [Orange](#), mais aussi selon Huawei, en valeur absolue, les antennes 5G consomment environ trois fois plus que les antennes 4G, mais avec un débit 10 fois plus important. Orange précise que le principe de base est le mode de veille profonde, à savoir un ou plusieurs équipements sont éteints en l'absence de trafic. L'objectif est de diviser la consommation énergétique par gigabit transporté par 20 par rapport à la 4G d'ici à 2030. Cela impliquera aussi des efforts de pédagogie vis-à-vis des usages clients pour atteindre une sobriété énergétique optimale. Cependant, la multiplication des dispositifs connectés et les changements d'appareils pour être compatibles à la 5G aura aussi un impact sur la consommation d'énergie. On peut espérer que des études efficaces seront menées pour connaître au mieux les effets sur les écosystèmes. La Commission européenne a pris l'initiative de proposer une neutralité carbone d'ici 2050.

La technologie, au sens large, offre des services et des applications de tout ordre, de plus en plus sophistiqués et en même temps ouverts à toute utilisation publique avec une sollicitation toujours accrue des utilisateurs. Les usagers ont un ressenti de surveillance. Il est lié au développement et à l'usage des drones, de la reconnaissance faciale par les algorithmes d'IA, de la géolocalisation de plus en plus précise, du stockage et de l'utilisation des données par des tiers, etc.

Il est donc primordial de présenter les environnements utiles à la démonstration de garantie de la fiabilité des technologies proposées pour obtenir la confiance de la part des entreprises comme du particulier. En ce qui concerne les considérations éthiques et de droit, il s'agira de connaître les organismes qui décideront de ce qui est éthique ou non et d'avoir la possibilité d'être informés de leurs procédures [[Réflexions sur les enjeux de l'IA et les questions d'éthique](#), 2019].

## **Conclusion et perspectives**

L'Europe a les moyens de fixer les normes mondiales en matière de développement technologique tout en garantissant l'inclusion et le respect de chaque être humain. La transformation numérique ne peut réussir que si elle fonctionne pour tous et pas seulement pour quelques-uns. Les valeurs et les règles éthiques, les normes sociales et environnementales de l'UE doivent aussi s'appliquer dans le numérique. Les nouvelles générations 5G, voire 6G plus tard, vont permettre une convergence de technologies comme l'IA, l'IoT, la robotisation, la réalité virtuelle, l'informatique quantique, etc. pour répondre aux besoins de communication des particuliers et des entreprises dans des secteurs comme l'industrie 4.0, la santé, l'énergie, les transports, la robotique, les interactions homme-machine, la cybersécurité, etc.

Cependant, la prise en compte de l'impact environnemental de la 5G et des effets possibles sur la santé devient indispensable et fait partie des défis à résoudre. Des études doivent être conduites et les résultats communiqués. L'acceptation d'une nouvelle technologie dépend beaucoup de la confiance qui lui est accordée au vu de la fiabilité des recherches. Compte-tenu de la fabrication des nouveaux dispositifs électroniques nécessaires, ce sont la raréfaction induite des ressources naturelles, la pollution générée de fait et le devenir de déchets peu ou pas recyclables qui posent question et exigent des réponses fiables.

## Références

### Sources bibliographiques

- E. C. STRINATI et al., [6G: The Next Frontier](#). Computer Science, Networking and Internet Architecture, 16 May 2019 (v2) ;
- [Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence](#), 6G Research Visions 1, Matti Latva-aho, Kari Leppänen (eds.), 6G Flagship, University of Oulu, Finland, September 2019 ;
- B. AAZHANG et al., [Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence](#) (white paper), Sept. 2019 ;
- S. BERTIN, [Communications sans fil aux fréquences terahertz : Applications à la vidéo haute définition temps réel](#). Thèse de doctorat, 25 septembre 2019, Université de Lille - Sciences et Technologies ;
- J.-P. DAMIANO, [Les enjeux de la recherche et l'intelligence économique et stratégique](#), Techniques de l'Ingénieur, Octobre 2019, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02128070> ;
- J.-P. DAMIANO, [Réflexions sur les enjeux de l'IA et les questions d'éthique](#), IESF Côte d'Azur, Bull. n°3, p.2-7 (2019) ;
- [Communication : Façonner l'avenir numérique de l'Europe](#), 19 février 2020 ;
- M. H. ALSHARIF et al., [Sixth Generation \(6G\) Wireless Networks: Vision, Research Activities, Challenges and Potential Solutions](#), Symmetry 2020, 12, 676 ;
- [2<sup>nd</sup> 6G Wireless Summit](#), 17 march 2020 ;
- [6G Waves 1](#) (Spring 2020), Hanna Saarela, Ville Wittenberg (eds), 6G Flagship, University of Oulu, Finland, March 2020 ;
- 11<sup>th</sup> International UBI Summer School ([UBISS 2020](#)), Helsinki (Finland), 24-29 August 2020 ;
- IEEE 32<sup>nd</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications ([PIMRC'21](#)), 13-16 September 2021, Helsinki (Finland).

### Liens source

- [L'Europe mise sur la 6G pour rester dans la course](#), Tech. Ing., Innovations sectorielles, 2 mai 2019 ;
- [Rapport sur l'évaluation coordonnée pour l'UE des risques liés à la cybersécurité des réseaux de cinquième génération \(5G\)](#), 9 octobre 2019 ;
- [EU coordinated risk assessment of the cybersecurity of 5G networks Report](#), 9 October 2019 ;
- Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse ([ARCEP](#)) ;
- Usine Nouvelle, [La déploiement de la 5G est déjà bien avancé en Europe](#), Oct. 2020 ;
- [Déploiement 5G](#) ;
- [6G Vision Samsung Research](#) ;
- [6G White paper Samsung](#) ;
- [Statista](#).

### Organismes, associations, instituts, etc.

- Agence européenne chargée de la sécurité des réseaux et de l'information ([ENISA](#)) ;
- Agence nationale des fréquences ([ANFR](#)) ;
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail ([ANSES](#)) ;
- Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse ([Arcep](#)) ;
- [Commission européenne](#) ;
- Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants ([ICNIRP](#)) ;
- [Ericsson Research](#) ;
- Europa ([statistiques européennes](#)) ;
- [France Brevets](#) ;
- [Huawei Research](#) ;
- [IDATE DigiWorld](#) ;
- Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie ([IEMN](#)) ;
- Joint European Disruptive Initiative ([JEDI](#)) ;
- [Médiamétrie](#) ;

- [Nations Unies](#) - Dépt. des affaires économiques et sociales ;
- [Nokia Research](#) ;
- Objectifs de développement durable ([ODD](#)) de l'ONU ;
- Office européen des brevets ([OEB](#)) ;
- Organisation des Nations Unies ([ONU](#)) ;
- Organisation mondiale de la propriété intellectuelle ([OMPI](#)) ;
- [Samsung Research](#) ;
- Union internationale des Télécommunications ([UIT](#)) ;
- University of Oulu, Finland. [6G Flagship](#) ;
- [Usine nouvelle](#) ;
- [Wikipédia](#).

### ***Quelques liens média***

- [https://fr.wikipedia.org/wiki/6G\\_\(network\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/6G_(network))
- <https://lejournald.cnrs.fr/articles/la-revolution-des-ondes-terahertz>
- <https://techastuce.com/6g-1-tbit-s-pour-la-projection-dhologrammes-en-2028/>
- <https://trustmyscience.com/future-technologie-6-pourrait-etre-8000-fois-plus-rapide-que-5g/>
- [https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/5G/ANFR\\_5G.pdf](https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/5G/ANFR_5G.pdf)
- <https://www.courrierinternational.com/article/telecommunications-la-6g-annonce-lavenement-des-cyborgs>
- <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/>
- <https://www.electronique-eci.com/news/la-technologie-de-reseau-6g-prend-forme>
- [https://www.frandroid.com/telecom/488716\\_reseau-5g-tout-ce-qui-va-changer-quels-usages-et-pourquoi-la-technologie-est-importante](https://www.frandroid.com/telecom/488716_reseau-5g-tout-ce-qui-va-changer-quels-usages-et-pourquoi-la-technologie-est-importante)
- [https://www.frandroid.com/marques/huawei/628285\\_100x-plus-rapide-que-la-5g-la-6g-sera-utilisable-en-mer-dans-lair-et-dans-lespace](https://www.frandroid.com/marques/huawei/628285_100x-plus-rapide-que-la-5g-la-6g-sera-utilisable-en-mer-dans-lair-et-dans-lespace)
- <https://www.frenchweb.fr/les-nombreux-defis-de-la-5g/317383>
- <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/telephonie-mobile-6g-sera-100-fois-plus-rapide-5g-79330/>
- <https://www.generation-nt.com/6g-docomo-reseaux-mobiles-prospective-actualite-1972469.html>
- <https://www.industrie-techno.com/numerique-informatique>
- <http://www.itnumeric.com/6g-le-futur-des-telecoms-commence-a-selaborer-dans-ses-definitions-fondamentales/>
- <https://www.itu.int/fr/mediacentre/backgrounders/Pages/5G-fifth-generation-of-mobile-technologies.aspx>
- <https://www.journaldugeek.com/2019/10/02/huawei-6g-espace-100-fois-plus-rapide-5g/>
- <https://www.lesnumeriques.com/telephone-portable/selon-huawei-la-6g-sera-100-fois-plus-rapide-que-la-5g-n141287.html>
- <https://www.nextinpact.com/article/30405/109167-samsung-pense-deja-a-6g-et-ses-usage-ondes-terahertz-hologrammes-et-realite-etendue>
- <https://www.numerama.com/tech/147723-5g-tout-savoir-sur-le-reseau-mobile-du-futur.html>
- <https://www.numerama.com/tech/652787-la-5g-arrive-en-france-et-la-6g-alors.html>
- <https://www.phonandroid.com/6g-debits-pourraient-grimper-1to-s-8000-fois-vitesse-5g.html>
- [http://www.radiofrquences.gouv.fr/IMG/pdf/etat\\_des\\_lieux\\_des\\_reglementations\\_relatives\\_aux\\_radiofrquences\\_dans\\_1\\_union.pdf](http://www.radiofrquences.gouv.fr/IMG/pdf/etat_des_lieux_des_reglementations_relatives_aux_radiofrquences_dans_1_union.pdf)
- <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/la-5g-presente-t-elle-des-risques-pour-la-sante-67287/>
- <https://www.tomsguide.fr/samsung-prevoit-le-lancement-de-la-6g-des-2028/>
- <https://www.usinenouvelle.com/editorial/comment-samsung-imagine-la-6g.N985999>
- <https://www.usine-digitale.fr/article/etude-les-entreprises-sous-evaluent-les-risques-cyber-lies-aux-technologies-emergentes.N1024859>
- <https://www.worldtimezone.com/5g.html>
- <https://www.zdnet.fr/actualites/samsung-brosse-le-portrait-de-ce-que-pourrait-etre-la-6g-39906835.htm>