

STRATEGIE 5G

Table des matières

INTRO :.....	2
HISTORIQUE EN BREF : LE TELEPHONE CELLULAIRE.....	3
Les générations de téléphones cellulaires.....	3
De la téléphonie à l'Internet mobile.....	3
La 5G en résumé.....	4
Les segments d'usages techniques.....	5
Nouveaux usages potentiels de la 5G.....	5
ENJEUX STRATEGIQUES	6
Rôle de l'Etat.....	6
5G et économie	6
5G et souveraineté industrielle	7
5G et écologie.....	8
6G	8
Quelques conclusions et questions	8
ANNEXES	9
Annexe1 : Sigles	9
Annexe 2 : Quelques références.....	10
Annexe 3 : Innovations techniques des réseaux cellulaires	11
Annexe 4 Les ruptures techniques de la 5G	12
Les objectifs de performances.....	12
L'architecture	12
Les fréquences.....	12
Annexe 5 : 5G et cybersécurité.....	13
Annexe 6 : Normes et industrie.....	14
Annexe 7 : la 6G	16

INTRO :

Ce papier propose quelques éléments de réflexion sur l'importance de la 5G dont le lancement en France, en 2020, a été marqué par de nombreuses controverses. La 5G est maintenant en installation dans le monde entier et ce ne sont pas les « **petits bras français** » qui arrêteront le mouvement.

Le téléphone mobile **cellulaire** puis surtout l'Internet mobile ont eu une diffusion **mondiale fulgurante** et impactent maintenant en profondeur l'essentiel de l'humanité tant pour les domaines professionnels qu'individuels, avec ses **bienfaits** et ses **perversions**. La vitesse d'adoption de l'internet mobile a été extraordinairement rapide par comparaison avec d'autres grandes innovations technologiques.

La 3G qui a apporté l'**internet mobile**, et par voie de conséquence la **création des smartphones**, a provoqué une avalanche de nouvelles applications et de **licornes** associées. Ce fut le fruit de la rencontre de plusieurs filières innovantes (réseaux cellulaires téléphoniques, Internet et le WEB, ordinateurs individuels) et bénéficia de technologies critiques (microprocesseurs selon la loi de Moore, optoélectronique, « big data » et « cloud », etc.).

Questions et enseignements pour la 5G ?

La 5G prolonge-t-elle ce mouvement de progrès ou est-elle le produit d'une **machine folle** pilotée par l'écosystème du mobile : industriels manufacturiers (équipementiers de réseaux, terminaux), opérateurs de télécom, normalisateurs soucieux de maintenir leur momentum d'activité. En fait, la 5G est à la fois une prolongation des générations précédentes des télécom mobiles (2G, 3G, 4G) mais se veut surtout être **une rupture qui ambitionne de répondre à l'exigence de performances des nouveaux usages** latents ou à créer.

La 5G est contemporaine de **nouvelles technologies critiques** comme l'Intelligence artificielle, les processeurs à hautes performances (les GPU de NVIDIA et les HPC), les technologies sécuritaires (blockchain, télécom quantiques, etc.). Mais la 5G est aussi elle-même considérée comme une technologie critique, facteur de développement de nouveaux usages à développer ou à inventer.

Les promoteurs de la 5G insistent en particulier sur les besoins de l'industrie pour évoluer vers ce qu'il est convenu d'appeler l'**industrie 4.0** (exigeant à la fois des réseaux à très haute performance, haute fiabilité et des réseaux à large diffusion pour les besoins de l'IOT (Internet Of Things)). **L'Etat n'est plus opérateur de réseaux** de télécom mais un effort financier significatif est prévu pour aider les entreprises à expérimenter les nouveaux usages potentiels de la 5G. L'enjeu principal invoqué est de renforcer la compétitivité des entreprises en stimulant l'innovation (qu'elle soit incrémentale ou de rupture) et en développant de nouveaux modèles d'affaires (qui restent encore à construire) tout en diminuant les coûts opérationnels.

Si la 5G est présentée comme facteur de progrès pour de nombreux secteurs d'activités, il n'en reste pas moins qu'elle est aujourd'hui au cœur de plusieurs controverses : **impact écologique** (effet rebond encourageant la consommation énergétique, accélération de l'obsolescence programmée des terminaux, etc.), interrogation sur l'intérêt réel de la 5G dans la vie quotidienne et la **futilité** de certains usages potentiels proclamés (jeux en ligne, métavers, etc.). L'extension vers des très hautes fréquences, prévue en deuxième étape, posera des nombreux problèmes techniques et sanitaires encore à étudier.

La résilience de la 5G à la **cybercriminalité** reste à être confortée.

Le bilan économique de la 5G est encore difficile à prédire selon les divers acteurs : industriels manufacturiers (réseaux et terminaux), opérateurs de télécom, pouvoirs publics (vente des fréquences, effet accélérateur de la 5G), GAFAM et autres générateurs de trafic. La 5G est présentée comme outil de productivité pour de nombreux secteurs tels que la médecine ou les transports.

On notera qu'en matière de **souveraineté industrielle**, aucun acteur industriel français majeur est présent pour la fourniture des éléments clé de la 5G (réseaux, terminaux). Y aura-t-il des licornes françaises pour les solutions et applications générées par la 5G ?

L'écosystème du monde mobile en est déjà à définir et étudier ce que pourrait être la **6G**. C'est le moment de s'interroger sur l'opportunité d'une telle démarche qui paraît, par beaucoup d'aspects, être une surenchère (en débits envisagés ou par les bandes de fréquences étudiées). Les applications potentielles sont encore dans le domaine de la spéculation.

Progrès incontournable ou machine folle difficile à arrêter ?

HISTORIQUE EN BREF : LE TELEPHONE CELLULAIRE

Les générations de téléphones cellulaires

Les télécommunications par radio (radio téléphone, radiotélégraphie) assuraient déjà depuis longtemps la mobilité des communications pour un marché restreint, essentiellement professionnel et régalién. Ce sont les **réseaux mobiles cellulaires**, apparus au début des années 1980 aux USA qui ont progressivement révolutionné au niveau mondial l'usage du téléphone mobile puis de l'internet mobile par le grand public.

Le développement de ces systèmes a été rendu possible grâce aux progrès de la technologie (« loi de Moore » en microélectronique, informatique temps réel, grandes bases de données, etc..). Le tableau ci-joint résume les caractéristiques des générations de mobiles avant la 5G :

GENERATION		DEBUT EN FRANCE	INCREMENT DE SERVICE	DEBIT IP
N°	NOM			
1G	RADIOCOM 2000	1980	Téléphonie de voiture	NA
2G	GSM	1991	Téléphones portables , SMS, sécurité par carte SIM, itinérance Européenne	NA
2,5G	GSM + GPRS	2000	Service IP basse vitesse	50 Kb/s
2,75 G	GSM + EDGE	2002	Service IP amélioré	250 Kb/s
3G	UMPS	2005	Service IP permettant les applications WEB	2 Mb/s
4G	LTE	2012	Service IP permettant les applications WEB et la vidéo	150 Mb/s

Le GSM avait déjà apporté une révolution importante par sa nature numérique et avec de nombreux avantages : services de SMS, messagerie vocale, postes complexes mais en technologie numérique, donc compacts et économiques, facilité d'extension vers les premiers services d'accès à Internet.

De la téléphonie à l'Internet mobile

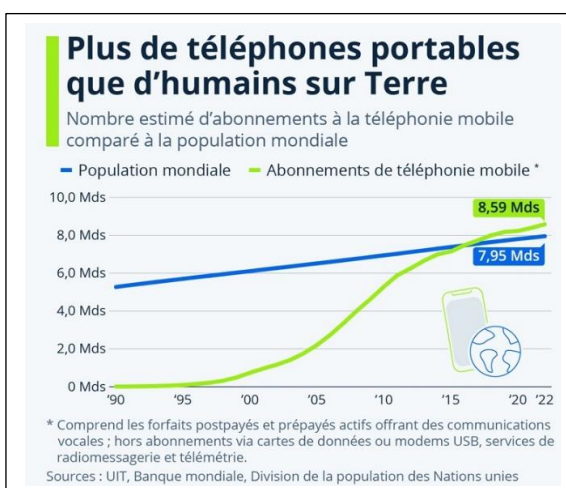
Le GSM (2G) a été conçu comme un **prolongement du réseau téléphonique** terrestre **RNIS** (Réseau Numérique à Intégration de Services) en apportant la **mobilité**. De très nombreuses innovations techniques (voir annexe 2) ont été nécessaires. La réservation internationale de plages de fréquences fut aussi essentielle pour assurer une itinérance européenne puis mondiale.

Au début des années 2000, des extensions ont été apportées à la 2G (GPRS, puis EDGE) pour donner un premier accès réduit aux services d'Internet mobile bas débit.

La révolution fut apportée par la technologie 3G (UMTS) qui a fourni des débits permettant l'accès satisfaisant aux services d'Internet et par voie de conséquence, l'invention des smartphones.

Cet environnement technologique a profondément bouleversé le paysage numérique mondial.

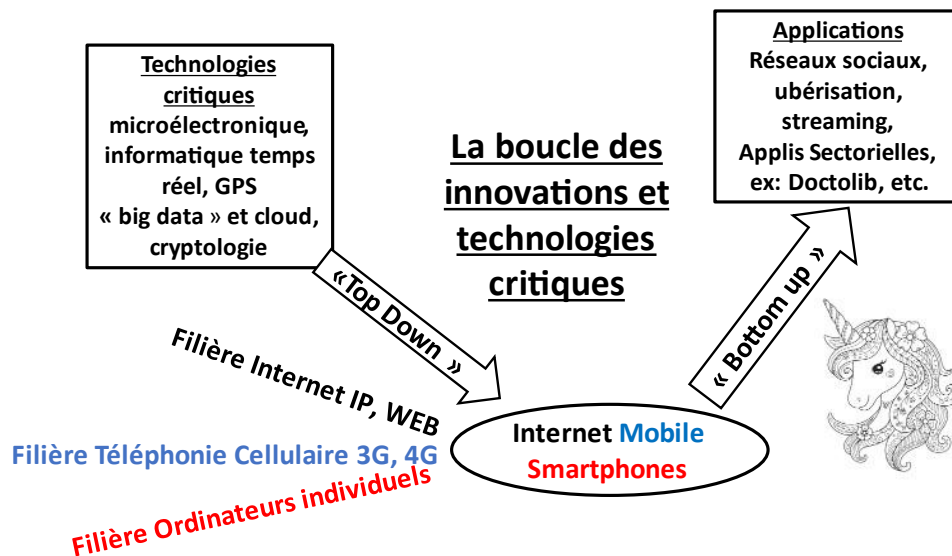
L'accès à Internet et au WEB, limité au départ par la diffusion des ordinateurs individuels, est maintenant totalement mondialisé : il y a plus de téléphones portables, dont une bonne part de smartphones (plus des 2/3 en 2021) que d'humains sur terre. Ubérisation, réseaux sociaux, etc. sont maintenant mondialement banalisés.



L'écosystème de l'internet mobile résulta de la rencontre de deux mouvements complémentaires :

- Le mouvement de haut en bas (« **top down** ») des courants technologiques allant depuis la R&D fondamentale jusqu'aux déploiements industriels lourds d'infrastructures et d'outils logiciels fondamentaux.
- Les initiatives de bas en haut (« **bottom up** ») prises par les innovateurs de services exploitant les potentialités de cette base technologique.

Par un **mouvement entrepreneurial et de génération spontanée**, d'innombrables « **start up** » se sont lancées en exploitant les potentialités de l'internet mobile, avec une rude sélection naturelle donnant naissance à des **licornes mondiales**. La France n'a pas été totalement absente de ce mouvement avec quelques exemples remarquables comme **Doctolib, Blablacar, Deezer**, etc.



Question : la 5G sera-t-elle le même catalyseur d'innovations spontanées ?

La 5G en résumé

La 5G se veut être à la fois un **prolongement de la 4G** avec des progrès de performances et des améliorations techniques utiles aux opérateurs mais également et surtout apportant une **rupture** aussi bien du point de vue technologique que pour les nouveaux domaines potentiels d'utilisation. **L'annexe 4** résume les innovations techniques majeures de la 5G :

- Nouvelles bandes de fréquences
- Fin de l'unification du réseau cœur en technologie TCP/IP pour l'ensemble des trafics
- Nouvelle **architecture logicielle** (NFV, virtualisation par logiciel, SDN réseaux logiciels et « edge computing, outils centralisés de gestion permettant en particulier le « **Slicing** », (constitution de **VPN** ou réseaux privés virtuels),
- Antennes intelligentes, etc.

Certains gains de performances comme la **latence** - temps de traversée du réseau - ou la **disponibilité** sont des objectifs affichés très ambitieux qui devront être confirmés. Pourra-t-on faire confiance à la 5G pour la conduite autonome dans les tunnels ?

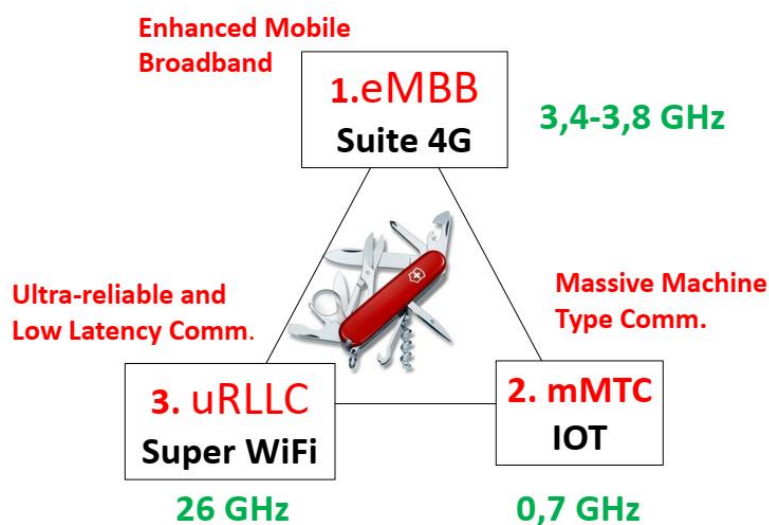
Quelle résistance à la cybercriminalité (voir annexe 5).

L'impact des **technologies quantiques** (calcul, communication) reste à être évalué dans le temps, notamment sur ses conséquences en matière de cryptage et de cybersécurité.

Les segments d'usages techniques

La 5G est une sorte de « **couteau suisse** » qui ambitionne de s'adresser à plusieurs grands segments d'usages techniques, à la fois en prolongement de la 4G et pour répondre (ou anticiper) de nouveaux besoins potentiels.

1. La prolongation de la 4G
 - a. Améliorations de performances vues des utilisateurs (débits, latence, souplesse de gestion)
 - b. Avantages pour les opérateurs : désaturation des réseaux, meilleure performance énergétique, couverture des zones très denses, meilleure utilisation du spectre hertzien
2. La réponse aux besoins des **applications bas débit, basse consommation et forte diffusion** liées au développement massif de **l'Internet des Objets (IOT)**.
3. Les besoins des **applications à haute performance** (en débit, résilience, temps de réponse ou latence, fiabilité) pour le marché des divers domaines industriels (fabrication, transports, etc.) et les connexions **M2M** « Machine to Machine » de **l'industrie 4.0** aussi appelée industrie du futur ou quatrième révolution industrielle).



Remarques :

- La technologie 5G sera utilisable pour constituer des **réseaux privés**, sous réserve d'attribution de licences de fréquences et donc pas seulement exploitée par les opérateurs de télécom. A titre d'exemple, les compagnies de chemins de fer européens avaient adopté la technologie GSM pour leurs communications : le GSM-R. Son remplacement par un 4G-R est à l'étude. Quant à la 5G-R ?
- Le créneau des réseaux dédiés à l'IOT est déjà servi (**LoRaWAN, Sigfox**). La compétition entre ces réseaux et la 5G est encore incertaine et dépendra des facteurs habituels de la concurrence (technique et couverture, prix, qualité de service, agressivité commerciale, etc.)
- La technologie 5G pourra être étendue aux télécom spatiales, en accédant aux constellations de satellites en orbites basses (des projets en cours mais des problèmes potentiels d'attribution de fréquences).

Nouveaux usages potentiels de la 5G

Les **segments techniques** des marchés visés par la 5G ont été mentionnés.

Ci-joint on trouvera selon ChatGPT une compilation de ce qui se publie aujourd'hui en matière de nouveaux usages potentiels attendus (ou proclamés) pour la 5G :

1. **Voitures autonomes** : connexions plus rapides et plus fiables pour les voitures autonomes, ce qui permettra une communication en temps réel avec les autres voitures et les infrastructures, améliorant ainsi la sécurité routière.
2. **Santé** : télémédecine en permettant des consultations en temps réel avec des médecins, des soins à domicile et des diagnostics à distance, offrant ainsi des services de santé plus accessibles et plus efficaces.

3. **Réalité virtuelle et augmentée** : expériences de réalité virtuelle et augmentée plus immersives et plus fluides, en offrant des vitesses de transfert de données plus élevées et une latence plus faible.

4. **Industrie 4.0** : La 5G peut aider à améliorer l'efficacité de la production industrielle en permettant une communication plus rapide et plus précise entre les machines et les systèmes.

5. **Smart cities** : Connexion des différents éléments des villes intelligentes, tels que les systèmes de transport, l'énergie et les capteurs, pour une gestion plus efficace des ressources et des services urbains.

6. **Divertissement** : Expériences de divertissement plus immersives, telles que le streaming vidéo en haute définition et les jeux en ligne à faible latence.

La 5G est une des technologies critiques ouvrant la porte à un éventail très large d'usages nouveaux. Au-delà d'une créativité potentielle sans limite, la décaution des nouveaux usages se fera progressivement selon de multiples contraintes (montant des investissements et viabilité économique, délai de mise en œuvre, sécurité et éthique).

Des investissements applicatifs importants seront à faire pour exploiter les potentialités de la 5G

ENJEUX STRATEGIQUES

Rôle de l'Etat

La préparation du GSM s'est faite à l'époque finissante en France du « **Colbertisme High Tech** ». Le rôle de l'opérateur de l'époque (la Direction Générale des Télécom) a été majeur : R&D au CNET, accords techniques internationaux, coopération étroite avec l'industrie, y compris le financement de marchés d'étude, etc.

Le contexte d'aujourd'hui avec la 5G n'a plus rien à voir. **L'Etat n'est plus opérateur de télécom** (il a conservé 23% du capital d'Orange), le secteur des télécom en France a été libéralisé par étapes à partir de 1996 et est devenu totalement concurrentiel en 2006 avec 4 opérateurs principaux en France (peut-être trop nombreux par comparaison avec d'autres pays ?). Seule Orange dispose encore de moyens de R&D notables.

Contrairement au secteur électrique, l'essentiel des financements liés à la 5G n'est donc plus à la charge de l'Etat qui intervient seulement aujourd'hui avec divers outils et moyens :

- L'**ARCEP** gère la réglementation générale des télécom, organise des enchères et définit les règles pour l'attribution des licences d'utilisation des fréquences (avec l'assistance technique de l'Agence nationale des fréquences l'**ANFR**)
- Le budget de l'Etat est abondé par la vente des licences (€2,7 Mds en 2021)
- La Direction générale des Entreprises (DGE) avec la Direction Générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) sous l'égide du Secrétariat Général pour l'Investissement (SGPI) animent un ensemble d'actions et de financements pour encourager les l'utilisation de la 5G.
- Bien évidemment, les services de l'Etat sont des utilisateurs potentiels de la 5G dans de nombreux domaines (Sécurité, Transports, police, etc.)

5G et économie

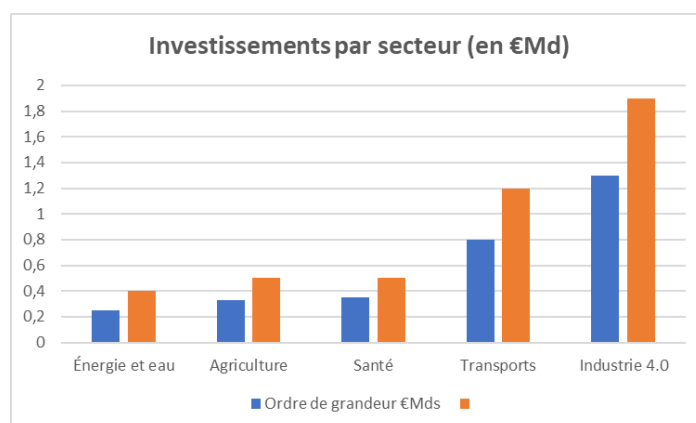
Les prévisions économiques sur la 5G sont nombreuses. On se réfèrera à l'étude parue en 2021 du ministère des finances, Direction générale des Entreprises : « **L'écosystème 5G en France : Estimations des retombées économiques de la 5G pour les entreprises françaises (chiffre d'affaires et emplois)** ».

CUMUL DES DEPENSES 5G 2020-2027	
INVESTISSEMENTS OPERATEURS	16,0
UTILISATEURS FINAUX	
SOLUTIONS	13,5
TERMINAUX	5,8
RESEAUX	5,8

Cette étude donne notamment quelques estimations sur le volume d'activité générée par la 5G à l'horizon 2027 comme l'indique le tableau ci-dessus : on remarquera les poids importants des investissements à faire pour le développement des solutions applicatives. Si l'on se réfère au marché actuel des grands logiciels applicatifs, la seule réussite mondiale **d'origine française** est **Catia de Dassault Systèmes**. La 5G générera-t-elle des nouvelles licornes françaises dans le domaine industriel ?

Les enjeux économiques liés à la 5G diffèrent selon les acteurs :

1. **Pour l'Etat :**
 - La 5G rapporte des revenus directs spécifiques liés à la concession de licences de fréquences (**€ 2,7 milliards en 2021**)
 - D'autre part l'Etat, qui veut aider les développements sur les réseaux du futur mobilisera plus de **€ 750 millions d'ici 2025**
2. **Les opérateurs des télécom** devront investir massivement (licences des fréquences, achat et installation des réseaux) en espérant une augmentation de leur chiffre d'affaires
3. **Les industriels manufacturiers vendeurs d'équipements 5G** seront les premiers bénéficiaires (réseaux, terminaux)
4. **Les autres secteurs utilisateurs** devront fortement investir. Selon cette même étude, en 2027, 75 % des dépenses directes dans les solutions applicatives métiers (soit entre 3,0 et 4,5 milliards d'euros) devraient concerner les cinq secteurs principaux, avec l'industrie en priorité :



5G et souveraineté industrielle

Plusieurs points de vue à considérer :

- a) L'étude et la fabrication des composants industriels des réseaux 5G : infrastructure et composants matériels et logiciels du réseau, équipements terminaux : on ne peut que constater la **situation peu favorable de l'industrie française**, même s'il subsiste des équipes de R&D (Orange, Nokia/Alcatel)
- b) L'installation et l'exploitation des réseaux est maîtrisée par les opérateurs de télécom
- c) Les nouvelles applications et solutions exploitant la 5G : tout est à faire et l'Etat prévoit un effort important

L'annexe 5 résume l'histoire industrielle des réseaux mobiles du GSM à la 5G. Les 4 opérateurs de mobiles en France (Orange, SFR, Bouygues, Free) sont à capitaux majoritairement français mais les composants essentiels des réseaux sont étrangers : européens pour les réseaux (Nokia et Ericsson), asiatiques pour les terminaux. La souveraineté des applications et solutions reste à construire. Le tableau ci-dessous estime en % la part captée par les entreprises française pour la période 2020-2027 (étude du ministère de l'Industrie (référence 3 déjà citée) :

	PART CAPTEE PAR LES ENTREPRISES FRANCAISES	POTENTIEL ADDITIONNEL	PART DES ENTREPRISES ETRANGERES	ANNUEL MOYENNE 2020-2027
INVESTISSEMENTS RESEAUX PUBLICS ET PRIVES CUMUL 2020-2027	37%	8%	55%	2,0
CONNEXION 5G	85%	35%		13,5
INTERNET FIXE MOBILE	70%	30%		0,7
TERMINAUX	0%	0%	100%	6,0
SOLUTIONS APPLICATIVES	18%	35%	47%	5,0

Les % du tableau s'appliquent à une fourchette de €19-21 Mds pour les opérateurs et €23-28 Mds pour les utilisateurs finaux déjà indiquée.

5G et écologie

L'impact écologique de la 5G reste un objet de controverses. *Reporterre* et *le Shift Project*, sont deux organisations « **écologues modérées** » (voir références 5 et 6) qui sont très critiques. Selon *Reporterre*, la 5G est « **un gouffre sans futur** ». Le think tank *Shift* appelle à un « **encadrement du déploiement de la 5G et de ses usages pour éviter une explosion de l'empreinte carbone du numérique** ».

Le bilan devra être fait sur l'ensemble du cycle de vie de la 5G (fabrication et installation des équipements, exploitation, démantèlement et gestion des déchets, notamment des terminaux).

Principaux considérants :

- La technologie et l'architecture de la 5G (en particulier les antennes intelligentes) permettent d'espérer un progrès énergétique par rapport à la 4G
- Par contre, la 5G augmentera le nombre d'antennes, notamment en zones denses, ainsi qu'avec le développement de l'IOT
- La 5G pourra être un facteur d'amélioration de la gestion écologique de nombreux processus
- Mais on peut craindre l'**effet rebond** de la 5G, encourageant les usages très consommateurs (jeux, streaming haute qualité, etc..) et surtout l'augmentation importante des objets connectés (IOT)
- Enfin, la 5G accélèrera l'obsolescence des postes mobiles et smartphones 2G et 3G (souhaitée par les constructeurs pour faire « **tourner la machine** ») dont la fabrication et la fin de vie pèsent lourd dans le bilan carbone global de des TIC.

6G

L'écosystème télécom (industriels, opérateurs, normalisateurs) est déjà en mouvement étudier ce que pourrait être la 6G. Le ministère de l'industrie est d'ailleurs associé au lancement de ce mouvement. L'annexe 6 donne quelques indications sur ce que pourrait être la 6G. C'est le moment de s'interroger sur la pertinence de ce mouvement (voir annexe 6)

Quelques conclusions et questions

1. La 5G, dans sa version de prolongation de la 4G est maintenant largement déployée en France par les 4 opérateurs qui investissent massivement (licences de fréquences, réseau)
2. La technologie de la 5G est très innovante (virtualisation) et la maîtrise complète de la 5G n'est pas encore prouvée (performances, fiabilité, résistance à la cybercriminalité, etc.) ;
3. Les principales innovations d'usage apportées par la 5G seront dans le domaine professionnel, au prix de développements importants restant à faire ;
4. L'Etat, qui considère certaines de ces innovations comme stratégiques, contribuera au financement. C'est le secteur industriel et les transports qui devraient être les plus concernés.
5. Il faut reconnaître que la souveraineté industrielle française pour la 5G n'est pas très bonne (réseaux, terminaux), mais un effort important est entrepris sur le développement des solutions d'utilisation ;
6. L'extension de la 5G dans les fréquences hautes (26 GHz) n'est pas encore effective et de nombreux problèmes techniques et sanitaires ne sont pas encore traités ;
7. Le bilan écologique de la 5G est encore très controversé et n'a pas fait l'objet de débats ouverts ;
8. La 6G est déjà à l'étude : progrès inévitable ou machine folle de l'écosystème ?

ANNEXES

Annexe1 : Sigles

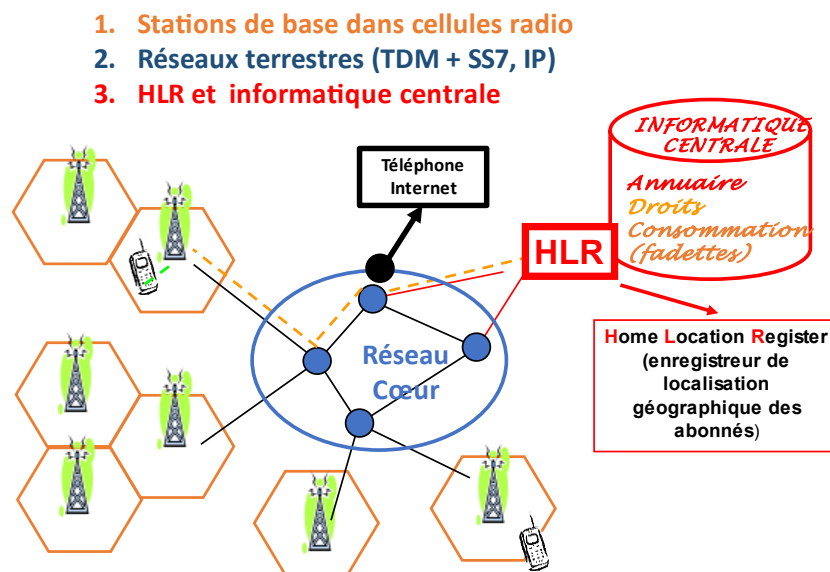
SIGLE	SIGNIFICATION	TELECOM	INFORMATIQUE	NORMALISATION
3GPP	3rd Generation Partnership Project			X
ARPU	Average Revenue Per User (Revenu moyen par abonné)	X		
BLOCKCHAIN	Technologie décentralisée de sécurité, base des cryptomonnaies		X	
CDMA	Accès multiple par division de code (utilisé en 3G)	X		
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution (augmentation du débit des modems)	X		
EDGE COMPUTING	Informatique décentralisée en périphérie de réseau		X	
ETSI	Institut européen des normes de télécommunications			X
FDMA	Accès multiple par division de fréquences	X		
FRAND	Licences raisonnables et non discriminatoires			X
GPRS	General Packet Radio Service, première extension du GSM pour un service TCP/IP	X		
GPU	Graphic Processor Unit,		X	
GSM	Global System for Mobile Communication, nom de groupe de normalisation et associé à la 2G	X		X
HANDOVER	(Transfert intercellulaire): mécanisme permettant de changer de cellule sans interruption	X		
HLR	Home Location Register, serveur central gérant la mobilité des utilisateurs	X		
HPC	High Performances Computer		X	
IEEE	Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens, association professionnelle			X
IOT	Internet of things	X	X	
NFV	Network Function Virtualisation		X	
LTE	Long Term Evolution, défini en 2008 avant d'être appelé 4G			
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (codage utilisé en 4G et 5G)	X		
RAN	Réseau d'Accès Radio	X		
ROAMING	Procédé qui permet d'utiliser son forfait mobile depuis l'étranger (itinérance)	X		
SDN	Software Defined Network		X	
SLICING	Le network slicing consiste à découper le réseau en plusieurs sous-réseaux (tranches). Permet la constitution de VPN (Virtual Private Network)	X		
SS7	Système de signalisation n 7 (Signaling System #7) utilisé en téléphonie numérique RNIS et GSM	X		
TCP/IP	Internet Protocol, base du fonctionnement d'Internet en commutation de paquets dont les bases ont été publiées en 1974 (Vin Cerf et Bob Kahn)	X		
TDM	Time Division Multiplexing	X		
TDMA	Accès multiple par division temporelle	X		
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, premier nom associé à la 3G	X		
WAP	Wireless Application Protocol, tentative de WEB réduit sur la 2G en 2000	X		

Annexe 2 : Quelques références

1. Dossier 5G de « polytechnique insight » (2022)
<https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/digital/5g-et-industrie-la-france-est-elle-en-retard/>
2. Enjeux économiques de l'UMTS Auteur(s) : Michel Didier ; Jean-Hervé Lorenzi, Conseil d'Analyse économique (2002)
https://medias.vie-publique.fr/data_storage_s3/rapport/pdf/024000159.pdf
3. Observatoire de la 5G, ministère des finances 2020)
https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/en-pratique/etudes-et-statistiques/etudes/observatoire_2021_de_la_5g_en_france.pdf
4. La mission 5G industrielle a été initiée le 19 octobre 2021 par la Ministre déléguée chargée de l'Industrie, et le Secrétaire d'État chargé de la Transition numérique et des Communications électroniques. Elle s'inscrit dans le cadre de la stratégie d'accélération sur la 5G et les futures technologies de réseaux de télécommunications, en lien avec les Comités Stratégiques de Filière (CSF) « Infrastructures numériques » et « Solutions pour l'industrie du futur ».
<https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/actualites/comites-strategiques-de-filiere/infrastructures-du-numerique/mission-5g-industrielle-restitution-du-rapport>
5. Selon reporterre : la 5G un gouffre sans futur
<https://reporterre.net/La-5G-un-gouffre-sans-futur>
6. Shift Project IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE : TENDANCES À 5 ANS ET GOUVERNANCE DE LA 5G » RAPPORT
<https://theshiftproject.org/article/impact-environnemental-du-numerique-5g-nouvelle-etude-du-shift/>
7. Ministère de l'Industrie, appel aux solutions innovantes
<https://www.entreprises.gouv.fr/fr/aap/france-2030/5g/6g-appel-projets-pour-des-solutions-innovantes-pour-reseaux-du-futur>
8. L'Union Européenne a étudié tout au long de l'année 2019 l'impact du déploiement du réseau téléphonique de cinquième génération « 5G ».
<https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr/onists/ressources-documentaires/veille-technologique/reseau-5g-cybersecurite>

Annexe 3 : Innovations techniques des réseaux cellulaires

Le schéma ci-dessous rappelle les composants génériques d'un réseau cellulaire, système complexe.



Les réseaux cellulaires furent le prolongement et l'aboutissement des systèmes de télécom. Il a fallu beaucoup inventer dans de nombreux domaines.

- **Allocation des fréquences** : bandes de fréquences réservées au niveau international sous l'égide en particulier de l'UIT, l'objectif étant entre autres de permettre une itinérance internationale (roaming)
- **Structure cellulaire** : territoire équipé de d'émetteurs radio desservant des petites surfaces (les cellules) dont la taille dépend de la densité du trafic afin de gérer la **gestion des fréquences** sur un grand territoire ;
- **Gestion de la mobilité et localisation** :
 - Un réseau cellulaire doit en temps réel connaître sur un **serveur centralisé** la position (N° de cellule) de chaque utilisateur par un échange permanent d'informations de signalisation véhiculée via le réseau cœur ;
 - Il faut gérer le changement de cellule sans interruption de communication (**hand over**) même pour un utilisateur en mouvement rapide (par exemple TGV) ;
 - Il faut pouvoir interconnecter les réseaux des divers opérateurs mondiaux et permettre l'itinérance (**roaming**) et offrir des services sans frontière ;
- **Accès radio (RAN ou Radio Access Network)** : système de codage et d'allocation dynamique de ressources (bande passante) dans chaque cellule. A partir de la 2G, ces accès furent **numériques**. Chaque génération utilise une technologie spécifique (**2G** : FDMA et TDMA, **3G** : CDMA, **4G, 5G** : OFDM)
- **Un réseau cœur** fixe transportant l'information entre les divers composants du système (stations de base, système informatique central et de localisation) : à la fois l'information utile et la signalisation de service. Jusqu'à la 4G, le réseau cœur juxtapose deux modes : le mode circuits pour la téléphonie et le mode TCP/IP pour l'accès à Internet. La 5G a maintenant un réseau cœur unifié en technologie TCP/IP.
- **Système informatique centralisé** pour gérer la mobilité (le serveur de localisation **HLR**) et les données de communications (les fameuses « **fadettes** » ou Factures Détaillées Téléphoniques générant des énormes fichiers (Big Data) utilisés pour de multiples usages (facturation, gestion technique, enquêtes judiciaires)
- **Postes téléphoniques** complexes (par comparaison avec les simples postes du téléphone fixe) et multifonctions, impossibles sans micro-processeurs) accédant au réseau par le RAN.

Annexe 4 Les ruptures techniques de la 5G

La 5G se caractérise par de nombreuses ruptures techniques telles que : des nouvelles bandes de fréquences, la virtualisation des fonctions réalisées par technologies logicielles, des antennes adaptatives, etc.

Les objectifs de performances

La 5G affiche des objectifs de gains de performances très ambitieuses par rapport à la 4G. La faisabilité de certains objectifs reste à être démontrée, notamment dans le domaine de la fiabilité.

Les progrès technologiques apportés par la 5G ont également un objectif d'économie énergétique, même si le bilan n'est pas encore totalement établi.

Le tableau qui suit résume les **gains de performances** objectifs que le terrain devra confirmer :

Paramètre	Objectif	Progrès 5G / 4G
Débit maximum	20 Gb/S	X 20
Nombre d'objets connectables par m ²		X 10
Efficacité spectrale		X 3
Vitesse max pour permettre le « Handover »	500 Km/h	X 1,5
Latence		÷ 10
Disponibilité	99,999 %	

L'architecture

Le fonctionnement interne de la 5G est à la fois un prolongement de la 4G avec une certaine continuité et contient surtout de nombreuses innovations :

- Le réseau cœur est maintenant **unifié en technologie TCP/IP**, évolution amorcée avec la 4G (alias LTE)
- Importance croissante de **l'architecture logicielle** :
 - **NFV** (Network Function Virtualisation) : exécution des principales fonctions du système par logiciels sur des composants matériels simplifiés
 - **SDN** (Software Defined Network) : outils centralisés de gestion permettant aussi bien les contrôles (dépannage, routage, etc.) que les reconfigurations et le partage de ressources permettant par exemple le « slicing » ou constitution de réseaux privés virtuels
- **Antennes adaptatives** appelées antennes massives MIMO avec plusieurs caractéristiques :
 - **Beamforming** : l'antenne 5G émet un signal dans une direction précise
 - **Data Slicing** : l'antenne 5G adapte la puissance de son signal en fonction du besoinCette technologie d'antenne vise à être très efficace en énergie (gain dans un rapport 20 a-t-on pu lire) mais compensé par un nombre plus dense d'antennes du fait de l'augmentation des fréquences

Les fréquences

La physique des ondes radio nous a appris que plus la fréquence est basse, plus elle porte loin mais le débit transporté est faible. A l'inverse, une fréquence élevée porte moins loin mais facilite l'affectation de bandes plus larges donc avec un débit potentiel plus élevé.

Les plus vieux d'entre nous se souviennent du passage des ondes longues radio à la FM dans les années 60 !

La 5G prévoit trois grandes plages de fréquences :

- Les fréquences de la « **bande cœur** », extension de celles déjà en vigueur pour la 4G.
- La bande des **700 MHz** destinée aux application **IOT** (Internet des Objets)
- La bande des **26 MHz** est **encore en devenir**. Destinée à servir les applications les plus exigeantes (en latence et en bande passante). De nombreux problèmes tant techniques que sanitaires restent à être étudiés avant d'être déployée

Annexe 5 : 5G et cybersécurité

L'Union Européenne a étudié tout au long de l'année 2019 l'impact du déploiement du réseau téléphonique de cinquième génération « 5G ». Tant les travaux de la Commission Européenne (recommandation n°2019/534) que ceux du Conseil de l'Union Européenne (rapports n°8268/19 du 11 avril 2019 et n°8983/2019 du 6 mai 2019) ont permis de déboucher sur une évaluation des risques de la 5G par les pays membres.

Si la virtualisation, le réseau par tranches et le chiffrement renforcent la sécurité et résilience du réseau 5G, l'interconnexion globale augmente ses vulnérabilités et renforce la capacité de nuisance des actes criminels en offrant de nombreuses possibilités pour causer des préjudices particulièrement importants.

Les menaces qui pèsent sur le réseau 5G concernent sa confidentialité (surveillance, captation ou redirection illicite du trafic ou des données), sa disponibilité (perturbation du réseau locale ou globale) ou son intégrité (altération ou destruction des infrastructures réseaux).

Les cibles principales du réseau 5G identifiées sont les fonctions essentielles du réseau (core network functions) qui sont susceptibles de compromettre la confidentialité, la disponibilité ou l'intégrité de l'ensemble du réseau ou parmi lesquelles les données les plus sensibles transitent, les systèmes de gestion et services de support (management systems and supporting services) qui contrôlent des éléments clés du réseau et pourraient être la cible d'actes malveillants, sabotage ou espionnage, susceptibles de nuire à la disponibilité ou l'intégrité du réseau, et la virtualisation des fonctions réseaux (network functions virtualization) qui est essentielle pour le fonctionnement des mesures de sécurité, comme le chiffrement, ou les mesures d'interceptions judiciaires.

Les vulnérabilités ne divergent pas des réseaux classiques et peuvent être d'origines matérielle ou logicielle (qualité de fabrication/développement, backdoors, qualité de l'architecture réseau, défaut de sécurité physique dans les infrastructures réseaux, etc.), provenir de failles dans les procédures (maintenance à distance peu contrôlée), de manquement dans les politiques d'entreprise (manque de personnels compétents, procédures de contrôle interne insuffisantes, maintenance inadéquate, politique d'achat au rapport coût/qualité réduit, etc.) ou dans le choix des fournisseurs tiers (risque de dépendance vis à vis d'un fournisseur unique peu fiable ou défaillant, risque de multiplication des acteurs, internationaux, soumis à la pression d'un état étranger).

Les acteurs malveillants ont été analysés par les Etats-membres de l'U.E. en fonction de leurs capacités (ressources) et de leurs motivations (intention) : ainsi la première menace est d'origine étatique, la seconde liée aux vulnérabilités internes aux opérateurs réseaux 5G, et enfin la troisième à la criminalité organisée.

Orange qui fait la promotion de ses services de cybersécurité déclare pour un web séminaire du 28/06/23 : « Ces bouleversements d'usages poussent à anticiper de nouvelles vulnérabilités inhérentes à ces innovations, notamment en matière de cybersécurité. En effet, l'extension de la surface d'attaque du réseau mobile par des logiciels malveillants pousse à prendre en compte dès à présent des risques inédits par leur ampleur en matière de sécurité informatique, de sécurité de l'internet des objets, de protection de la vie privée et des données. S'il n'est pas question de renoncer aux apports de la technologie 5G, il est essentiel de sécuriser son avènement et de garantir la sécurité des services »

Annexe 6 : Normes et industrie

Les télécom mondiales sont régulées (au moins sur le plan technique) par l'UIT, rattaché à l'ONU. Les mobiles sont concernés à la fois pour la gestion des fréquences de radiocommunications au niveau mondial (UIT-R) et pour les normalisations (UIT-T). Au niveau européen, les études de normalisation internationales sont pilotées par l'ETSI créée en 1988 sous l'égide de l'UE.

Au début des années 1980, l'Europe était en retard pour les réseaux cellulaires et avait adopté des technologies américaines (ATT, Motorola) dites de 1G. Plusieurs initiatives énergiques furent prises pour remédier à cette situation :

- Lancement (notamment en France) d'études avancées pour définir un **système cellulaire** entièrement **numérique**
- Volonté politique de coopération Franco-Allemande
- Structuration européenne de coopération avec la création d'un groupe spécial d'études (GSM ou Groupe Spécial Mobile) progressivement rejoint par les principaux opérateurs européens.
- Signature en 1987, sous l'égide de la Commission, d'un MOU entre opérateurs de télécom pour s'engager à ouvrir au début des années 1990 un service de mobiles cellulaire selon la norme GSM et avec les **mêmes fréquences réservées**.

Le résultat fut une réussite remarquable, le **GSM**, qui s'imposa progressivement comme un standard mondial avec une ouverture progressive d'un service européen à partir de 1991. Par beaucoup d'aspects, ce système était très innovant (entièrement numérique, sécurisation par carte à microprocesseur, itinérance européenne, etc).

La conséquence fut la création de **champions industriels européens** qui ont dominé le marché mondial du GSM jusqu'au milieu des années 2000.

- **Ericsson** pour les infrastructures de réseau
- **Nokia** pour les postes téléphoniques mobiles
- **Gemplus** pour les cartes SIM (technologie des cartes à puce)

En dehors de la réussite mondiale de Gemplus, les réussites des sociétés françaises furent en demi-teinte (Alcatel pour les réseaux, Alcatel et Sagem pour les postes téléphoniques mobiles). C'était pourtant l'époque où la France conservait quelques ambitions industrielles dans le domaine des T.I.C. ce qui n'est plus le cas à l'époque de la 5G.

Pour la préparation de la 3G, l'industrie mondiale n'a pas voulu laisser aux européens cette suprématie et a souhaité étendre la participation de l'industrie mondiale (USA, Japon, Corée du Sud, etc.) en créant en 1998 le **3GPP** qui joue un rôle de fédérateur mondial pour les travaux de normalisation des réseaux mobiles des diverses générations de mobiles (**3rd Generation Partnership Project**) est une coopération entre organismes de normalisation en télécommunications tels que : l'UIT (union internationale des télécommunications), l'ETSI (Europe), l'ARIB/TTC (en) (Japon), le CCSA (Chine), l'ATIS (en) (Amérique du Nord) et le TTA (Corée du Sud). Il produit et publie les spécifications techniques pour les réseaux mobiles de 3e (3G), 4e (4G) et 5e (5G) générations).

Comme cela a déjà été dit, la 3G a déclenché la création des smartphones par Apple. Nokia, malgré son alliance avec Microsoft au début des années 2010, n'a pas réussi à recoller au peloton et est sorti du marché des smartphones vers 2015. Paradoxalement, c'est le groupe Google, avec son Operating System **Android** qui a réussi à faire contrepoids à Apple ... avec une stratégie similaire à celle de Microsoft à la naissance du PC (stratégie œcuménique de licences logicielles dont Samsung a été le principal bénéficiaire).

Avec la 5G les ambitions industrielles chinoises avec **Huawei** et **ZTE** ont été barrées du monde occidental pour des considérations stratégiques et sécuritaires. L'industrie des infrastructures de réseau pour la 5G est dominée par **Ericsson** et **Nokia** (qui avait acquis Alcatel en 2015, lui-même fusionné avec Lucent aux USA en 2006). Les USA jouent un rôle indirect important via les composants microélectronique (Qualcomm) ou logiciels (Oracle par exemple) et les équipements de cœur de réseau (CISCO, JUNTCP/IPER).

On notera que chaque génération de normes mobiles a été l'objet de négociations difficiles pour les droits de propriété industrielle (TCP/IPR ou **Intellectual Property Rights**) avec par exemple Motorola pour la 2G ou Qualcomm pour la 3G.

Les organisations de normalisation, telles que l'UIT et l'ETSI, accordent une grande importance à l'équilibre entre l'adoption de normes ouvertes pour promouvoir l'interopérabilité et le respect des droits de propriété intellectuelle. Elles encouragent généralement les détenteurs de droits de propriété à accorder des licences raisonnables et non discriminatoires (**FRAND**) pour permettre une utilisation équitable des technologies brevetées dans le cadre des normes télécom.

En conclusion pour cette brève analyse de l'impact industriel de la 5G en France :

- Nokia en France s'appuie encore sur les anciens actifs d'Alcatel notamment en R&D (5G, cybersécurité) mais a fortement diminué les effectifs de fabrication
- Selon la référence N°2 (observatoire de la 5G), les 2/3 des investissements de réseau seront fournis par des industriels non français
- La totalité des terminaux sont étrangers (suivant en cela le phénomène des ordinateurs individuels qui ont disparu de la fabrication européenne dans les années 1990)

Annexe 7 : la 6G

La 6G entend ouvrir un champ d'applications nouvelles. En intégrant les mondes physiques et numériques et en associant l'imagerie, la localisation et l'intelligence artificielle, ces applications permettront une immersion complète dans l'espace numérique pour des expériences de communication, d'interaction et de collaboration en réalité virtuelle, mais aussi de la télé-chirurgie en temps réel, du streaming de vidéos en 16K, des véhicules autonomes et des jumeaux numériques.

Selon Nokia, la 6G profitera des avancées de **six technologies clés** :

1. Les progrès accomplis en intelligence artificielle et machine learning (IA/ML) amélioreront la communication entre deux terminaux.
2. Grâce au spectre de fréquences térahertz qui lui sont allouées, la 6G offrira des débits jusqu'à 100 fois supérieurs à ceux de la 5 G.
3. Le réseau sera « sensible » à l'environnement, aux objets et aux personnes, ce qui lui permettra de localiser, mais aussi de mesurer différents paramètres (vitesse, température).
4. La faible latence de la 6G (de l'ordre de la microseconde vs la milliseconde pour la 5G) rendra possible une connectivité fiable pour des applications en temps réel comme les véhicules autonomes ou la visioconférence.
5. Grâce à cette connectivité, de nouvelles architectures réseaux se substitueront aux réseaux filaires et faciliteront le déploiement de réseaux personnalisés et automatisés.
6. Enfin, la 6G sera conçue en « *security by design* » et intégrera des fonctions de sécurité avancées dès sa conception.