

Comment intégrer la 5G à votre stratégie

Édition 2022

Charles Praud

(C) Le monde est tel que nous le façonnons.

The world is how we shape it*

sopra  steria

Comment intégrer la 5G à votre stratégie

Édition 2022

Charles Praud

Charles Praud



Charles Praud a commencé sa carrière dans le secteur des télécoms il y a plus de 30 ans. Après quelques années en tant que consultant pour des acteurs majeurs des télécoms tels que IBM, la SITA ou encore Digital, il a fondé puis dirigé pendant dix ans la start-up Acanthis, pionnière dans le Network Analytics. En tant que CTO, il a supervisé les développements d'une ligne de produits adoptés par plus de trente opérateurs dans le monde et qui sont pour certains encore opérationnels.

Après le rachat d'Acanthis par Sopra Steria en 2005, Charles a occupé plusieurs postes au sein de la Division Telecom, Media & Entertainment. Il a aujourd'hui la charge du développement de ce vertical au niveau Groupe.

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier l'ensemble des collaborateurs avec lesquels j'ai travaillé depuis le début de ma carrière. On ne peut grandir seul et sans leur confiance, leur patience et leur bienveillance, je n'aurais pu avoir autant d'opportunités. J'espère qu'ils seront très nombreux à se reconnaître.

Mes remerciements vont également à la direction de Sopra Steria, et en particulier Raphaël Thouvenin en charge du vertical « Telecom, Media & Entertainment » qui a su accueillir et accompagner un profil atypique afin que je puisse contribuer du mieux que je le pouvais à la montée en valeur du groupe. Intégrer des startups est aujourd'hui à la mode. Le faire en 2005 et en France était alors exceptionnel.

Un remerciement particulier à Victor Petit, Paul-Oscar Gabay, et Thibault Barrillon qui ont participé à la rédaction de l'édition 2022 ainsi qu'à l'équipe IoT de Sopra Steria composée d'Alex Gherghina, Mélanie Pattier et Guillaume Roy.

Un mot également pour mon entourage proche pour lequel l'écriture de ce livre a eu quelques impacts non négligeables sur ma disponibilité ces derniers mois; merci pour votre soutien et votre patience.

En dernier lieu, je tiens à remercier Jean Mounet qui a été de longues années sponsor du vertical Telecom Media Entertainment au sein de Sopra Steria. Il s'est forgé très tôt une conviction forte que la 5G allait être un « game changer » qui, couplé aux intelligences artificielles et au cloud, allait impacter profondément et durablement le paysage numérique de tous les verticaux. Son soutien aux travaux ayant mené à la rédaction de cet ouvrage a été indéfectible.



De gauche à droite : Paul-Oscar Gabay, Charles Praud, Victor Petit, Jean Mounet et Thibault Barrillon

Sommaire

Introduction.....	11
-------------------	----

1 Ce qu'il faut retenir de la 5G.....	15
La 5G ou l'infrastructure du phygital.....	16
«Verticalisé» par conception.....	17
Les performances de la 5G ou la quadrature du cercle.....	19
À chacun son réseau.....	21
Un nouveau protocole d'accès.....	24
Programmable par conception.....	30
Le cloud à proximité.....	32
En fédératrice des réseaux.....	34
Tous les objets connectés.....	37
Mais aussi.....	37
La 5G privée.....	37
Le partage de fréquence.....	38
La 5G et la sécurité.....	38
Enjeux de santé.....	41
En synthèse.....	43

2 Les prérequis au déploiement de la 5G.....	45
Les standards de la 5G.....	46
Release 13.....	47
Release 15.....	49
Release 16.....	50
Release 17.....	52
Release 18.....	53
Ce que nous pouvons retenir de la normalisation de la 5G.....	55
Les équipements 5G.....	57
Infrastructures RAN et cœur de réseau.....	57
Points de terminaison.....	59
Ce que nous pouvons retenir à propos des équipements 5G.....	62
Les fréquences 5G.....	62
Les infrastructures autres que 5G.....	66
Infrastructures 4G.....	66
Infrastructures fibre.....	69
Ce que nous pouvons retenir à propos des infrastructures autres que 5G.....	69
En synthèse.....	70

3 Le déploiement des réseaux 5G.....	71
Premiers déploiements.....	72
Cohabitation avec la 4G.....	79
Gestion du portefeuille de fréquences.....	81
Par quelles bandes de fréquences commencer?.....	82
Réseaux fixes sans fils ou Fixed Wireless Access.....	84
Le slicing.....	85

Partage de réseaux.....	88
Les bandes de fréquences non licenciées.....	90
Le Multi-Access Edge Computing.....	92
La 5G non terrestre.....	95
En synthèse.....	97

4 Les autres réseaux.....	99
Wi-Fi.....	100
Low Power Wide Area Networks (LPWAN).....	105
Industrial Ethernet.....	107
En synthèse.....	108

5 Usages primaires.....	109
Débit maximal.....	110
Débit perçu par l'utilisateur.....	112
Efficacité spectrale.....	115
Vitesse.....	116
Latence.....	118
Densité de connexions.....	122
Efficacité énergétique.....	123
Débit sur une zone.....	125
En synthèse.....	125

6 Usages émergents.....	127
Connectivité augmentée.....	129
Private mobile Network.....	130
Augmenter les solutions existantes.....	133
La servicisation des objets.....	134
Synthèse.....	135

7 Verticaux.....	137
Media & Entertainment.....	139
Transport.....	142
Automotive.....	146
Industrie 4.0.....	149
eHealth.....	152
Agriculture.....	153
Utilities.....	155
En synthèse.....	158

8 Mise en œuvre.....	159
Cadrage stratégique.....	160
Stratégie numérique.....	163
Formation.....	165
Conception.....	167
Développement.....	170
Déploiement.....	171
Exploitabilité.....	171

Conclusion.....	173
Table des figures.....	174

Introduction

Cela fait maintenant 3 ans que la 5G se déploie de par le monde. Paradoxalement on ne constate pas un engouement excessif des usagers. Plusieurs raisons à cela. En premier lieu il s'agit d'une 5G minimaliste qui, pour les pays disposant déjà d'une bonne voire très bonne 4G, est pour l'instant juste incrémentale. Par ailleurs, cela reste avant tout un sujet d'infrastructure où tant que les territoires ne seront pas suffisamment bien maillés, l'émergence de nouveaux usages en sera d'autant retardée. De plus le support de la puissance publique est très variable d'une géographie à l'autre.

Si l'Asie fait la course en tête avec la Corée et la Chine tant sur l'attribution des fréquences que sur les incitations financières, les pays de l'OCDE, USA en tête, prennent leur temps. Eric Schmidt, fondateur de Google, est particulièrement acerbe quant au retard « pathétique » pris par son pays. Il compare notamment les 150 milliards d'investissements chinois au 1,5 milliard autorisé par « The Innovation and Competition Act ». Le calendrier européen établi par la Commission Européenne a été pour sa part malheureusement percuté par la crise Covid avec des pays en ordre dispersé bien en retard également sur les leaders asiatiques.

Si les trois premières années semblent bien timides au regard des promesses initiales, le déploiement à venir des fonctions avancées de la 5G va enfin permettre la mise en œuvre d'usages disruptifs. La « full » 5G arrive et si celle-ci requiert toutes les attentions, c'est que son ambition originelle ne se limitait pas à améliorer, même significativement, la 4G, mais à soutenir la modernisation des industries au sens large en embrassant tous les verticaux quelles que soient les spécificités de leurs besoins.

De nombreuses parties prenantes sont à la manœuvre pour relever ce challenge :

- Les constructeurs qui développent équipements d'infrastructure et terminaux;
- Les opérateurs télécoms qui déploient, administrent et vont peut-être monétiser de nouveaux services;
- Les industries dont les besoins diffèrent selon les verticaux auxquels elles appartiennent;
- Les pouvoirs publics qui vont plus ou moins encourager son développement en en infléchissant éventuellement l'allocation des fréquences et les modalités de déploiement.

La présente étude a pour objectif de mesurer l'impact concret de la 5G sur notre société et d'envisager comment celle-ci peut s'intégrer au développement de nos activités professionnelles, publiques ou personnelles.

Elle s'attache dans un premier temps à exposer ses principales caractéristiques ainsi que les apports des différentes technologies qui la composent.

Nous évoquerons ensuite les prérequis structurants qui vont influencer le calendrier de déploiement des réseaux 5G.

Alors nous pourrions étudier les premiers déploiements et envisager les options qui s'offrent aux opérateurs pour soutenir au mieux leur positionnement et se différencier.

Nous enchaînerons par une mise en perspective de la 5G avec les technologies qu'elle va venir concurrencer.

Puis nous entrerons dans l'espace des usages primaires, de connectivité, pour comprendre les premiers impacts de la 5G.

Nous ferons une synthèse des usages émergents qui préfigureront le passage à l'échelle de cette technologie.

Nous analyserons ensuite les différents verticaux qui anticipent un impact important de la 5G sur leur secteur.

Nous finirons par une proposition méthodologique de mise en œuvre.

Tout au long de cet ouvrage, je me livre à l'exercice délicat et risqué de la prospective en partageant les faits et hypothèses me conduisant à formuler des prévisions. N'hésitez pas à me solliciter pour les confirmer, les infléchir ou les contredire. Pour information, je ne détiens aucune participation dans les sociétés citées dans ce livre.

La 5G se présente comme une formidable opportunité pour les territoires, les opérateurs télécoms, les industries, de rebattre les cartes, de renforcer les positions existantes, d'en prendre éventuellement de nouvelles pour in fine se projeter pleinement dans la société de l'ultraconnectivité. Levons ensemble le voile pour comprendre ses arcanes et secrets qui en font déjà la technologie de la future décennie.

Chapitre

1

Ce qu'il faut
retenir de la 5G

Le présent chapitre étudie en premier lieu l'ambition de la 5G et dans quel contexte sociétal elle vient s'inscrire. Ensuite, sont expliqués, sans entrer dans les détails, les grands principes techniques qui font l'originalité de cette nouvelle génération. Il se conclut par une synthèse des bénéfices que l'on peut en espérer.

La 5G ou l'infrastructure du phygital

La 5G s'inscrit dans une promesse plus large d'un monde augmenté, où le physique et le numérique interagissent en temps réel, sans couture, et cela pour l'ensemble des activités des sphères publiques, privées et business.

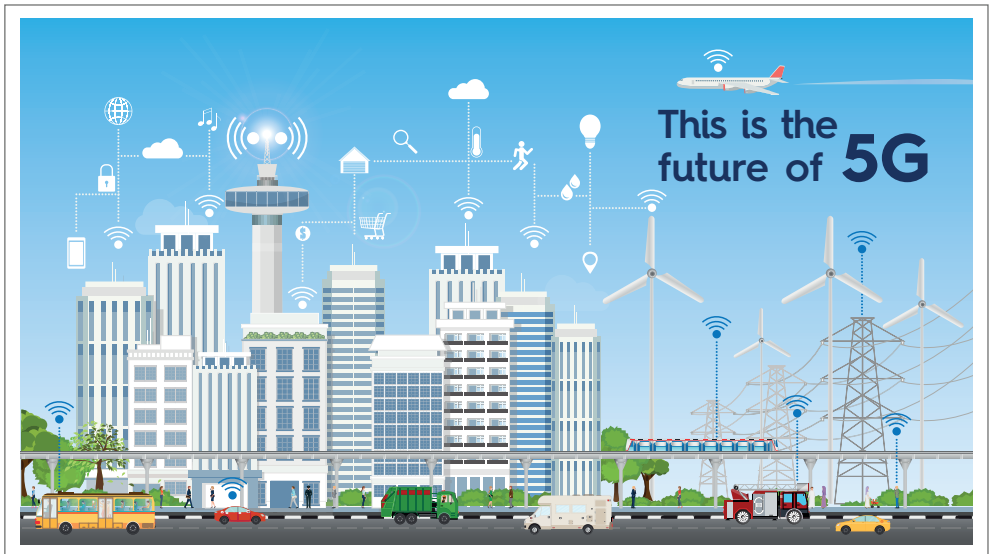


Fig. 2. This is the future of 5G - 5G-PPP.

L'on y trouve des milliards de capteurs collectant les données du monde physique qui, agrégées dans des centres de données, permettent à des algorithmes d'intelligences artificielles soit de nous conseiller, nous augmenter, soit d'alimenter des automates et robots avec dans l'idée que ces derniers prennent une place prépondérante dans nos vies. Et c'est l'émergence du cloud qui, en faisant baisser drastiquement le coût du calcul et du stockage, permet maintenant d'envisager l'utilisation des intelligences artificielles à un champ très élargi d'applications qui autrefois était réservé à quelques domaines aux enjeux financiers et/ou de sécurité très importants.

Encore faudrait-il que la connectivité numérique puisse être disponible en qualité, en mobilité dans le temps et dans l'espace. Ce qui est aujourd'hui loin d'être le cas. Pour ceux qui ont connu l'époque où il n'y avait pas de réseau mobile, ce dont nous disposons est déjà très bien. Néanmoins, la couverture reste parcellaire, les débits sont souvent insuffisants et les temps de réponse incertains. Si certains usages, ceux qui se sont développés ces trente dernières années, peuvent s'en accommoder, d'autres requérant une qualité de service maîtrisée, stable, continue, garantie, ne peuvent prendre leur essor

sans un changement drastique de la qualité de service proposée par les réseaux mobiles. Et c'est justement dans ce contexte que se positionne la 5G : d'être en mesure de garantir une connectivité adaptée aux usages pour lesquels on ne peut se contenter d'un service « au mieux » en « best effort ».

À noter que le très haut débit mobile n'est pas la seule technologie à devoir être mise en œuvre pour rendre possible cette vision. Elle doit d'une part être associée au très haut débit fixe qui, grâce à la fibre, maille le territoire pour véhiculer les données transitant par le réseau mobile. De l'autre, la mobilité qu'elle apporte ne peut être effective sans accumulateurs électriques permettant de s'éloigner un temps d'une source d'énergie. La 5G s'inscrit donc dans un continuum de progrès technologiques et se présente comme la dernière pièce d'un puzzle complexe composant le socle infrastructurel du numérique de la décennie à venir.

« Verticalisé » par conception

C'est un point majeur de cette nouvelle génération. Si les précédentes générations avaient pour ambition de satisfaire les besoins de communication des individus en service voix et données, la 5G a été conçue dès le départ dans l'idée de servir également les grands secteurs économiques de la société. Là où pour ses devancières, l'on déployait une nouvelle infrastructure et l'on découvrait ensuite quelles industries allaient en tirer bénéfice, l'association 3GPP, qui assure la normalisation de ce nouveau standard, a inclus, à propos, des fonctions techniques destinées à soutenir la digitalisation des verticaux.

La 5G Infrastructure Association, représentant le versant privé du 3GPP avec le soutien de la Communauté européenne, a identifié sept verticaux prioritaires :

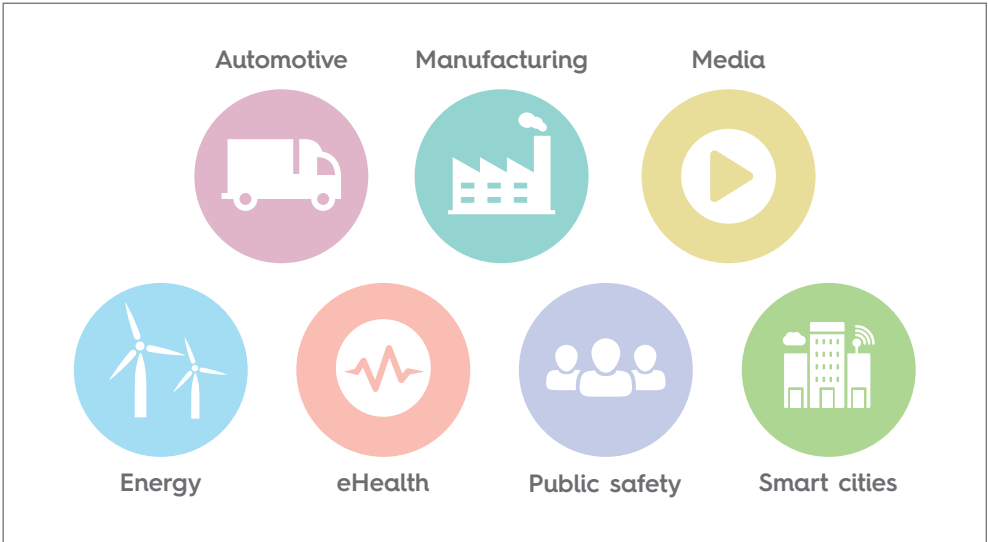


Fig. 3. Verticals - 5G-PPP⁴.

2. www.5g-ppp.eu/verticals

Pour sa part le GSMA, association regroupant les acteurs économiques de l'industrie des télécommunications mobiles, retient six verticaux :



Fig. 4. GSMA – Example of vertical industries enabled by 5G³.

Les pays également ont chacun choisi des verticaux différents :



Fig. 5. 5G deployments and roll-outs IDATE/Digiworld⁴.

Il n'y a en fait pas de liste formelle des secteurs et l'étude des normes elles-mêmes montre plutôt un support à des services de télécommunications dont les caractéristiques peuvent servir bien souvent plusieurs secteurs tels les communications critiques, entre machines, nécessaires aux objets connectés, aux véhicules, aux trains, à la réalité virtuelle...

En fait, l'originalité de la 5G tient au fait d'avoir ajouté le support des communications inter-machines, ouvrant la voie à l'ensemble des secteurs qui numérisent leurs modèles business et leurs opérations. C'est-à-dire l'ensemble des secteurs économiques, sans distinction.

Or les enjeux pour ces verticaux ne sont point les mêmes. Ici, on va privilégier le débit descendant; là, ce sera le maintien de la connectivité; là encore, un très grand nombre d'objets connectés. Et ce qui peut paraître surprenant en définitive, c'est comment adresser des besoins si éloignés avec une seule et même technologie. Lorsqu'une

3. The 5G Era – GSMA.

4. www.itsocial.fr/enjeux/strategie-enjeux-dsi/business/deploiement-de-5g-monde/

technologie se veut universelle, cela conduit souvent à servir individuellement chacun approximativement. Comme évoqué précédemment, chaque usage industriel requiert des caractéristiques spécifiques, stables et garanties de communication. Les exemples de «one-size-does-not-fit-all» sont malheureusement nombreux, toutes industries confondues.

Or un secteur économique ne peut se permettre de déployer une infrastructure par usage. Cela a déjà été essayé par le passé avec le GSM-R (2G spécifique aux opérateurs ferroviaires) et la Private Mobile Radio (PMR, également dérivée de la 2G). Dans les deux cas, le coût de ces solutions est resté extrêmement élevé et dans le cas particulier de la PMR, cantonnée à des usages où les enjeux de sécurité la rendaient indispensable. Ces deux technologies arrivent en fin de vie et la 5G justement se présente à point nommé pour couvrir ces besoins de communication fiable et sécurisée.

Voyons maintenant comment la 5G relève donc ce paradoxe.

Les performances de la 5G ou la quadrature du cercle

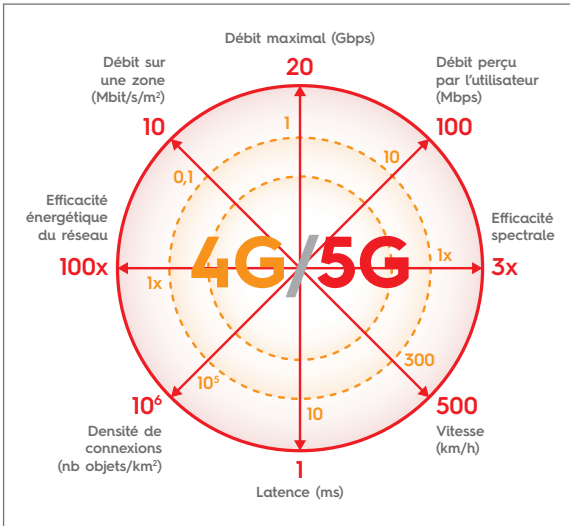


Fig. 6. Performances espérées de la 5G versus la 4G⁵.

Avant de les examiner un à un, il faut en premier lieu insister sur le fait que ces chiffres ne sont à ce jour que des objectifs. Bien évidemment, les constructeurs s'appuient sur des expérimentations en laboratoire, mais l'on ne sait pas encore ce dont nous bénéficierons réellement.

Ceci pouvant être en deçà et pourquoi pas au-delà. Les premières expérimentations et premiers déploiements sont d'ailleurs extrêmement prometteurs, mais comme nous le verrons un peu plus loin, la 5G est un ensemble de technologies dont les spécifications ont été décomposées en quatre grandes phases.



5. ARCEP, les enjeux de la 5G, mars 2017.

Voyons maintenant ce que l'on peut concrètement attendre de ces huit critères :

- **Débit maximal** : permet de quantifier le débit que le réseau pourra servir en un point donné au niveau des antennes déployées. La 5G devrait pouvoir le multiplier par vingt sous certaines conditions que nous détaillerons plus tard. Celui-ci est particulièrement important pour être en mesure de couvrir les zones très denses ou nécessitant le support de très gros débits. Par ailleurs la 5G, contrairement aux versions précédentes qui ont privilégié le trafic descendant, pourra supporter des débits montants importants essentiels à certains usages industriels.
- **Débit perçu par l'utilisateur** : devrait être multiplié par dix et permettra, dans des conditions nominales, de bénéficier de performances comparables à celles fournies par un réseau filaire. Évidemment, on reste dans un contexte de réseau mobile où le débit servi dépend d'une part de la couverture du réseau en un point donné et, de l'autre, des autres usagers situés dans cette même zone au même moment.
- **Efficacité spectrale** : correspond à la capacité à supporter un certain débit pour une même bande de fréquence. Eu égard à la croissance vertigineuse des usages (Ericsson prévoit une multiplication par quatre du trafic global de la donnée mobile entre 2020 et 2026⁶), disposer d'une nouvelle interface radio exploitant mieux encore les fréquences allouées permet aux opérateurs de servir les besoins sans multiplier nécessairement le nombre de sites radio.
- **Vitesse** : pour laquelle le réseau arrive à maintenir la connexion. On passe là de 300 km/h à 500 km/h. Qui peut le plus peut le moins. On peut donc s'attendre à un meilleur maintien des communications et de meilleurs débits dès que l'on est en mouvement, quelle que soit notre vitesse.
- **Latence** : correspond au temps de transit entre le terminal et le premier point de connexion avec le réseau mobile. Celle-ci va être réduite de 10 ms à 1 ms. Là encore, on s'approche de ce que l'on peut bénéficier avec un réseau fixe. Cette caractéristique est particulièrement importante pour tous les usages dits en « temps réel » pour lesquels chaque milliseconde est comptée. Nous verrons par la suite comment tirer avantage de cette avancée majeure qui, aussi attractive soit-elle, n'en sera pas moins difficile à mettre en œuvre.
- **Densité de connexions** : caractérise la capacité du réseau à supporter un très grand nombre d'objets connectés. Dans la vision d'un monde hyperconnecté où tout est numérisé, le support de jusqu'à un million de connexions au km² est essentiel aux smart cities et à l'industrie 4.0.
- **Efficacité énergétique du réseau** : fait référence à la consommation par connexions et par mégaoctets véhiculés, ceci avec un double enjeu. En premier lieu, pour les objets qui doivent fonctionner sur batterie et pour lesquels une faible consommation électrique se traduit par une plus longue longévité dudit objet. En second lieu, la consommation énergétique consacrée aux télécommunications explose. Selon un article publié par l'IEEE sur les communications à large bande, le secteur des télécommunications représente environ 4 % de la consommation mondiale d'électricité⁷. La consommation en électricité d'Orange représente 0,5 % de la consommation nationale française, soit 2,36 TWh (sur 473 TWh⁸). Et les réseaux mobiles comptent pour 70 % de la consommation électrique totale d'Orange (65 % pour Vodafone⁹). La 5G est supposée améliorer d'un facteur 100 l'efficacité énergétique des réseaux.

6. Ericsson Mobility Report, juin 2021.

7. "Energy Efficiency In The Telecommunications Network", David Schnaufer, RF Globalnet, 20 juillet 2016.

8. « Trois chiffres surprenants sur l'énergie absorbée par les télécoms », OI.NET, 27 décembre 2017.

9. "Why is 5G fuelling interest in renewable energy?", Diana Goovaerts, 14 janvier 2019.

- **Débit sur une zone** : traduit la capacité du réseau à servir de hauts débits à de multiples équipements sur une même zone. Cette caractéristique est essentielle à double titre : d'une part pour servir les usagers en zone dense comme les gares, aéroports, centres commerciaux, quartiers d'affaires; de l'autre pour les usages industriels où la densité d'objets connectés est importante. Le débit sur une zone devrait ainsi être augmenté d'un facteur 100 par rapport à la 4G.

À l'analyse des huit critères que nous venons juste d'étudier, deux choses peuvent surprendre. Tout d'abord, comment est-il possible d'avoir de tels écarts avec la génération précédente? Nous ne sommes plus dans l'incrémental, mais sur chaque critère dans la disruption. Ensuite, comment peut-on améliorer concomitamment plusieurs critères qui semblent a priori antinomiques? Comment peut-on par exemple augmenter le débit sans augmenter la dépense énergétique?

Comment les concepteurs de la 5G ont-ils réussi la gageure de développer une même technologie adressant des besoins aussi divers et opposés? En fait, la 5G a été conçue de telle sorte que l'on puisse, sur la même infrastructure, configurer de multiples services réseaux adressant chacun des besoins particuliers et donc avec des caractéristiques de communications spécifiques. Ainsi, chaque vertical pourra bénéficier ici d'une mobilité à très grande vitesse et là d'une faible latence.

Je propose maintenant de soulever le capot afin de comprendre comment la 5G défie, puisque l'on parle de réseaux radioélectriques, les lois mêmes de la physique¹⁰.

À chacun son réseau

Autant le dire immédiatement : il n'y a pas de magie dans la 5G et si l'on peut effectivement espérer pouvoir servir tout à la fois les besoins des transports, de la santé, de l'industrie ou encore de la sûreté publique ce ne sera pas en bénéficiant du potentiel maximal des huit critères que nous venons de détailler.

La pierre angulaire de la 5G se nomme le «network slicing» qui offre un mécanisme permettant de définir une enveloppe de performances, que nous nommerons «slice» dans la suite du document, en adéquation avec le besoin du secteur concerné¹¹.

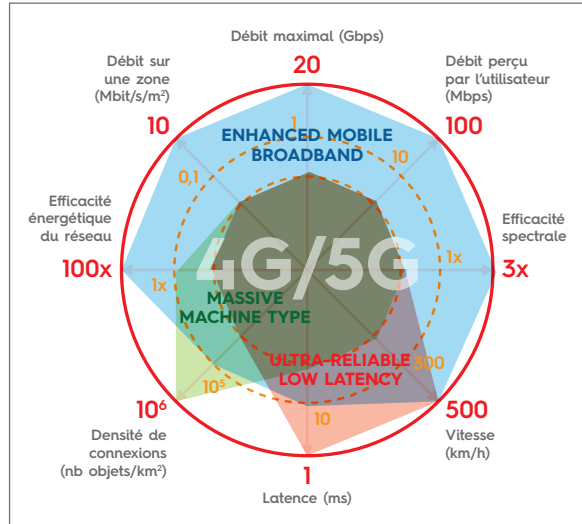


Fig. 7. Configuration des slices eMBB, URLLC et mMTC¹¹.

10. L'idée de ce chapitre n'est pas d'expliquer dans les détails la 5G, mais d'en comprendre les éléments structurants pour la suite du livre. Que les experts télécoms me pardonnent donc les raccourcis et simplifications inhérents à ce type d'exercice.

11. "Paving the way for 5G", Dr JunHwan Lee, 10 novembre 2016.

Les standards proposent trois slices génériques, eMBB, URLLC et mMTC comme suit :
Le slice «**enhanced Mobile BroadBand**» (eMBB) se positionne comme une 4G «très améliorée» avec en expérience des débits en pointe à 20 Gbits, 100 Mbits a minima et le maintien des communications à des vitesses très élevées.

Pour le slice «**massive Machine Type Communications**» (mMTC), il supporte pour sa part une très forte densité d'objets au kilomètre carré, de longues distances entre les objets et les antennes, et des bas débits permettant le fonctionnement d'objet sur batterie jusqu'à dix ans. Le troisième «**Ultra Reliable Low Latency Communications**» (URLLC), lui, adresse des usages où, pour des débits allant jusqu'à 10 Mbits, les délais de réponses doivent être extrêmement courts avec une disponibilité de 99,999 %¹².

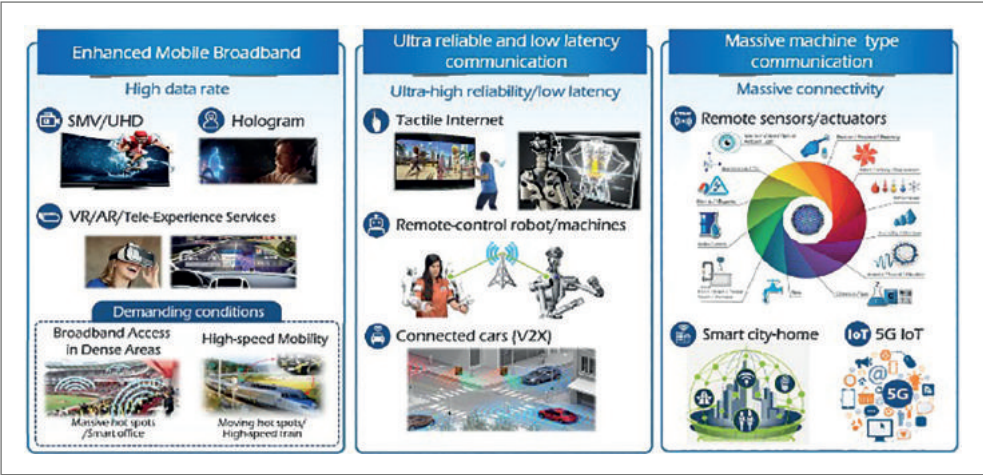


Fig. 8. Cas d'usage pour les slices eMBB, URLLC et mMTC¹³.

Ces trois slices ne seront pas nécessairement ceux qui seront commercialisés. Chacun représente un compromis entre les huit critères de performance sachant, rappelons-le au risque d'insister, qu'il n'est pas possible d'atteindre la valeur maximale sur l'ensemble d'entre eux. Mais rien n'empêche de définir une autre catégorie de service comme illustré ci-contre avec, là encore, trois profils «Ultra Density», «Moving Network» et «Mission Specific» :

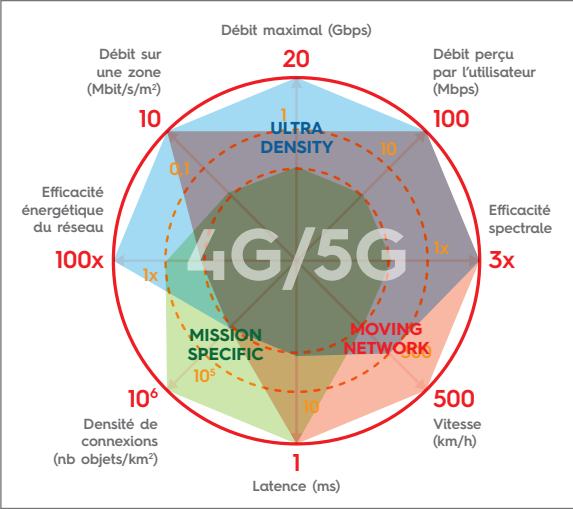


Fig. 9. Exemple de trois autres slices¹⁴.

12. Difference between 5G eMBB mMTC URLLC – RF Wireless World.

13. "Paving the way for 5G", Dr JunHwan Lee, 10 novembre 2016.

14. Dr. JunHwan Lee, op. cit.

Autre exemple, l'association 5G-PPP propose pour les cinq verticaux privilégiés par l'Union européenne des enveloppes spécifiques pour l'industrie du futur, l'automobile, l'énergie, la e-santé et les media-entertainment :

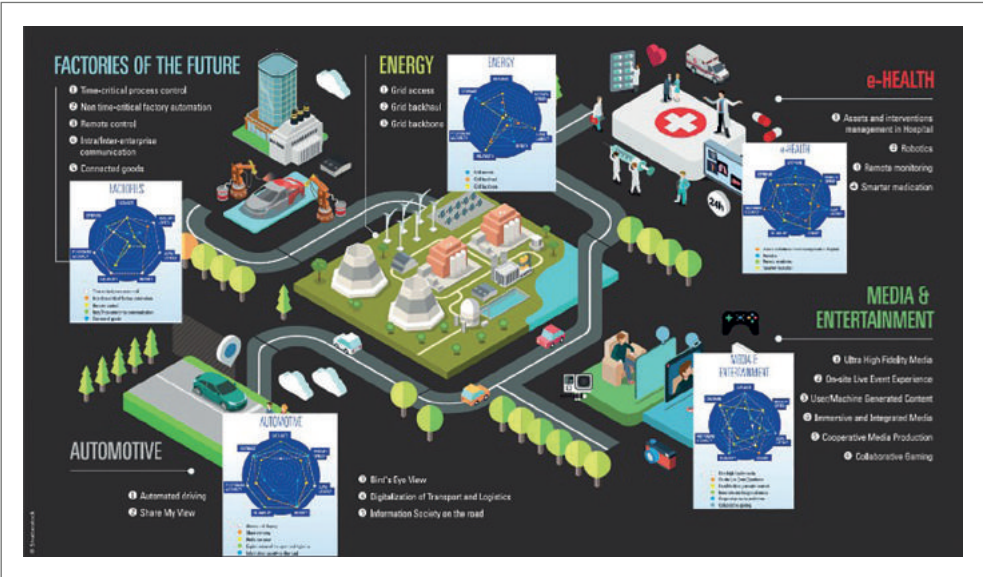


Fig. 10. Proposition de slices pour les verticaux du 5G-PPP¹⁵.

- Techniquement, définir un slice consiste à :
1. Réserver des ressources qui seront dédiées à un usage;
 2. Configurer ces ressources afin de privilégier les caractéristiques de communication convenant à l'usage destiné¹⁶.



Fig. 11. Proposition de slices pour 5 verticaux¹⁶.

15. 5G empowering vertical industries – 5G PPP.
16. "Network Slicing in Action", Lucia Quiles, 29 mars 2019.

Le Network Slicing est la clef de voûte de la 5G et permettra aux opérateurs de proposer différentes qualités de services adaptées aux usages, que ce soit à destination des humains ou des machines. Voyons maintenant les autres technologies introduites dans le cadre de la 5G.

Un nouveau protocole d'accès

Si la 5G va délivrer des performances exceptionnelles, ce n'est pas seulement grâce au Network Slicing, mais aussi grâce à une nouvelle interface radio permettant d'interconnecter mieux encore les terminaux au réseau. C'est d'ailleurs la principale raison qui justifie le changement de génération d'un standard de téléphonie mobile, requérant donc, pour en bénéficier, un changement de terminal.

L'élément disruptif de cette nouvelle interface est l'ajout du support des ondes dites millimétriques. Les bandes de fréquences utilisées pour véhiculer les données échangées sont des ressources rares dont l'attribution est réglementée dans chaque pays. L'Union internationale des télécommunications coordonne au niveau international l'attribution des bandes de fréquences. Cela garantit ainsi une cohérence entre les différentes zones géographiques afin que le même terminal puisse être utilisé en déplacement.

En France, c'est l'Agence nationale des fréquences radioélectriques (ANFR), établissement public administratif, qui gère le spectre radioélectrique. Et comme on peut le constater sur la frise ci-dessous, les fréquences sont des ressources rares compte tenu du très grand nombre d'usages (aéronautique, radiodiffusion, maritime, scientifique, fixe, radio amateur, radiolocalisation, météorologie, mobile, satellite) :



Fig. 12. Organisation du spectre des fréquences en France¹⁷.

Le déploiement d'une nouvelle génération ne peut s'effectuer sans attribution de nouvelles bandes de fréquences qui lui seront dédiées. On parle alors de fréquences sous licence par opposition aux fréquences en libre usage comme celles utilisées pour des protocoles tels le Wi-Fi, le Bluetooth, le ZigBee, ou encore le NFC, limités en puissance d'émission et donc en couverture.

Ces fréquences restent la propriété de l'État et les opérateurs ont un droit d'usage sur celles qui leur ont été affectées. Chaque pays dispose de son agence qui définit les règles de gestion en accord avec le Règlement des radiocommunications (RR) de l'Union internationale des télécommunications (UIT)¹⁸.

17. www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/ANFR/ANFR_Bande_Spectre_sept2018.pdf

18. Tableau national de répartition des bandes de fréquences, ANFR, 10 janvier 2019.

Dans le cas de la 5G, il a été prévu d'allouer trois gammes de fréquences :

- Les fréquences basses, entre 600 MHz et 1,4 GHz, qui ont pour avantage une meilleure propagation dans l'air donnant deux atouts majeurs : des distances couvertes plus grandes et une meilleure pénétration des ondes dans les bâtiments. Lors de l'attribution des fréquences 700 MHz, on parlait d'ailleurs de fréquences en or¹⁹.
- Les fréquences hautes, entre 3,4 GHz et 3,8 GHz, qui vont offrir des performances meilleures que la 4G avec cependant moins d'aptitude à couvrir le territoire ou l'intérieur des bâtiments²⁰.
- Les fréquences millimétriques, au-delà de 26 GHz, dont les principaux avantages sont la quantité de spectres disponibles et le support de débits en GHz. Elles ont néanmoins pour inconvénient de ne pas pouvoir traverser les solides (même une feuille de papier), obligeant donc l'émetteur et le récepteur à être presque en ligne de mire – en anglais «line of sight» – et les terminaux à disposer de plusieurs antennes afin d'éviter que la main ne bloque le signal.



Fig. 13. Positionnement des antennes millimétriques dans le terminal²¹.

Paradoxalement, ces fréquences étaient auparavant jugées impropres à être exploitées. On parlait de «junk spectrum²²». Pour servir les débits attendus en zone très dense, les opérateurs densifient leur réseau en multipliant le nombre d'antennes qui doivent alors émettre sur de faibles superficies afin de limiter les interférences avec les autres antennes adjacentes. C'est déjà vrai pour la 4G, comme le note une étude prospective sur la 5G²³ : «La densité du déploiement LTE²⁴ est un meilleur prédicteur d'une bonne performance (en particulier pour la gestion des pics de trafic) que le nombre de bandes de fréquences déployées²⁵».

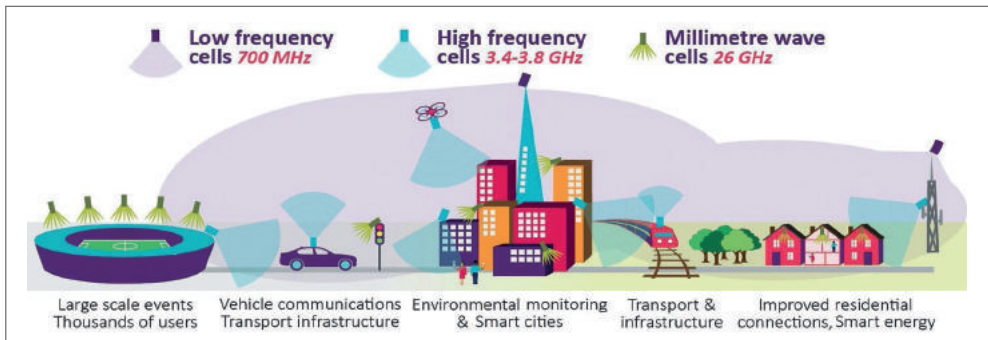


Fig. 14. Trois gammes de fréquences et l'introduction des bandes millimétriques²⁶.

19. « Les "fréquences en or" convoitées par tous les opérateurs de téléphonie mobile », *Le Monde*, 29 septembre 2015.

20. « La 5G est aussi une affaire de fréquences », *La Banque des territoires*, 14 mai 2019.

21. "What 5G wireless devices will do that 4G cannot", Scott Fulton III, 7 août 2018.

22. "AT&T, Verizon Perpetuate a 5G mmWave Mystery", Mike Dano, 3 mai 2019.

23. "Site density is key to LTE network performance – and critical for 5G", *Rewheel-Tutela*, 18 février 2019.

24. Long Term Evolution : l'une des normes 4G. La dénomination LTE est plus couramment utilisée aux USA.

25. A dense LTE grid is a stronger predictor of consistently good performance (particularly handling peak traffic loads) than number of spectrum bands deployed.

26. 5G Frequency Bands & Spectrum Allocations, OFCOM.

La 5G se projette avec des terminaux qui se connecteraient à l'ensemble des fréquences disponibles en un point donné. Si l'opérateur auquel ont été affectées des bandes de fréquence dispose d'antennes pour ces trois bandes de fréquence, alors le réseau pourra combiner leurs avantages respectifs. Ce mécanisme est appelé **agrégation de porteuse** ou « **carrier aggregation** » :

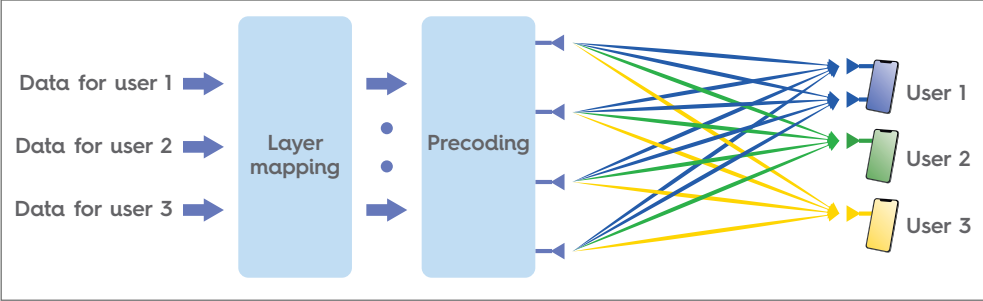


Fig. 15. Illustration d'agrégation de porteuse²⁷.

Celui-ci est déjà mis en œuvre avec la 3G et la 4G : on parle alors respectivement de 3G+ et 4G+, qui permettent d'augmenter notablement les débits. Le terminal dispose de plusieurs antennes, chacune d'entre elles établissant une communication. Dans le cas de la 5G, compte tenu de la difficulté à maintenir en mobilité une connexion sur des fréquences millimétriques, l'usage de ces dernières est plus facilement envisageable si elles sont combinées avec les fréquences hautes et basses. Ces deux dernières assurent la persistance de la connexion le temps de se reconnecter à la même ou une autre antenne millimétrique dans l'hypothèse non négligeable de perte de signal. Cette fonction contribue notamment à l'augmentation des débits de la 5G.

Et l'agrégation de porteuse sera d'autant plus intéressante qu'elle se combinera avec une autre fonction, le MIMO massif –en anglais «massive multiple input multiple output»–, qui consiste à déployer de nouveaux types d'antennes composées de centaines d'émetteurs-récepteurs :

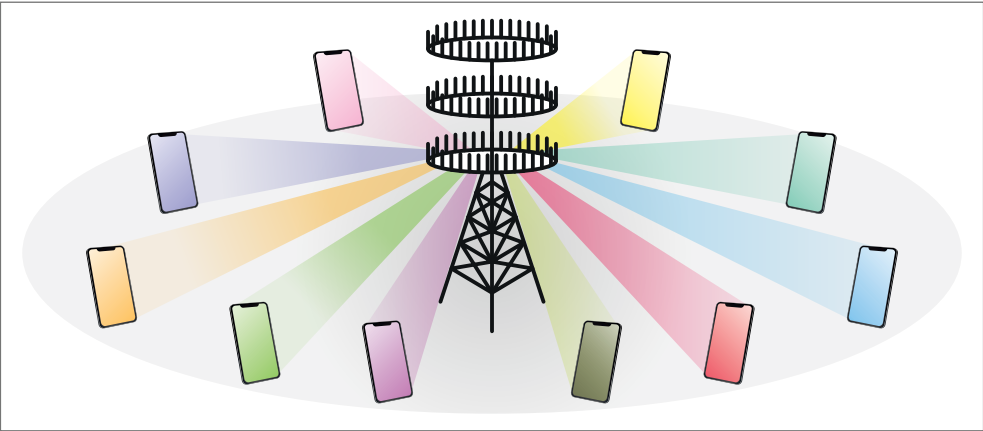


Fig. 16. Illustration de MIMO massif²⁸.

27. 5G MU MIMO - ShareTechNote.

28. Linköping University: CommSys : Radio Resource Management in Massive MIMO Communication Systems.

Bien que le MIMO soit déjà présent avec la 3G et 4G, son usage s'envisage avec la 5G avec des centaines d'antennes permettant de multiplier les connexions individuelles avec les terminaux :

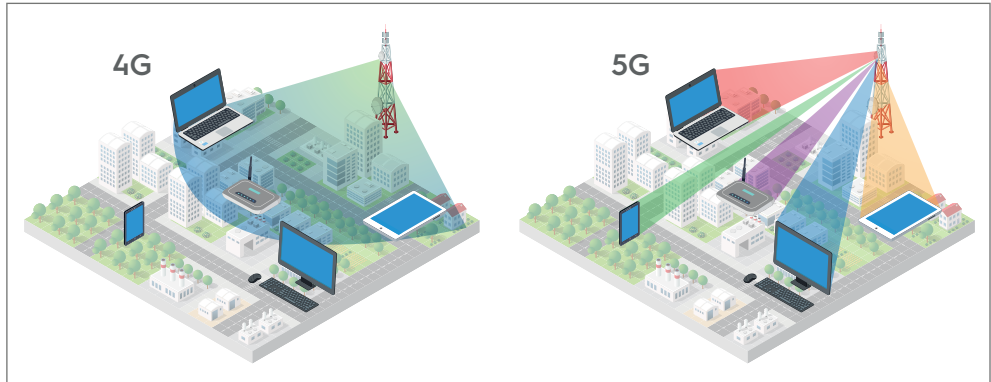


Fig. 17. MIMO massif – comparaison 4G-5G²⁹.

Pour ce faire, ces antennes utilisent un mécanisme de **formation de faisceaux**³⁰ – en anglais **beamforming** – qui permet d'optimiser l'efficacité spectrale et d'augmenter le nombre de connexions au kilomètre carré :

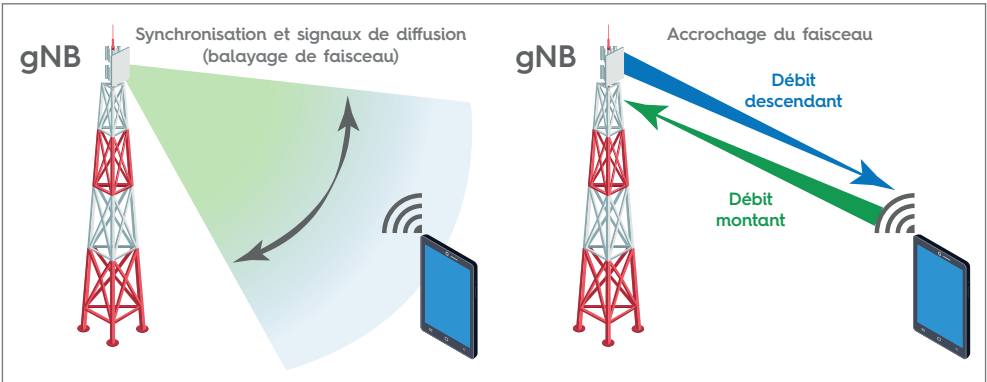


Fig. 18. Fonctionnement de la formation de faisceaux ou beamforming³¹.

Le signal est dirigé de part et d'autre et sa puissance adaptée à la distance entre l'équipement utilisateur (UE) et l'antenne (gNB).

La combinaison du massive MIMO et du beamforming permet d'augmenter significativement les débits délivrés au kilomètre carré :

29. Mitsubishi Electric's New Multibeam Multiplexing 5G Technology Achieves 20Gbps Throughput.

30. Le Beamforming, aussi appelé filtrage spatial, formation de faisceaux ou formation de voies (source Wikipedia).

31. Seven Things You Need to Know About 5G New Radio – Keysight Technologies.

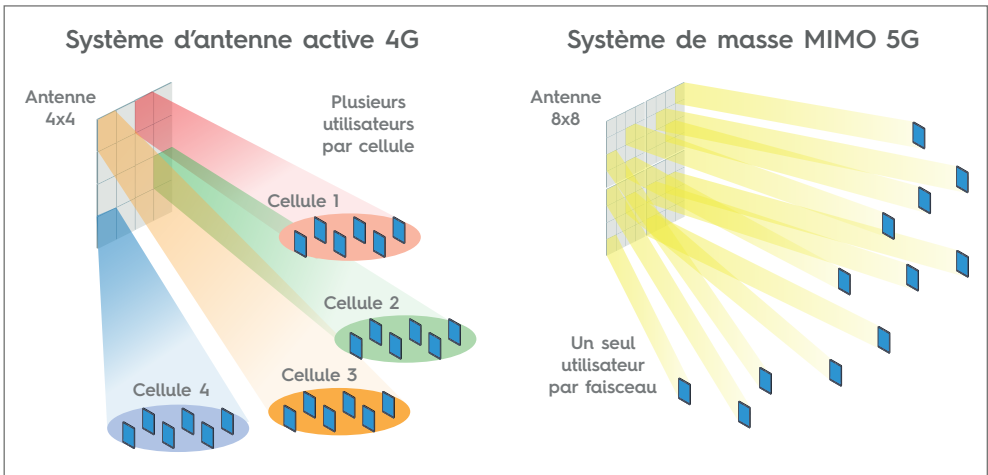


Fig. 19. Comparaison de fonctionnement MIMO en 4G et 5G³².

Au lieu que le signal d'une même antenne soit partagé avec plusieurs terminaux comme c'est le cas en 4G à gauche, chaque antenne ne communique qu'avec un seul terminal.

En fonction de la distance séparant l'antenne du terminal, mais également des caractéristiques choisies pour le slice, le signal est adapté. Cela permet selon les usages d'émettre par exemple un signal requérant une faible consommation électrique ou a contrario de supporter un important débit.



Fig. 20. Antennes massive MIMO.

Pour être complet, cette nouvelle interface radio utilise également de nouveaux mécanismes d'encodage et décodage de bas niveaux. Mettons l'accent sur deux d'entre eux :

- Le **Full Duplex**, qui consiste, contrairement aux versions précédentes, à partager la même porteuse pour le flux montant et descendant. Le pourcentage de bande passante allouée aux trafics montants et descendant n'est donc pas figé. Il peut s'adapter en temps réel aux besoins des usages et permettre ainsi à la 5G de supporter par exemple des débits montants élevés. À noter que la 5G supporte également le Time-Division Duplex et Frequency-Division Duplex pour faciliter la cohabitation avec la 4G³³.

32. "Realizing 5G New Radio massive MIMO systems", Paul Newson, Hemang Parekh et Harpinder Matharu, 8 janvier 2018.

33. "Difference 5G NR and 4G LTE", APIS.

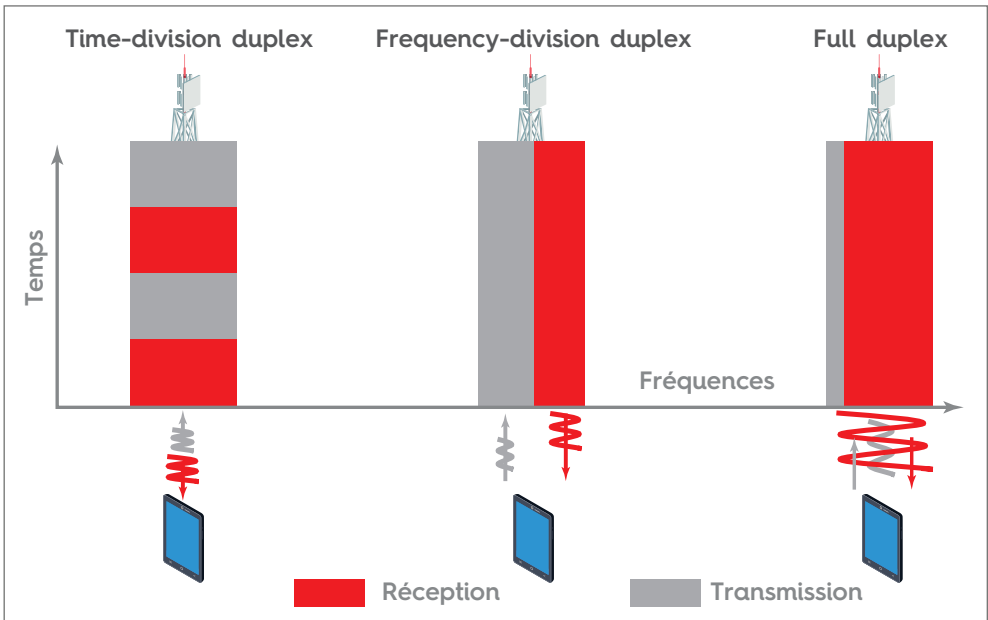


Fig. 21. Comparaison des techniques de duplexage³⁴.

- **L'encodage QAM256**, qui permet de véhiculer en même temps 8 bits, soit un octet, alors que la 4G utilise un encodeur QAM64. Cela représente un gain de bande passante de +33 %. Il faut noter que cet encodage a été également implémenté en 4G.

Cette nouvelle interface radio, dite «New Radio» (NR), comprend un bouquet de nouvelles technologies permettant à la 5G d'adresser les deux enjeux majeurs des télécommunications mobiles :

d'une part l'accroissement des usages en optimisant l'efficacité spectrale avec plus de trafic sur un même lieu pour une bande de fréquence donnée et d'autre part la capacité à supporter différentes qualités de service pour servir différents verticaux.

Mais la 5G n'est pas qu'une nouvelle interface radio. Étudions maintenant d'autres caractéristiques de cette nouvelle génération.

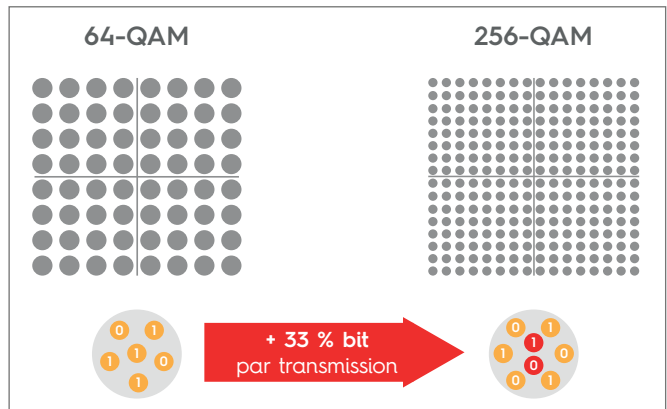


Fig. 22. Encodage QAM256³⁵.

34. "The biggest component on this full duplex Wi-Fi radio? The antenna", Columbia Engineering.

35. « Bouygues Telecom : de la 4G à 450 Mb/s et couverture densifiée », Vincent Sergère.

Programmable par conception

Si la 5G permet de définir autant de slices que de classes d'usage voire d'usages selon certains opérateurs, encore faut-il que les infrastructures de télécommunication qui seront déployées puissent être aisément configurées.

À cet effet, la 5G va faire un usage extensif du Software Defined Network (SDN) et du Network Function Virtualization (NFV), deux technologies qui, associées (on parle alors de SDN/NFV), permettent de déployer et administrer des infrastructures télécoms comme des applications distribuées sur de multiples data centers.

L'idée directrice du SDN est double, comme l'illustre le schéma ci-dessous :

- Ne plus configurer équipement par équipement les réseaux, mais disposer d'un logiciel permettant à partir d'un ensemble de services désirés de configurer l'ensemble des équipements concernés de manière adéquate;
- Centraliser l'intelligence du réseau dans un contrôleur afin de simplifier les équipements déployés en les déchargeant des fonctions « intelligentes » historiquement distribuées et répliquées sur chacun d'eux.

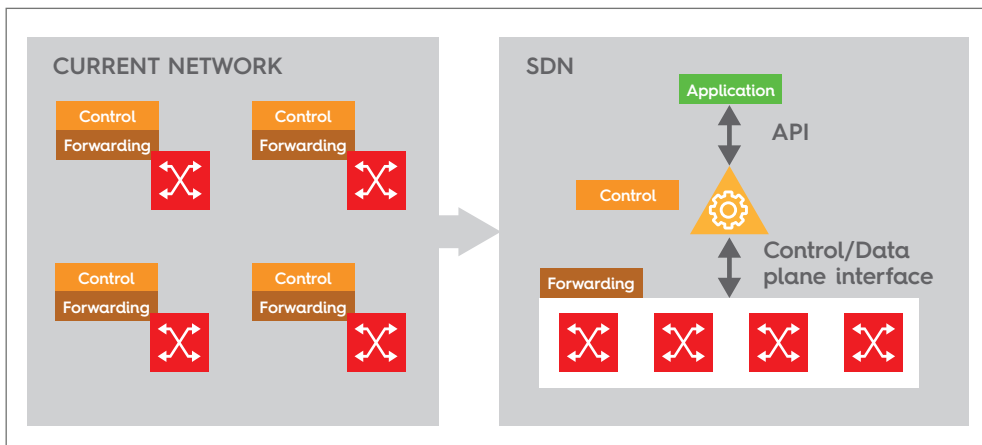


Fig. 23. Faciliter la configuration réseau, telle est l'ambition du SDN³⁶.

Le SDN présente trois principaux avantages :

- Faciliter les demandes d'évolution du réseau en exposant une vision «intention» des services, le contrôleur SDN se chargeant de calculer les changements à opérer pour les mettre en œuvre;
- Garantir la bonne application des règles d'ingénierie retenues par l'opérateur;
- Faciliter la mise à jour du logiciel du réseau, puisque centralisée dans le contrôleur.

Le NFV pour sa part consiste à déployer sur chacun des nœuds du réseau des data centers, comme indiqué dans le schéma ci-après. Ces data centers hébergent les fonctions réseaux nécessaires à chaque point d'interconnexion sous la forme de machines virtuelles (ou conteneurs). Historiquement, ces mêmes fonctions réseaux étaient portées par des composants hardware (ASIC) distribués sur une multitude d'équipements spécialisés³⁷.

36. Source : OpenDayLight.

37. Application-Specific Integrated Circuit.

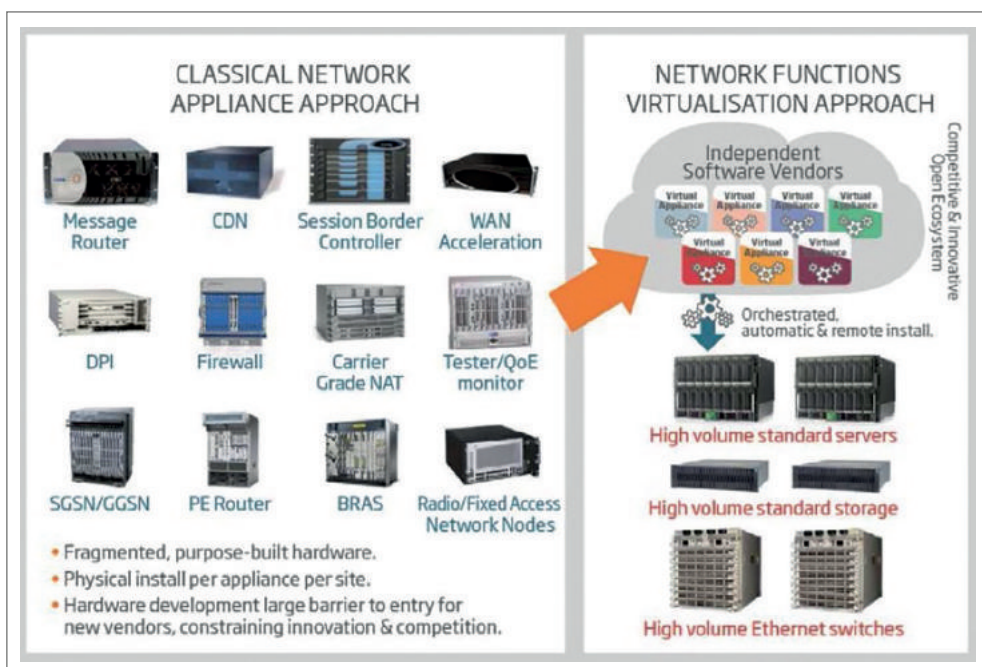


Fig. 24. Le NFV propose de nouveaux standards pour la réalisation d'infrastructures réseaux³⁸.

Le SDN/NFV est d'ores et déjà mis en œuvre par les opérateurs sur de nombreuses sous-parties du réseau (cœur, transport, réseau d'accès), mais c'est bien la première fois que l'on considère son déploiement sur l'ensemble d'un réseau (ou presque).

S'ensuivent de très nombreux avantages pour les opérateurs tant sur les CAPEX³⁹, les OPEX⁴⁰, le TTM⁴¹ et le TTD⁴². Pour plus de détails, vous pouvez vous référer à mon précédent ouvrage dédié au SDN/NFV⁴³.

Le Network Slicing, qui requiert la capacité de dédier et configurer les ressources réseaux sur l'ensemble de ses strates, ne peut s'envisager aisément sans l'apport du SDN/NFV. Et comme parfois un avantage peut en cacher un autre, le SDN/NFV est également un « enabler » pour une fonction majeure de la 5G : le Edge Computing que nous allons aborder maintenant.

38. <https://www.etsi.org/committee/nfv>.

39. Capital Expenditure : immobilisation enregistrée au bilan ouvrant droit à l'amortissement.

40. Operational Expenditure : dépense courante comptabilisée au résultat comme une charge.

41. Time To Market : pour un opérateur c'est le temps requis pour lancer ou modifier une offre.

42. Time To Deliver : pour un opérateur c'est le temps pour activer un service vendu.

43. SDN/NFV - Un accélérateur de la stratégie digitale pour les opérateurs télécoms, Charles Praud, 2017.

Le cloud à proximité

Comme nous l'avons évoqué plus tôt, la 5G ambitionne de se distinguer de ses devancières par sa capacité à bien mieux supporter les communications «machine to machine» et ainsi soutenir la numérisation des verticaux. Or cette numérisation ne se projette pas aujourd'hui sans Cloud Computing permettant d'utiliser des ressources de calcul et de stockage ou applicatives à distance par l'intermédiaire d'un réseau qui s'appuie généralement sur le protocole Internet. Les modalités de consommation de ces ressources sont variées : si ce sont des applications, l'on parle de SaaS pour Software as a Service; si ce sont des machines non administrées, l'on parle de IaaS pour Infrastructure as a Service; si ce sont des middlewares administrés, l'on parle de PaaS pour Platform as a Service; et si ce sont des environnements basés sur des technologies de conteneurisation (ex. : Docker), l'on parle de CaaS pour Container as a Service.

Quels que soient les modèles retenus, et qui peuvent d'ailleurs être combinés, certaines applications ne peuvent aujourd'hui être transférées dans le cloud en raison des contraintes de temps de latence. Sur le diagramme ci-dessous, l'accès d'un dispositif de communication (Customer Devices) à une ressource informatique située dans les locaux de l'entreprise (Customer Premises) est inférieur à 5 ms. Si ce même dispositif accède à cette même ressource, mais localisée dans un cloud public, ce temps d'accès sera au mieux de 11 ms, mais pourra aller jusqu'à 170 ms⁴⁴.

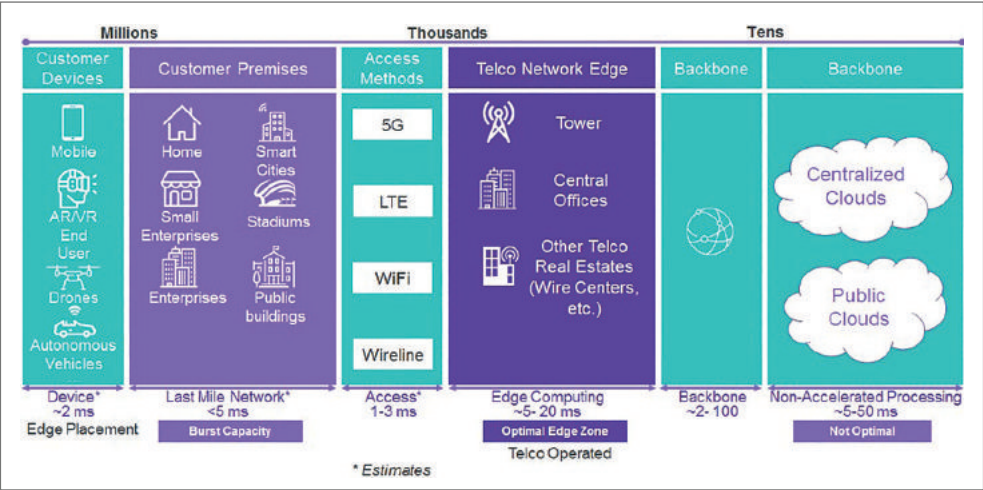


Fig. 25. Les temps de latence entre un dispositif communicant et un cloud public selon la localisation⁴⁵.

À titre d'exemple, la latence d'une connexion directe Equinix et AWS est de l'ordre de 16 ms⁴⁶. Or de nombreux usages industriels ont besoin a minima de temps de réponse très courts et surtout prédictifs. Si ceux-ci sont circonscrits aux locaux de l'entreprise, celle-ci peut conserver localement une partie de ses ressources IT en «on-premises»,

44. Dans le cas d'un accès standard via Internet.

45. Network Edge - Optimal Zone for Edge Placement - Akraio Edge Stack.

46. www.reddit.com/r/aws/comments/95zraq/what_kind_of_latencyping_times_do_you_get_over/

ne délocalisant que celles qui supportent des usages moins contraints par les temps de réponse en «public cloud»; on parle alors de cloud hybride. Si ceux-ci s'opèrent à l'extérieur des locaux, la seule solution est de transporter la capacité de calcul et de stockage au plus près de l'usage. C'est ce que l'on fait avec un ordinateur portable ou une unité centrale embarquée par exemple dans un véhicule.

La 5G inclut dans sa standardisation une fonction de «Multi-Access Edge Computing» (MEC), appelée précédemment «Mobile Edge Computing», qui permet de positionner des ressources IT à la périphérie du réseau, soit aux stations de base (les antennes), soit dans les autres nœuds du réseau, là où justement on a déjà déployé des équipements SDN/NFV. La communauté 5G a conservé l'acronyme MEC.

L'infrastructure MEC sera en premier lieu utilisée par les opérateurs pour distribuer les fonctions réseaux au plus près des usages; celle-ci contribuera ainsi à l'amélioration des performances délivrées par la 5G.

Mais elle pourra également s'inscrire dans le paysage du Cloud Computing sur un segment à haute valeur ajoutée pour lequel les temps de réponse sont déterminants. Avec deux cas distincts :

- **Fixe** : permettant de transférer les ressources IT «on premises» dans le MEC;
- **Mobile** : permettant de localiser les algorithmes et la data nécessaire au plus proche de l'utilisateur dans le MEC.

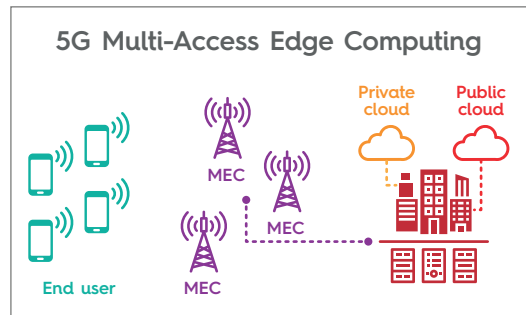


Fig. 26. Positionnement des ressources cloud à la périphérie du réseau⁴⁷.

Ce n'est pas par hasard que le Mobile Edge Computing est devenu Multi-Access Edge Computing puisque la 5G se destine à devenir le réseau fédérateur de tous les réseaux d'accès.

Compte tenu de l'explosion du volume des données générées, le MEC permet également de traiter et d'agréger une partie des données localement. Dans cette architecture IT, seule une partie marginale des données est alors stockée dans un public cloud éloigné. Comme le soulignait le CEO de Microsoft, Satya Nadella, le 8 octobre 2019, «les données doivent absolument être traitées en périphérie du réseau directement où elles sont générées» et «tout cela est guidé par le nouveau paradigme technologique que nous décrivons comme le Edge Computing⁴⁸».

Pour Verizon, le MEC participera aux offres de services de l'opérateur : «We see very much the opportunity of using the size and scale of the network and the intelligence within the network to serve all of the segments, all of the addressable parts of the market⁴⁹». Par segments, il faut entendre verticaux autres que les télécoms.

47. "Why Distributed Edge Computing Infrastructure is Key to 5G", Lanner, 8 juillet 2019.

48. « Le PDG de Microsoft dit que l'avenir de l'informatique se trouve dans le Edge Computing », Valentin Cimino, 9 octobre 2019

49. www.sdxcentral.com/articles/news/not-all-5g-is-created-equal-verizon-exec-says/2019/08/?utm_source=SDxCentral.com&utm_medium=Email&utm_campaign=392508798e-Daily_Newsletter_2019_08_7&utm_medium=email&utm_term=0_c2b6e504a2-392508798e-81828777

En fédératrice des réseaux

À partir du moment où l'ambition de la 5G est de devenir l'accès par défaut de tout dispositif devant se connecter au réseau, elle doit créer les conditions nécessaires permettant de se mailler aux infrastructures existantes. Cette fonction a pour nom **HetNet** pour «Heterogeneous Network», réseau hétérogène :

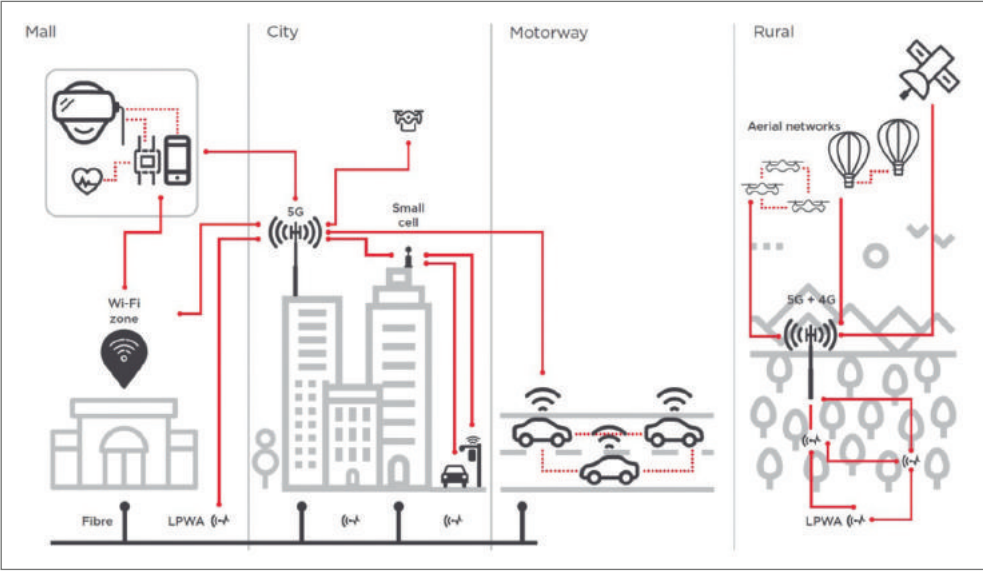


Fig. 27. 5G as the centre of a heterogeneous network environment – GSMA⁵⁰.

Dans la vision ci-dessus l'on retrouve les différents réseaux d'accès en usage : le Wi-Fi, les réseaux basse consommation pour IoT (LPWA⁵¹), mais également de la 4G, des liaisons satellitaires ou encore des communications de véhicules à véhicules. La 5G se présente ainsi comme une passerelle permettant de bénéficier de l'ensemble des infrastructures existantes.

Concrètement cela signifie que les terminaux, véhicules et objets bénéficient en 5G d'un double avantage : en premier lieu d'une connectivité fluide d'un réseau à l'autre; en second lieu d'un débit

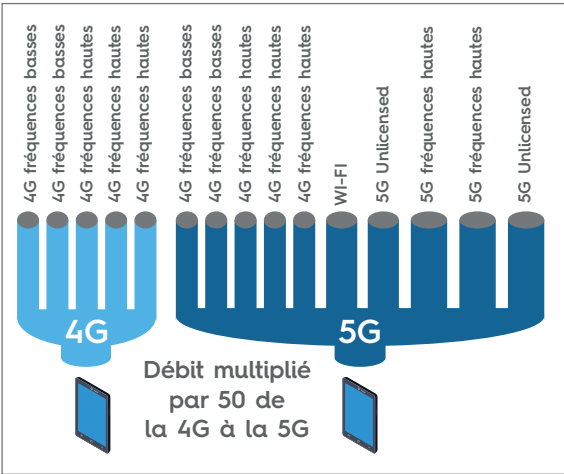


Fig. 28. 5G – Licensed and Unlicensed Carrier aggregation – ARM.

50. The 5G Era – GSMA.

51. Low-Power Wide-Area.

supérieur par la capacité d'agréger en parallèle plusieurs canaux de communication mixant fréquences exclusives et libres comme illustré en figure 28.

Ainsi, l'utilisateur ne se souciera plus de savoir sur quels réseaux il doit se connecter et pourra bénéficier de tous les réseaux et ressources disponibles en un point donné⁵².

Dans ce contexte, la 5G intègre la capacité à étendre sa couverture au moyen de réseaux non terrestres – en anglais **Non-Terrestrial Networks (NTN)** – qui désignent les réseaux, ou segments de réseaux, utilisant un véhicule aéroporté ou spatial pour la transmission :

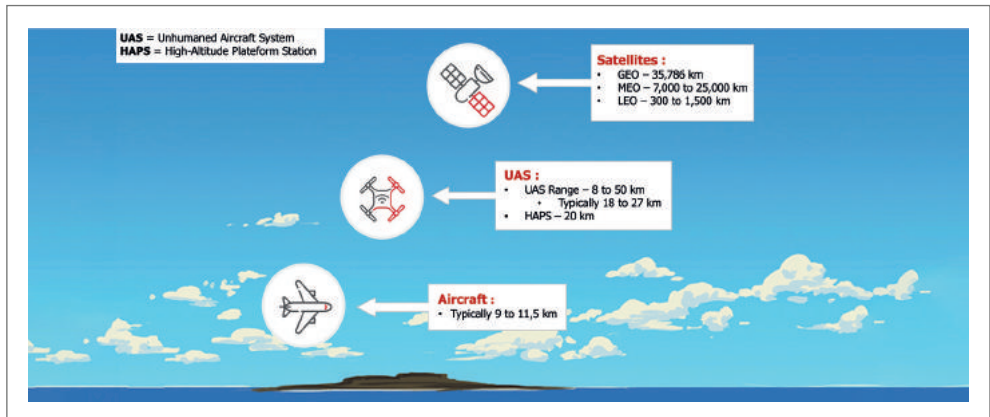


Fig. 29. Exemples de véhicules aéroportés ou spatiaux utilisés pour des réseaux non terrestres⁵³.

Ces réseaux non terrestres doivent permettre⁵⁴ :

- De renforcer le déploiement du service 5G dans les zones non desservies ou mal desservies afin d'améliorer les performances des réseaux terrestres;
- Renforcer la fiabilité du service en assurant sa continuité pour les équipements des utilisateurs ou pour les plateformes mobiles (par exemple, véhicules de transport de passagers – avions, navires, trains à grande vitesse, autobus);
- D'augmenter la disponibilité des services partout, en particulier pour les communications critiques, les futures communications ferroviaires/maritimes/aéronautiques;
- De permettre l'évolutivité du réseau 5G grâce à la mise à disposition de ressources de multidiffusion/diffusion efficaces pour la transmission des données vers les bords du réseau ou même directement vers l'équipement de l'utilisateur.

De façon similaire, la 5G comprend également des fonctionnalités spécifiques au monde du rail. Historiquement les opérateurs ferroviaires ont déployé des infrastructures de communications basées sur la 2G conforme au standard GSM-R ou en 4G avec la norme 4G-R. La 5G inclut un volet nommé «**Mobile Communication System for Railways**» qui reprend les exigences du GSM-R en y ajoutant la capacité à véhiculer également des volumes importants de données.

52. « La 5G et le Wi-Fi sont-ils les meilleurs ennemis ? », Charles Praud, 29 mai 2019.

53. "Beginners: Non Terrestrial Networks (NTN)", 3G 4G, 4 août 2019.

54. "Satellite components for the 5G system", Nicolas Chuberre and Cyril Michel, 4 janvier 2018.



Fig. 30. Train Siemens Velaro⁵⁵.

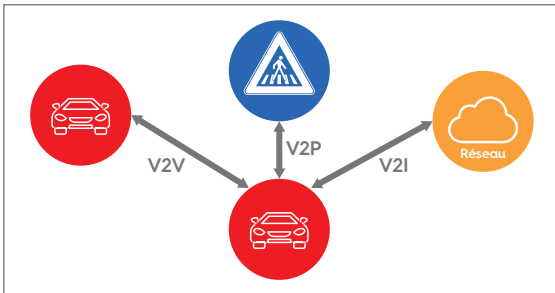


Fig. 31. La 5G V2X en approche globale de la mobilité⁵⁶.

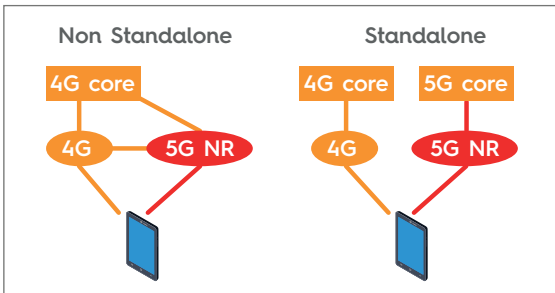


Fig. 32. Les deux principaux modes de cohabitation 4G-5G⁵⁷.

de couvrir les usages ciblés pour «enhanced Mobile BroadBand» évoqué un peu plus tôt. Et le scénario dit «standalone» pour lequel la 5G cohabitera au côté de la 4G et ouvrira l'accès aux usages «Ultra-Reliable and Low Latency Communications».

Afin de faciliter la migration progressive des systèmes de communication existants, le nouveau système de communication mobile pour les chemins de fer intègre des exigences d'interfonctionnement avec entre autres le GSM-R.

Il en est de même pour le vertical Automotive, où les acteurs de la 5G comptent bien se positionner au cœur des véhicules autonomes du futur. L'originalité de son positionnement consiste en son approche globale de la mobilité.

La 5G V2X a l'ambition de supporter les besoins en communications entre le véhicule et l'infrastructure (par exemple un feu tricolore), le véhicule avec le cloud pour tirer avantage de données collectées et consolidées permettant d'améliorer la prise de décision du conducteur ou des intelligences artificielles, les piétons ou cyclistes partageant le même espace ou encore les communications entre véhicules eux-mêmes.

Pour clôturer cette section, la 5G supporte également plusieurs scénarios de cohabitation avec la 4G pour laquelle, rappelons-le, le déploiement n'est pas encore terminé sur de nombreux territoires.

Citons les deux principaux, illustrés ci-contre. Le scénario 5G dit «non standalone», pour lequel une nouvelle interface radio est déployée, mais interconnectée à un cœur de réseau 4G, permet

55. Siemens Velaro - Wikipedia.

56. Protocol V2X - Wikipedia.

57. 5G Usage Scenarios in Non-Standalone (NSA) and Standalone (SA) Operation, 17 juillet 2018.

Tous les objets connectés

Si les usages «enhanced Mobile BroadBand» (eMBB) sont à destination première des humains, ceux adressés par le «massive Machine Type Communications» (mMTC) et l'«Ultra Reliable Low Latency Communications» (URLLC) le sont très clairement pour des machines ou des objets connectés. Avec ces deux profils, la 5G a pour ambition de couvrir tous les objets possibles, avec d'un côté ceux qui sont déployés massivement et nécessitent donc un très faible coût unitaire tant à l'investissement (CAPEX) qu'en termes de coût d'exploitation (OPEX), et de l'autre ceux qui, avec une moindre densité, embarquent des capacités de traitement en proximité :

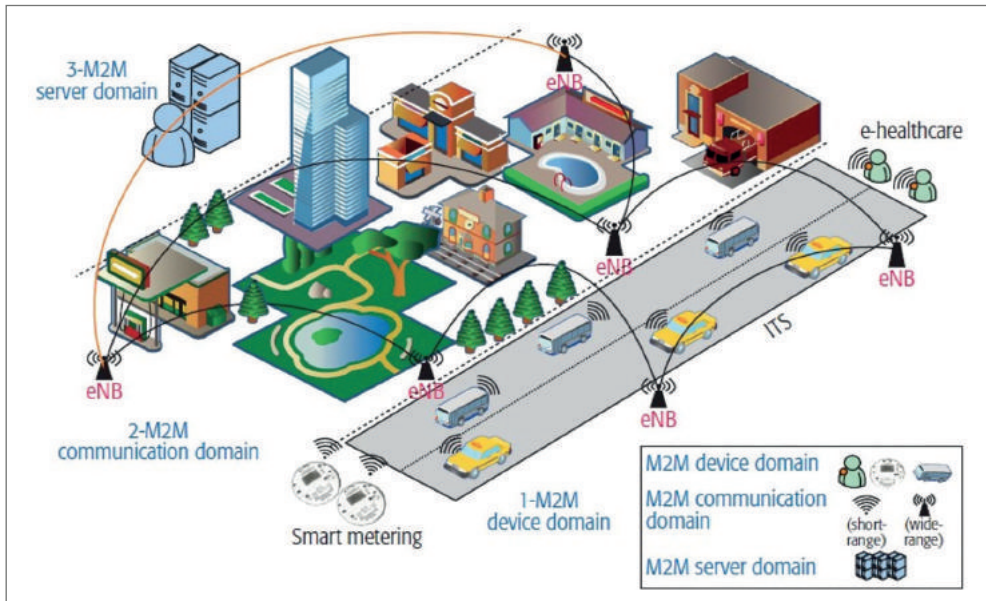


Fig. 33. Illustration de cohabitation d'usages mMTC et URLLC⁵⁸.

Mais aussi...

La 5G inclut de nombreuses améliorations incrémentales par rapport aux versions précédentes que nous n'évoquerons pas ici exhaustivement car elles n'ont pas toutes de plus-values significatives pour les futurs usages. Arrêtons-nous néanmoins sur quatre points particuliers que sont la 5G privée, le partage de fréquence, la sécurité et la santé. Les deux derniers points reprennent l'essentiel des arguments développés dans le livre blanc de l'Idate/Digiworld « La 5G, levier de la transformation numérique - Une priorité pour la France » dont je suis l'un des contributeurs.

La 5G privée

Le propos principal de la 5G est bien de proposer un protocole permettant aux opérateurs d'offrir des services de connectivité publics et donc mutualisés. Néanmoins, cette version a intégré dès sa conception l'option d'être déployée en réseau privé dédié

58. "Massive Machine Type Communication in 5G and beyond network", Subin Narayanan, 9 septembre 2018.

à des entreprises ou des organisations publiques. Dans ce positionnement, la 5G vient concurrencer toutes les technologies réseaux utilisées en privé (Wi-Fi, Ethernet...). La « Private 5G » consiste à déployer ses propres antennes soit en indoor soit en outdoor. Les capacités de la 5G privée à combiner très haut débit, connectivité sécurisée, et très faible latence, permettent de répondre aux exigences des industriels pour lesquels le réseau porte des services numériques à forts enjeux. À noter qu'il existe aussi de la 4G privée (Private LTE) mais dont la couverture fonctionnelle ne permet pas de la positionner facilement vis-à-vis du Wi-Fi.

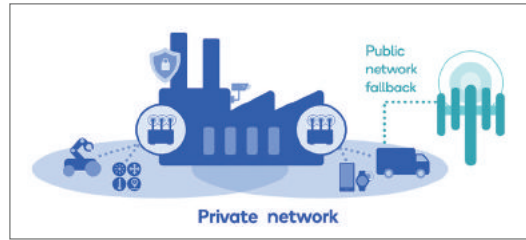


Fig. 34. Private 5G.

Le partage de fréquence

Les constructeurs d'infrastructure ont ajouté à la 5G la capacité de partager dynamiquement certaines fréquences avec la 4G. Le Dynamic Spectrum Sharing (DSS) permet à partir d'une même antenne de supporter des communications à la fois avec des terminaux 4G et 5G. Ceci permet aux opérateurs de surmonter deux difficultés : d'une part de proposer rapidement une large couverture 5G aux usagers puisque les antennes 4G sont déjà déployées et peuvent être mises à jour pour supporter à la fois les deux protocoles; de l'autre d'accompagner le renouvellement progressif des terminaux en optimisant l'usage des fréquences.

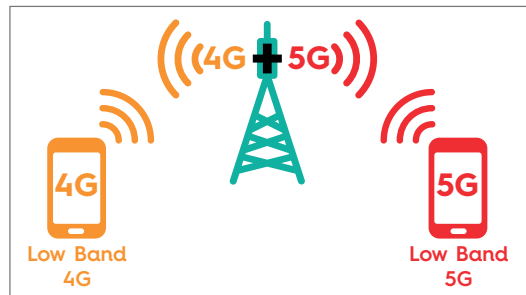


Fig. 35. DSS : Dynamic Spectrum Sharing.

Évidemment, le DSS a une contrepartie sur l'efficacité spectrale entraînant pour la 4G et la 5G une baisse de performance. En France, Free utilise le DSS pour couvrir 7700 communes en 5G dès le 15 décembre 2020 à partir des sites 700 MHz offrant déjà de la 4G⁵⁹. L'étude de connectivité publiée en avril 2021 montre d'ailleurs que le débit moyen descendant est de 28,1 Mb/s en 5G pour 30 Mb/s en 4G⁶⁰. D'un point de vue marketing, cette fonction permet de faire patienter la clientèle qui, ayant acquis un terminal dernier cri, désespère de voir apparaître le logo 5G.

La 5G et la sécurité

D'une part, on prévoit un très grand nombre d'objets qui y seront connectés (plus de 5 milliards d'objets dès 2022⁶¹), augmentant par effet d'échelle la surface potentielle d'attaque. D'autre part, la 5G étant tout IP, le réseau sera exposé à toutes les techniques d'attaque, malheureusement nombreuses, en usage sur IP et illustrées figure 36. Et cela dans un contexte où les usages industriels et publics s'envisagent avec des exigences

59. www.01net.com/actualites/l-astuce-de-free-mobile-pour-doper-la-couverture-de-son-reseau-5g-2019225.html.

60. Baromètre 5G_Mobile_France_QoS_1005 (5gmark.com).

61. World IoT Markets, Technologies & Market forecasts up to 2022 - IDATE.

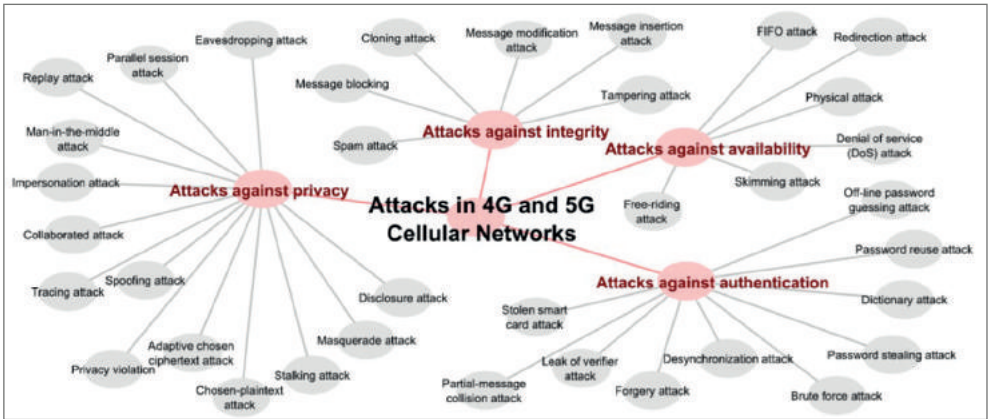


Fig. 36. Classification des attaques sur les réseaux 4G et 5G⁶².

de sécurité très élevées puisque les terminaux et objets seront intégrés verticalement avec la chaîne applicative soutenant le service. Pour répondre à ce triple enjeu, la 5G comprend de nouveaux mécanismes améliorant notablement la sécurité par rapport à la 4G tels que⁶³ : « Access agnostic primary authentication with home control, security key establishment and management, security for mobility, service based architecture security, inter-network security, privacy and security for services provided over 5G with secondary authentication⁶⁴ ». Nokia les synthétise tel que présenté ci-dessous.

Par ailleurs, le mécanisme de slicing permet d'isoler les ressources dédiées à une famille d'usages et de cloisonner les accès permettant à chaque slice d'introduire éventuellement des mécanismes plus forts encore de sécurisation. À noter que la sécurité apportée par la 4G est déjà souvent bien meilleure que celle fournie par le Wi-Fi⁶⁵.

Enfin, la Commission européenne a imposé un agenda opérationnel aux pays membres, dessinant

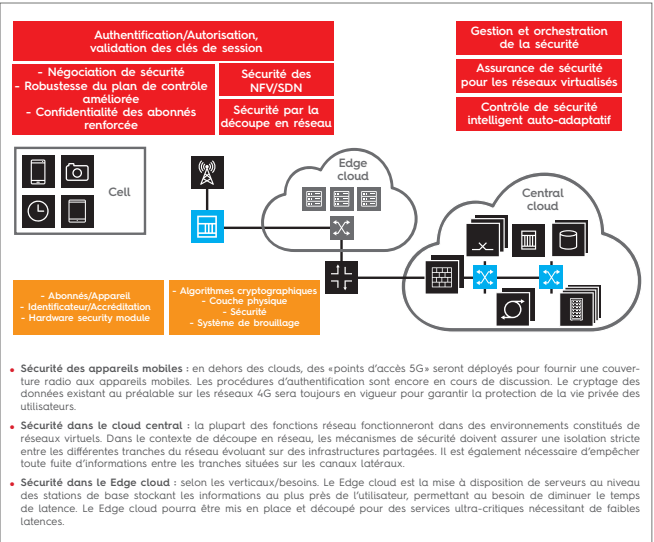


Fig. 37. Éléments d'architectures du futur réseau 5G⁶⁶.

62. "Security for 4G and 5G Cellular Networks: A Survey of Existing Authentication and Privacy-preserving Schemes", *Journal of Network and Computer Applications*, novembre 2017.
 63. Je n'ai volontairement pas traduit le texte original car quels que soient les pays, les termes anglais sont utilisés.
 64. 3GPP 5G Security, 30 mars 2018, Anand R. Prasad, Sivabalan Arumugam, Sheeba B and Alf Zugenmaier.
 65. The Security of Cellular Connections, *The NewYork Times*, J. D. Biersdorfer, 10 août 2018.
 66. "Security for 4G and 5G Cellular Networks: A Survey of Existing Authentication and Privacy-preserving Schemes", *Journal of Network and Computer Applications*, novembre 2017.

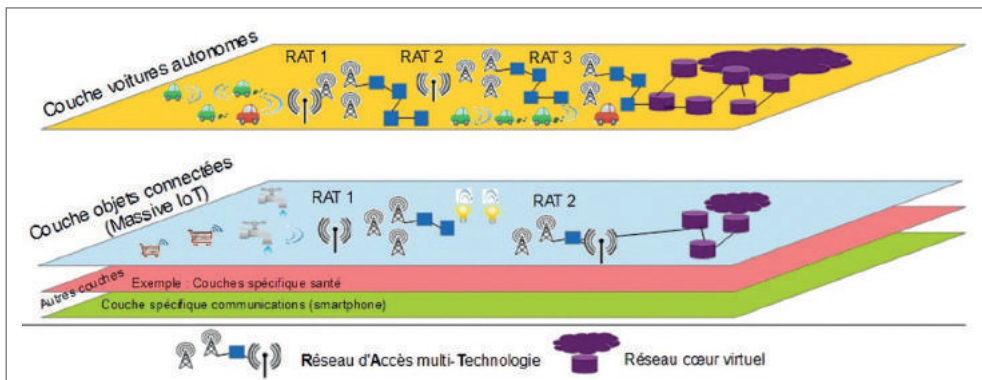


Fig. 38. Isolation des ressources par slice pour une meilleure sécurité⁶⁷.

un premier cadre commun pour les mesures de sécurité. Au niveau national, chaque État membre devait procéder à une évaluation des risques liés aux infrastructures des réseaux 5G avant la fin juin 2019. En France, l'ANSSI est mobilisée pour accompagner les opérateurs, afin d'assurer un niveau de sécurité adéquat pour chaque usage de la 5G.

L'UE a décidé de travailler conjointement à l'adressage de la problématique cybersécurité du réseau 5G. En octobre 2019, elle a produit un premier rapport relatif à l'évaluation des risques cyber liés à cette dernière génération.

D'une part ils ont cartographié les différents acteurs pouvant constituer une menace à travers trois critères : confidentialité, disponibilité et intégrité (figure 39). De l'autre ils ont catégorisé les ressources réseau selon leur niveau de sensibilité (figure 40).

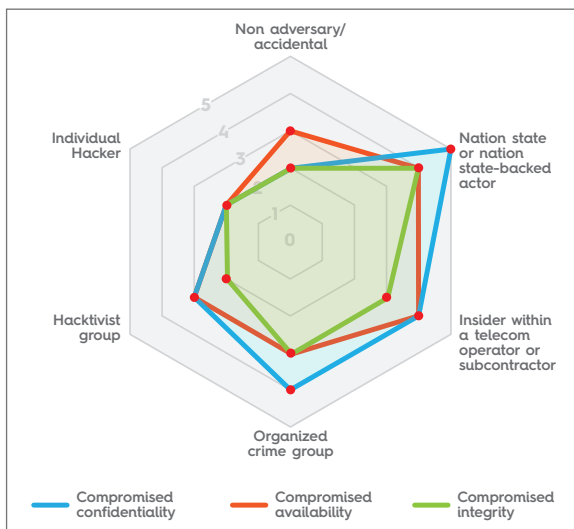


Fig. 39. Consolidated view on threat category by threat actor⁶⁸.

Basé sur ce premier rapport, l'UE a produit une boîte à outils à l'intention des opérateurs et constructeurs permettant de se prémunir au mieux d'une attaque. Différents scénarios ont été identifiés comme montré en figure 41.

Par ailleurs, en s'appuyant sur les cadres réglementaires existants, la boîte à outils propose un certain nombre de mesures et d'actions classées en deux catégories : stratégique et technique. La première couvre en outre des mesures de renforcement des pouvoirs réglementaires pour que les autorités puissent contrôler l'acquisition et le déploiement des

67. Schéma décrivant le network slicing 5G IoT, Christian Fournel, 14 janvier 2019.

68. Source : EU coordinated risk assessment of the cybersecurity of 5G networks, octobre 2019.

CATEGORIES OF ELEMENTS AND FUNCTIONS		EXAMPLES OF KEY ELEMENTS
Core network functions	CRITICAL	User Equipment Authentication, roaming and Session Management Functions
		User Equipment data transport functions
		Access policy management
		Registration and authorization of network services
		Storage of end-user and network data
		Link with third-party mobile networks
		Exposure of core network functions to external applications
		Attribution of end-user devices to network slices
NFV Management And Network Orchestration (MANO)	CRITICAL	
Management systems and supporting services (other than MANO)	MODERATE/HIGH	Security management systems
		Billing and other support systems such as network performance
Radio Access network	HIGH	Base stations
Transport and transmission functions	MODERATE/HIGH	Low-level network equipment (routers , switches, etc)
		Filtering equipment (firewall ls, IPS, etc)
Internetwork exchanges	MODERATE/HIGH	IP networks external to MNO premises Network services provided by third parties

Fig. 40. Assessment criteria per categories of elements and functions⁶⁹.

I - RISK SCENARIOS RELATED TO INSUFFICIENT SECURITY MEASURES	R1 - Misconfiguration of networks R2 - Lack of access controls
II - RISK SCENARIOS RELATED TO 5G SUPPLY CHAIN	R3 - Low product quality R4 - Dependency on any single supplier within individual networks or lack of diversity on nation-wide basis
III - RISK SCENARIOS RELATED TO <i>MODUS OPERANTI</i> OF MAIN THREAT ACTORS	R5 - State interference through 5G supply chain R6 - Exploitation of 5G networks by organised crime or organised crime group targeting end-users
IV - RISK SCENARIOS RELATED TO INTERDEPENDENCIES BETWEEN 5G NETWORKS AND OTHER CRITICAL SYSTEMS	R7 - Significant disruption of critical infrastructures or services R8 - Massive failure of networks due to interruption of electricity supply or other support systems
V - RISK SCENARIOS RELATED TO END USER DEVICES	R9 - Exploitation of IoT (Internet of Things), handsets or smart devices

Fig. 41. Risk categories and scenarios⁷⁰.

respect des limites d'exposition du public aux ondes. L'ANFR collabore étroitement avec les constructeurs, en effectuant un suivi rigoureux des expérimentations et des multiples phases test de la 5G. L'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) est également impliquée et finance des travaux de recherche

réseaux, dans l'optique de limiter les interférences et dépendances entre pays. La seconde catégorie comprend des mesures qui visent à renforcer la sécurité des réseaux et des équipements 5G en renforçant notamment la sécurité des technologies, des processus, des personnes et des facteurs physiques (figure 42 page suivante).

Enjeux de santé

Les problématiques de santé liées aux fréquences radioélectriques sont gérées par l'ANFR (Agence nationale des fréquences) qui a pour mission de s'assurer du

69. Source : cybersecurity of 5G networks EU Toolbox of risk mitigating measures, janvier 2020.

70. Source : cybersecurity of 5G networks EU Toolbox of risk mitigating measures, janvier 2020.

sur ce sujet. L'ANSES a été saisie par le gouvernement afin de donner un avis sanitaire sur la 5G.

Les seuils d'exposition du public aux ondes 5G resteront strictement identiques aux seuils établis pour la 4G. Dans sa feuille de route pour la 5G, le gouvernement affirme que «les limites d'exposition aux champs électromagnétiques sont fixées par le cadre réglementaire et s'appliquent indépendamment de la technologie (2G, 3G, 4G ou 5G). Les réseaux 5G qui seront déployés par les opérateurs devront donc respecter ces valeurs limites tout autant que les technologies en place aujourd'hui».

Les effets sanitaires des ondes électromagnétiques restent toutefois un sujet surveillé de près par les différentes autorités. En France, l'ANSES a créé en 2011 un groupe de travail «radiofréquences et santé» ayant pour objectif de mesurer l'impact sanitaire de l'exposition aux ondes. Le premier rapport (2013) ne mettait pas en évidence «d'effets sanitaires avérés». Dans son second rapport (2016), l'ANSES affirme qu'«il n'apparaît pas fondé, sur une base sanitaire, de remettre en question les valeurs limites d'exposition pour la population générale».

Rappelons enfin que ce sujet n'est pas focalisé sur les réseaux cellulaires, mais concerne toutes les ondes électromagnétiques, y compris le Wi-Fi et même les babyphones.

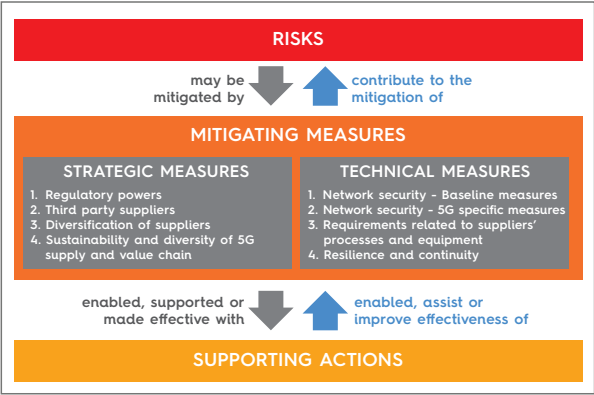


Fig. 42. Toolbox measures and supporting actions⁷¹.

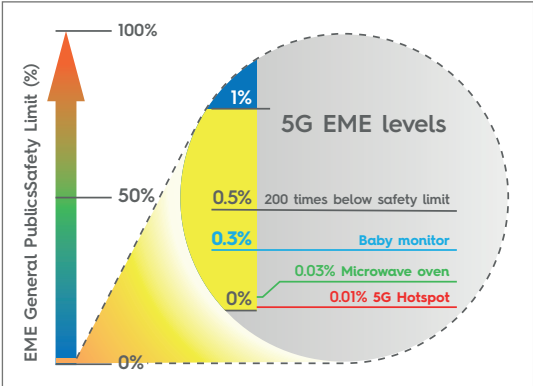


Fig. 43. Énergie électromagnétique des babyphones et micro-ondes supérieure à celle de la 5G⁷².

71. Source : EU coordinated risk assessment of the cybersecurity of 5G networks, octobre 2019.

72. "The science is clear; we've more to fear from baby monitors than 5G", Adam Turner, 9 septembre 2019.

En synthèse

La 5G relève le défi d'améliorer considérablement les performances de la 4G quel que soit le critère retenu. Cela lui permet de se destiner à devenir le réseau d'accès universel quel que soit son usage.

Néanmoins, ces performances ne pourront être délivrées en même temps et au maximum sur l'ensemble des critères. En résulte qu'il n'y aura pas une 5G unique, mais de nombreux services 5G destinés à différents usages : des communications grand public à très haut débit, des communications ultra-fiables à faible latence ou encore des communications massives pour IoT.

La 5G intègre de très nombreuses technologies qui ne seront pas toutes déployées en même temps. Étudions maintenant le calendrier attendu de son déploiement.



Chapitre 2

Les prérequis
au déploiement
de la 5G

Nous avons compris que la 5G serait multiple et qu'elle proposerait à chaque usage un service approprié... ou pas ! Répétons : « ou pas ! ». Au risque d'étonner certains, la mise à disposition d'un slice approprié à un usage dépend de très nombreux facteurs : est-ce que toutes les technologies nécessaires à cet usage ont été normalisées ? Est-ce que ces technologies ont été développées ? Sont-elles déployées par les opérateurs qui couvrent la géographie sur laquelle vous souhaitez proposer cet usage ? L'opérateur disposera-t-il de bandes de fréquences appropriées ou suffisamment larges ? L'opérateur propose-t-il un slice dont les caractéristiques sont adaptées à votre usage ?

Cela fait beaucoup de questions ouvertes pour une problématique à laquelle on devrait pouvoir répondre aisément. En fait, rappelons que la 5G est avant tout une ambition de société où le réseau est toujours disponible en qualité, en mobilité dans le temps et dans l'espace. Pour répondre à ces questions, on a empilé toutes les technologies réseaux les plus avancées et conçu des architectures toutes plus complexes les unes que les autres. Et donc la 5G doit se comprendre, contrairement aux générations précédentes, comme un long programme qui n'aboutira pas nécessairement au même résultat partout.

Voyons dans un premier temps le calendrier sous le prisme de la standardisation.

Les standards de la 5G

Plutôt que de travailler en bocal de longues années pour sortir les spécifications finalisées de la 5G, les organismes de standardisation ont défini une feuille de route au sein de laquelle la 5G s'enrichirait progressivement. Avec pour conséquence notable que, pour répondre à la question énoncée en préambule, il soit nécessaire de comprendre le contenu de chaque version. Initialement, les spécifications de la 5G s'échelonnaient sur trois versions successives (on parle de « Release » 14, 15 et 16) :

Release Code	Name	Status	Start date	End date	Closure date
Rel-19	Release 19	Open	2021-06-18		
Rel-18	Release 18	Open	2019-09-16		
Rel-17	Release 17	Open	2018-06-15	2022-06-10 (SA#96)	
Rel-16	Release 16	Frozen	2017-03-22	2020-07-03 (SA#88-e)	
Rel-15	Release 15	Frozen	2016-06-01	2019-06-07 (SA#84)	
Rel-14	Release 14	Frozen	2014-09-17	2017-06-09 (SA#76)	
Rel-13	Release 13	Frozen	2012-09-30	2016-03-11 (SA#71)	
Rel-12	Release 12	Frozen	2011-06-26	2015-03-13 (SA#67)	
Rel-11	Release 11	Frozen	2010-01-22	2013-03-06 (SA#59)	
Rel-10	Release 10	Frozen	2009-01-20	2011-06-08 (SA#52)	
Rel-9	Release 9	Frozen	2008-03-06	2010-03-25 (SA#47)	
Rel-8	Release 8	Frozen	2006-01-23	2009-03-12 (SA#43)	
Rel-7	Release 7	Closed	2003-10-06	2008-03-13 (SA#39)	2014-09-17 (SA#65)
Rel-6	Release 6	Closed	2000-03-28	2005-09-28 (SA#29)	2014-09-17 (SA#65)
Rel-5	Release 5	Closed	2000-05-01	2002-09-12 (SA#17)	2014-09-17 (SA#65)
Rel-4	Release 4	Closed	1998-08-01	2001-06-21 (SA#12)	2014-09-17 (SA#65)
R00	Release 2000	Closed	1999-03-30		1999-12-17 (SA#6)
R99	Release 1999	Closed	1996-11-01	1999-12-17 (SA#6)	2008-06-05 (SA#40)
UMTS	UMTS	Closed	1994-08-18	1999-02-12 (SMG-#28)	2005-06-08 (SA#28)
R98	Release 1998	Closed	1996-03-26	1999-02-12 (SMG-#28)	2005-06-08 (SA#28)
R97	Release 1997	Closed	1996-04-15		2005-06-08 (SA#28)
R96	Phase 2+	Closed	1995-07-20		2004-09-16 (SA#25)
Ph2	Phase 2	Closed	1993-03-25		2004-09-16 (SA#25)
Ph1-EXT	Phase 1 extension	Closed	1994-10-01		2004-09-16 (SA#25)
Ph1-DCS	Phase 1 DCS-1800	Closed	1992-12-03		2004-09-16 (SA#25)
Ph1	Phase 1	Closed	1982-12-07		2004-09-16 (SA#25)

Fig. 44. Calendrier des publications 3GPP⁷³.

73. <https://portal.3gpp.org/#/55934-releases>.

La Release 14⁷⁴ a uniquement posé le calendrier de spécification de la 5G⁷⁵. En revanche, deux Releases supplémentaires, 17 et 18 ont été entre-temps ajoutées. Le planning dernièrement mis à jour par le 3GPP est le suivant :

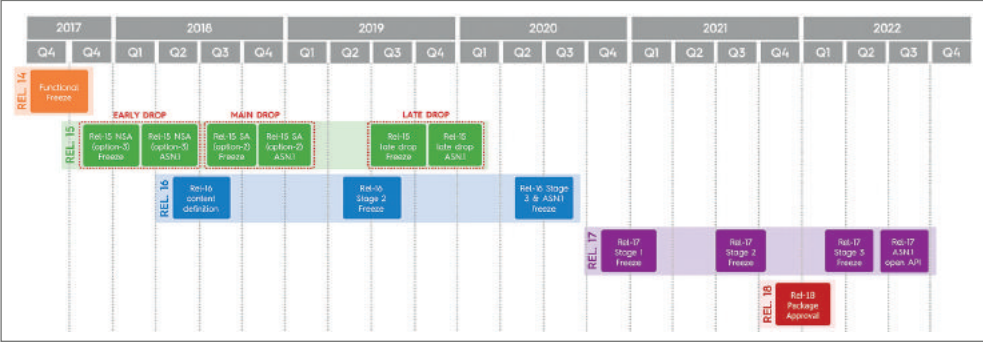


Fig. 45. Vue d'ensemble des releases 5G, 3GPP.

Et si l'on veut savoir quelle version sera susceptible de porter correctement un usage, on ne peut pas faire l'économie de connaître ce qu'inclut ou pas chaque version. Voyons maintenant ce que chacune d'elles propose.

Release 13

Non, ce n'est ni une erreur de l'éditeur ni une erreur de l'auteur. Vous pouviez légitimement penser que je vous proposerais d'examiner en premier lieu le contenu de la Release 15. Mais il se trouve qu'en cours de spécifications de la 5G, les parties prenantes se sont rendu compte que l'intégration de deux standards préalablement élaborés pour la 4G⁷⁶ permettrait d'adresser les besoins exprimés pour les usages « massive Machine Type Communications » (mMTC). La LTE-M⁷⁷ et le NB-IoT⁷⁸ permettent de satisfaire le niveau de performance ambitionné pour la 5G en termes de couverture, de durée de vie opérationnelle et de densités d'objets :

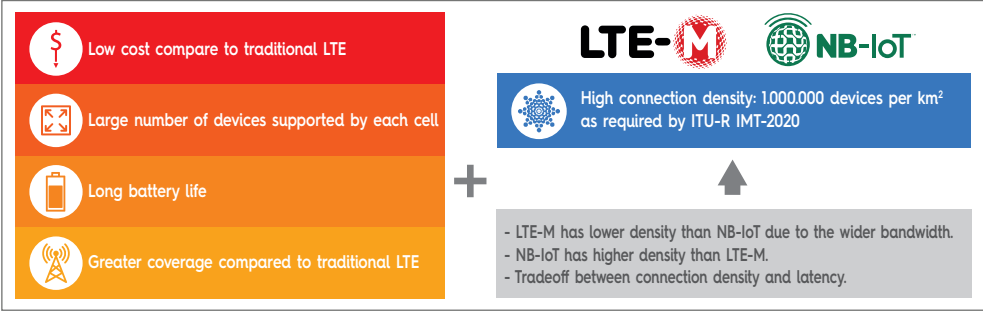


Fig. 46. LTE-M et NB-IoT pour adresser le marché de l'IoT massif⁷⁹.

74. Le contenu de la version 14 est disponible à l'URL suivante : www.3gpp.org/release-14.

75. "Tentative 3GPP timeline for 5G", Dino Flore & Balzs Bertenyi, 17 mars 2015..

76. Dénommé également LTE pour « Long Term Evolution ».

77. Long Term Evolution - Machine.

78. Narrow Band Internet of Things.

79. "How does IoT fit in 5G era ?", ETSI IoT Week, octobre 2018.

Ces deux technologies s'inscrivent donc dans la 5G comme suit :

- LTE-M et NB-IoT, telles qu'elles sont déployées sur de la 4G aujourd'hui, sont considérées comme de la 5G puisqu'elles permettent de satisfaire pleinement les exigences d'IoT massif (mMTC);
- LTE-M et NB-IoT vont continuer à évoluer au côté des autres technologies de la 5G. Elles seront déployées sur des réseaux 5G;
- LTE-M et NB-IoT pourront fonctionner sur la nouvelle interface radio 5G dite NR. Cela permettra une migration en douceur vers les bandes de fréquences attribuées à la 5G.

On peut donc dire que le déploiement de la 5G mMTC va précéder le déploiement des services eMBB et URLLC :

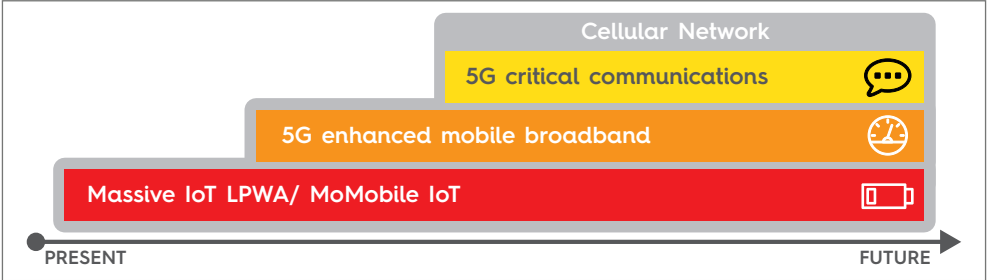


Fig. 47. Calendrier de déploiement de la 5G pour les trois principaux usages⁸⁰.

L'opérabilité de LTE-M et NB-IoT avec la 5G NR est assurée par, d'une part, la compatibilité de la nouvelle interface radio avec celle de la 4G⁸¹, et d'autre part, la compatibilité future (« forward compatibility ») s'engageant à ce que les futurs équipements LTE-M et NB-IoT 5G NR continueront à fonctionner avec la 4G⁸².

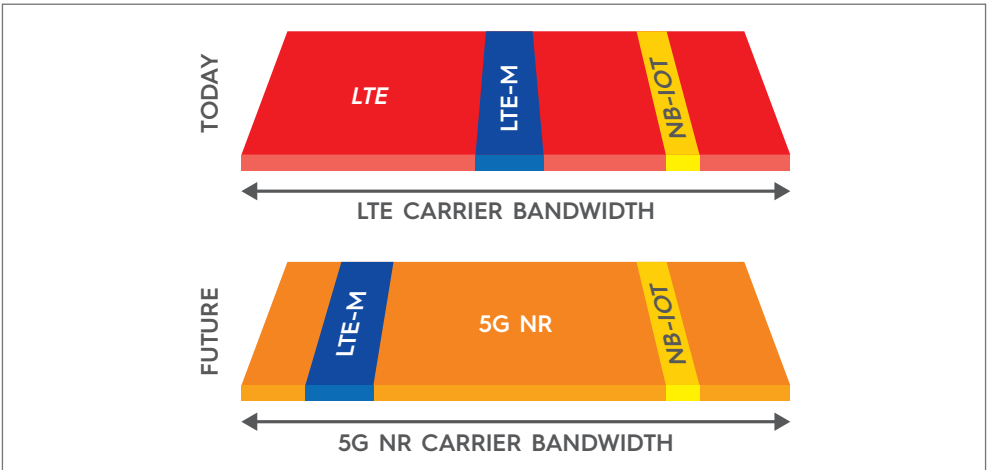


Fig. 48. Opérabilité de LTE-M et NB-IoT avec la 4G et 5G⁸³.

80. "How does IoT fit in 5G era ?", ETSI IoT Week, octobre 2018.

81. "Practical aspects for the integration of 5G networks and IoT applications in smart cities environments", Daniel Minoli et Benedict Occhiogrosso, 1^{er} avril 2019.

82. "This will enable the 5G NR user equipment (UE) to coexist with NB-IoT and LTE-M signals".

83. "How does IoT fit in 5G era ?", ETSI IoT Week, octobre 2018.

C'est un triple avantage :

- Les opérateurs qui peuvent dès à présent proposer du mMTC 5G avec la couverture géographique de la 4G;
- Les écosystèmes LTE-M et NB-IoT qui sont en départ lancé pour se développer avec la 5G;
- Les clients qui peuvent d'ores et déjà déployer leurs usages sur des technologies pérennes sans attendre pour autant une couverture 5G NR.

D'aucuns diront que l'IoT massif mMTC a été sacrifié au profit des deux autres profils d'usage que sont l'eMBB et l'URLLC.

Release 15

La Release 15 fournit les spécifications permettant le déploiement d'une infrastructure 5G capable de supporter les usages attendus pour le profil de slice « enhanced Mobile BroadBand » (eMBB) :

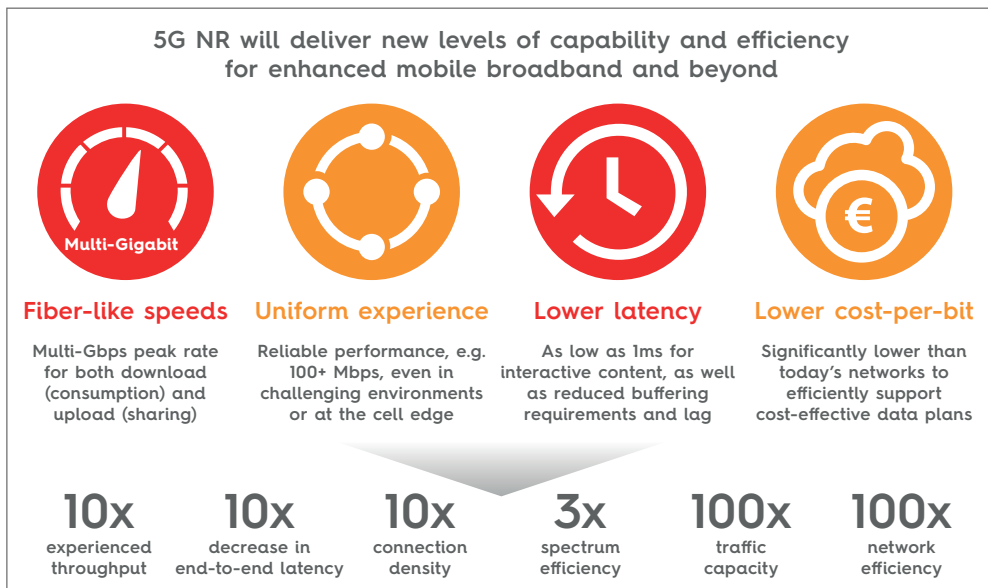


Fig. 49. Support des usages eMBB par la Release 15⁸⁴.

Cette Release se décompose en réalité en trois livrables :

- **Early Drop** : spécifications de la 5G non standalone, c'est-à-dire fonctionnant sur un cœur de réseau 4G. Celles-ci sont figées depuis mars 2018;
- **Main Drop** : spécifications de la 5G standalone avec donc un réseau 5G complet incluant l'interface radio mais également le cœur de réseau. Celles-ci sont figées depuis septembre 2018;
- **Late Drop** : contient des architectures de migration supplémentaires. Elle est figée depuis juillet 2019.

84. "Delivering the enhanced mobile broadband 5G use case", Sean Kinney, 20 septembre 2017.

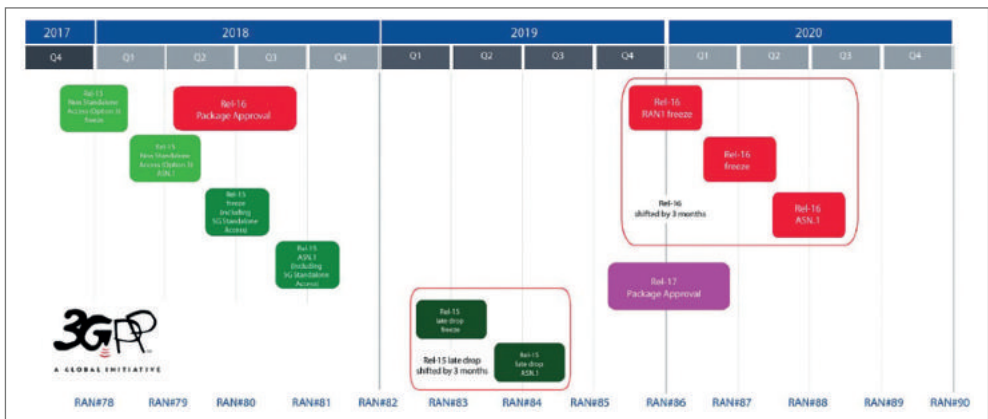


Fig. 50. Planning détaillé de la Release 15 (en vert)⁸⁵.

Le contenu de la Release 15 pour la 5G est dit « Phase 1 » et couvre les aspects ci-dessous⁸⁶ :

- **Architecture réseaux** incluant les spécificités des modes Non StandAlone (NSA) et StandAlone (SA);
- **Cœur de réseau** couvrant l'architecture, les fonctions réseaux basiques, edge computing, network slicing, le contrôle d'accès unifié, support à la gestion de qualité de services (Quality of Services - QoS), les protocoles;
- **Radio 5G** en NSA et SA couvrant l'architecture, les protocoles, le MIMO, le Full Duplex, l'agrégation de porteuses, les fréquences;
- **La sécurité** avec le nouveau modèle évoqué précédemment.

Attention ! Certaines fonctions livrées dans le cadre de la Release 15 ne concernent pas la 5G mais la 4G dite « Long Term Evolution » (LTE). C'est le cas pour la fonction Vehicle to Everything (V2X Phase 2⁸⁷), la fonction enhanced Machine Type Communication⁸⁸ et le support de spectre de fréquences exploitables sans licence⁸⁹.

Release 16

La Release 16 marque une étape majeure, car elle fournit la première version 5G complète. Elle doit donc permettre d'adresser, en plus de l'eMBB et du mMTC, les usages portés par l'URLLC (figure ci-contre).

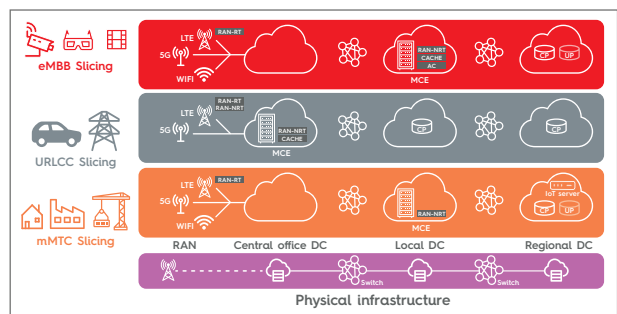


Fig. 51. Apparition des usages URLLC avec la Release 16⁹⁰.

85. "Release 15", 3GPP, 26 avril 2019..

86. Cette Release inclut également des améliorations relatives aux versions précédentes que volontairement nous ne décrivons pas.

87. 3GPP TR 36788 - Vehicle-to-Everything (V2X) Phase 2; User Equipment (UE) radio transmission and reception.

88. LTE_eMTC4 - Even further enhanced MTC for LTE.

89. LTE_unlic - Enhancements to LTE operation in unlicensed spectrum.

90. Source : Huawei.

La Release 16 a été figée en juillet 2020 et inclut les ajouts suivants :

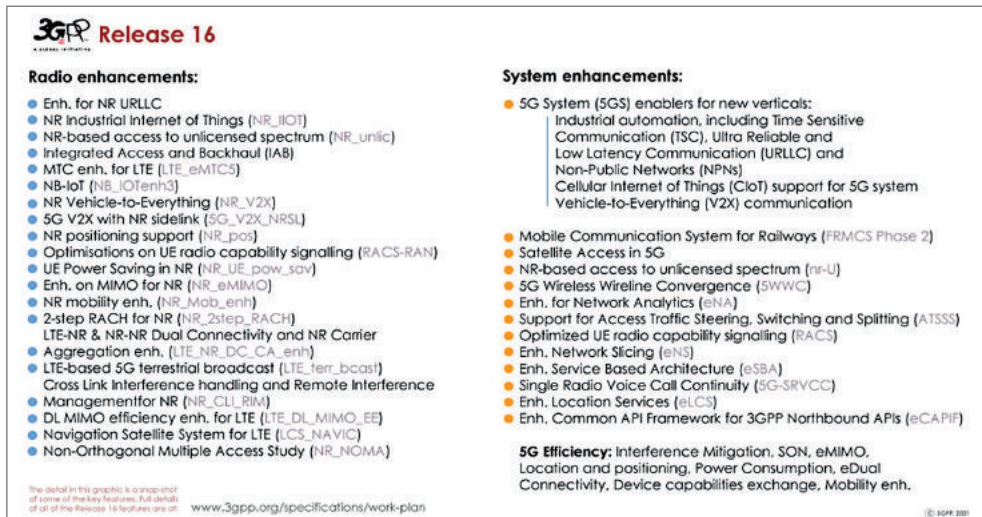


Fig. 52. Détail des éléments relatifs à la release 16⁹¹.

Mettons en exergue les fonctions suivantes :

- **Multimedia Priority Service**, qui permet aux utilisateurs - appartenant par exemple à des services de sécurité nationale - de bénéficier de capacités de communications prioritaires pour la voix, les données, la vidéo et la messagerie texte;
- **V2X** pour Vehicle-to-everything, qui supporte les besoins en communication du platooning, de la conduite autonome ou encore de la conduite à distance;
- **Support des fréquences libres** « unlicensed », comme celles utilisées par le Wi-Fi en 5G, qui permettent d'offrir soit des services de réseaux privés d'entreprises ou domestiques en protocole 5G, soit de faire de l'agrégation de porteuses incluant fréquences sous licences et fréquences libres;
- **Convergence fixe et mobile**, qui permet d'offrir les services 5G depuis un réseau fixe avec le même niveau de sécurité;
- **Positionnement du terminal** avec une précision très élevée;
- **IoT industriel** pour l'industrie du transport, la distribution de l'énergie électrique ainsi que l'automatisation industrielle requérant des services de communications critiques spécifiques à des bandes de fréquences en usage dans l'industrie et le médical;
- **Réseau de collecte intégré** ou « integrated backhaul » permettant de mailler plusieurs cellules entre elles sans avoir à les connecter toutes au réseau de collecte. Cette fonction est particulièrement importante pour déployer aisément des petites cellules sans avoir à tirer une fibre jusqu'à chacune d'elles⁹²;
- **Améliorations diverses** sur des fonctions déjà spécifiées telles la sécurité, les protocoles d'encodage et de décodage (codecs), les services de streaming, le network slicing et les IoT.

91. "Release 16", 3GPP, 23 mars 2020..

92. 3GPP Release 16: Study items and road map, National Instruments, 28 novembre 2018.

La spécification de la Release 16 a été réalisée de mars 2017 à juillet 2020 :

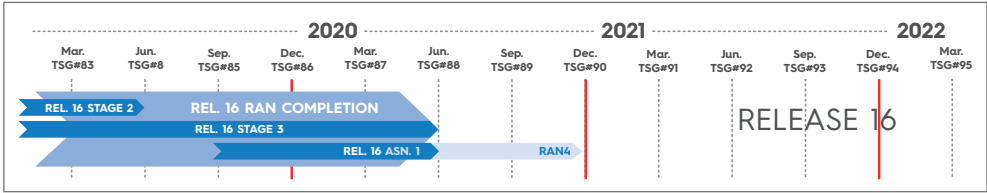


Fig. 53. Planning Release 16⁹³.

Les spécifications de la 5G ne sont pas encore complètes puisqu'une Release 17 et une Release 18 sont d'ores et déjà planifiées.

Release 17

Le contenu de la Release 17 est arrêté depuis décembre 2019. Les apports retenus à ce qui doit être la dernière version majeure de la 5G sont très nombreux, bien qu'un sous-ensemble consiste en fait en des propositions d'amélioration de fonctions déjà spécifiées dans les deux précédentes versions :

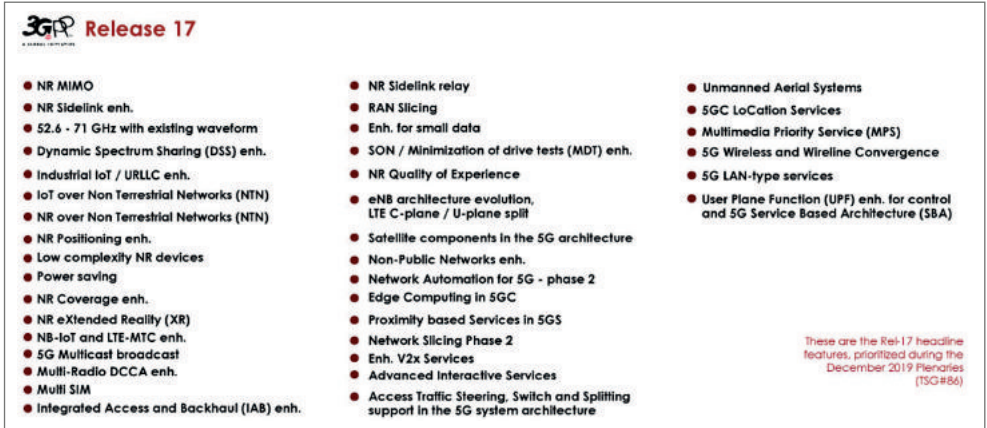


Fig. 54. Détail des éléments relatifs à la release 17⁹⁴.

Mettons en exergue les ajouts suivants :

- **NR Light** qui permettra un fonctionnement optimal des objets connectés haut de gamme de type caméras connectées ou « wearables » avec une faible consommation électrique;
- **Small data transfer optimization** avec pour objectif d'optimiser les transmissions montantes, descendantes et périodes inactives au bénéfice des IoT;
- **Sidelink** qui vise à améliorer la communication directe entre les appareils, destiné initialement à l'automobile et aux communications critiques. L'utilisation commerciale directement entre smartphones est envisagée, et ce sur toutes les gammes de fréquences, basses, hautes et millimétriques;
- Les **bandes de fréquences jusqu'à 114 GHz** vont être étudiées. Jusqu'à présent on s'arrêtait à 52,6 GHz. Peut-on aller plus haut avec la technologie actuelle et comment

93. "Release 16", 3GPP, 23 mars 2020.

94. "Release 17", 3GPP, 12 décembre 2020.

aller jusqu'à 114 GHz ? Avec la version 15, les spécifications sur les bandes de fréquences vont jusqu'à 52,6 GHz. La version 17 va étudier s'il est possible d'aller jusqu'à 114 GHz. Le travail normatif est attendu dans la version 18;

- **Opérations multi-SIM** ou comment les normes pourraient faciliter l'écosystème des appareils multi-SIM notamment au niveau de l'interface radio;
- **NR Multicast Broadcast** afin d'inclure des fonctions de multidiffusion, en même temps et à plusieurs équipements, dans la radio 5G avec pour principaux bénéficiaires le V2X et la sécurité publique;
- **Amélioration de la couverture** qui est particulièrement importante dans les pays à très grande superficie tels la Chine, l'Inde ou encore l'Australie;
- **Améliorations NB-IoT et mMTC** envisagées notamment sur la compression des trames et des reliquats de la Release 16;
- **Améliorations** pour les **IoT industriels** et le profil **URLLC** également prévues pour l'un des sujets majeurs de la précédente version;
- Les **non-terrestrial networks** apparaîtront dans les spécifications de la Release 17;
- **Améliorations** génériques du **support des fréquences libres**;
- **Améliorations** de la **consommation électrique** notamment au niveau du protocole physique que l'on espère encore améliorer dans cette version;
- **Amélioration** de la **collecte des données** du **RAN** pour permettre l'introduction de l'IA à la gestion des infrastructures et notamment les fonctions d'auto-optimisation⁹⁵;
- **Amélioration** du **positionnement** du **dispositif connecté** en usine/campus, V2X, en 3D (verticalement et horizontalement), tant sur la précision que la latence et la fiabilité.

Le calendrier de la Release 17 s'envisage comme suit, mais va nécessairement évoluer en fonction de l'avancée des travaux :

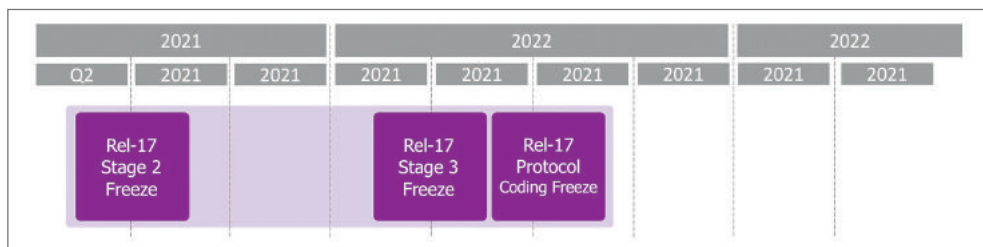


Fig. 55. Planning détaillé de la Release 17⁹⁶.

Release 18

Le contenu principal de la Release 18 a été approuvé fin 2021. Néanmoins les travaux de normalisation se poursuivront jusqu'en juin 2024⁹⁷. La Release 18 s'inscrit essentiellement dans une logique d'amélioration des sujets précédents⁹⁸ :

- Une évolution de la liaison descendante MIMO est à l'étude avec notamment une Gestion évoluée du multi-TRP (Transmission Reception Points) et multifaisceau;
- Une amélioration de la liaison montante avec un précodage selectif en fréquence et d'autres améliorations de couverture.

95. Self Optimizing Network ou SON.

96. "Release 17", 3GPP, 12 décembre 2020.

97. <https://www.3gpp.org/release18>.

98. "Advanced plans for 5G", 3GPP, 6 juillet 2021.

- Amélioration de la mobilité;
- Améliorations topologiques supplémentaires (IAB et répéteurs intelligents);
- Améliorations pour XR (eXtended Reality);
- Améliorations des liens secondaires (hors positionnement) avec notamment une coexistence de LTE V2X et NR V2X;
- Évolution (hors positionnement) de RedCap (précédemment dénommée NR Light ou NR Lite) avec des nouveaux cas d'utilisation et des nouvelles bandes passantes;
- Évolution des NTN (Non Terrestrial Network) qui inclut les aspects NR et IoT;
- Évolution pour les services de diffusion et de multidiffusion;
- Positionnement étendu et amélioré qui comprend entre autre la distance de liaison latérale et la précision;
- Évolution du fonctionnement duplex avec la gestion des interférences et scénarios de déploiement;
- Arrivée de l'Intelligence Artificielle et du Machine Learning dans les interfaces aériennes;
- Économies d'énergie du réseau avec une définition de KPI's et méthodologie d'évaluation;

Le marketing de cette Release 18 se déploiera avec la marque 5G Advanced :

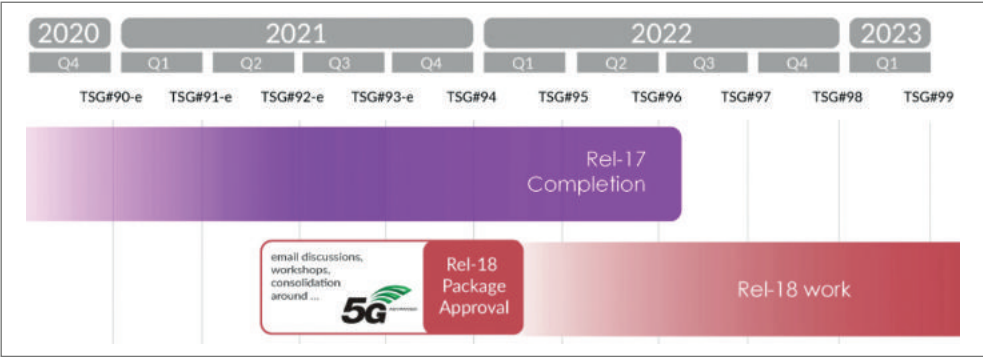


Fig. 55. Détail des éléments relatifs à la release 18⁹⁹.

Les spécifications de la Release 18 sont attendues pour le deuxième trimestre 2024. D'ici là, on peut avoir accès à l'évolution des différents sujets sur le site du 3GPP :

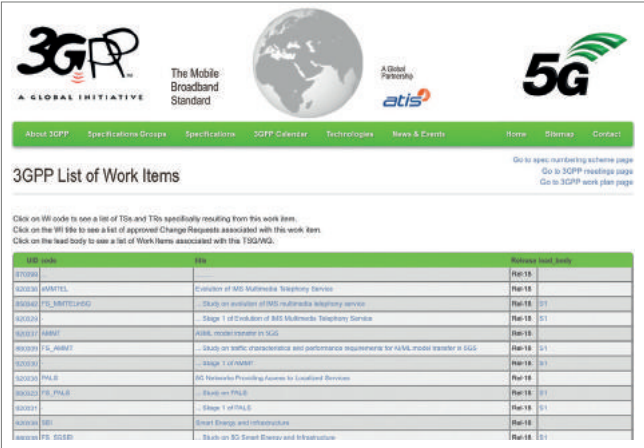


Fig. 56. Portail d'accès aux travaux préliminaires à une nouvelle spécification¹⁰⁰.

99. "Advanced plans for 5G", 3GPP, 6 juillet 2021.

100. "3GPP list of work items", 3GPP, Juillet 2021.

DECT-2020 NR

L'ITU-T a travaillé sur la l'évolution de la norme DECT pour répondre au besoin IoT de faible latence et de forte densité. Cette nouvelle norme, DECT-2020 NR, satisfait l'IMT-2020 définissant les exigences de la 5G notamment en termes de nombre d'objets connectés au kilomètre carré, de faible consommation électrique des IoT et de faible latence. Autant le segment des IoT basse consommation « outdoor » est d'ores et déjà couvert par LTE-M et NB-IoT, celui des IoT basse consommation « indoor » ne le sera qu'à partir de la Release 17 et la disponibilité de module communication RedCap ou NR light. L'ITU-T a décidé en octobre 2021 d'approuver la labellisation 5G de ce nouveau protocole¹⁰¹. Outre sa capacité à remplir les exigences mMTC en 5G privée, DECT-2020 NR permet un déploiement en réseau maillé où chaque IoT peut lui-même relayer le signal et par la même étendre la couverture de connectivité. La portée théorique est de 5 kilomètres avec un débit potentiel de 3 Mbits par seconde¹⁰².

Ce que nous pouvons retenir de la normalisation de la 5G

Les travaux de normalisation sont à la mesure de l'ambition et du concentré de technologies de la 5G. Après un cadrage réalisé lors des spécifications de la Release 14 en 2015, la standardisation se décompose en quatre versions majeures et une cinquième pour la finaliser :

- **Release 13**, qui a spécifié début 2016 deux protocoles distincts couvrant les besoins de l'IoT massif, LTE-M et NB-IoT. Initialement conçue pour la 4G, la nouvelle interface radio 5G sera compatible avec ceux-ci qui forment ensemble le socle technologique pour servir les usages « massive Machine Type Communication » (mMTC);
- **Release 15**, qui permet depuis mi-2018 de développer une version 5G sur cœur de réseau 4G dite « non standalone » et depuis fin 2018 de développer une version « standalone », avec un cœur de réseau 5G. La Release 15 adresse les usages couverts par le « enhanced Mobile BroadBand » (eMBB);
- **Release 16**, qui est figée depuis juillet 2020 et qui est la première spécification 5G permettant de couvrir les trois grands usages apportant l'« Ultra Reliable and Low Latency Communications » (URLLC);
- **Release 17**, pour laquelle l'objectif sera d'une part d'améliorer les deux versions précédentes afin que les performances ambitionnées soient atteintes et d'autre part d'inclure de nouvelles fonctions qui ne sont pas encore couvertes par les précédentes, telles les fréquences jusqu'à 114 GHz ou encore les communications non terrestres. Elle est prévue pour fin 2022.
- **Release 18**, dont le périmètre est défini depuis Q4 2021 et devrait être disponible Q2 2024¹⁰³. Dans l'optique de simplifier la compréhension des évolutions, la R18 amènera l'apparition du logo « 5G Advanced ».

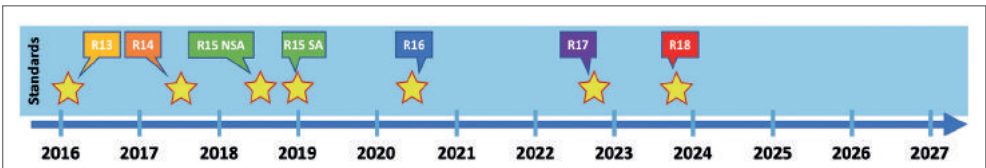


Fig. 57. Synthèse du planning de standardisation.

101. <https://www.etsi.org/newsroom/press-releases/1988-2021-10-world-s-first-non-cellular-5g-technology-etsi-dect-2020-gets-itu-r-approval-setting-example-of-new-era-connectivity>

102. <https://itsocial.fr/enjeux-it/enjeux-infrastructure/reseaux/dect-2020-nr-une-norme-innovante-pour-liot-decentralisee-sans-infrastructure-et-autonome/>

103. RWS-210659 RAN rel-18 Workshop Summary, 3GPP, juin 2021.

On peut retenir trois faits notables sur l'élaboration des standards :

- L'ambition de la 5G sur l'IoT massif « mMTC » est à modérer puisqu'en cours de spécification les technologies développées pour la 4G ont été jugées suffisantes, et complétées par la suite par la norme DECT-2020 NR. La NR light ou RedCap, disponible à partir de la Release 17 devra trouver son segment d'IoT en 5G privée et publique;
- Le segment adressant la 5G grand public a été priorisé puis ce sera au tour des usages critiques et industriels;
- Si les organismes de standardisation ont tout fait pour mettre à disposition une 5G le plus tôt possible, le revers de la médaille est que la standardisation globale va prendre un peu plus de temps qu'initialement prévu.

Ensuite viendra le temps de la 6G. Les travaux préliminaires devaient initialement démarrer avec la Release 18¹⁰⁴. Finalement, la Release 18 est dédiée à la 5G Advanced et reportée au mieux à la Release 19 dont le planning n'a pas encore été communiqué. La rupture promise pour la 6G est l'utilisation des fréquences en TeraHertz permettant de repousser encore les limites de la 5G en restant dans la continuité en termes de promesse : plus de débit, plus de couverture, moins de latence, plus d'efficacité énergétique, plus de fiabilité et encore plus d'objets connectés.

Paradoxalement, les cas d'usages évoqués sont dans la continuité de ceux espérés pour

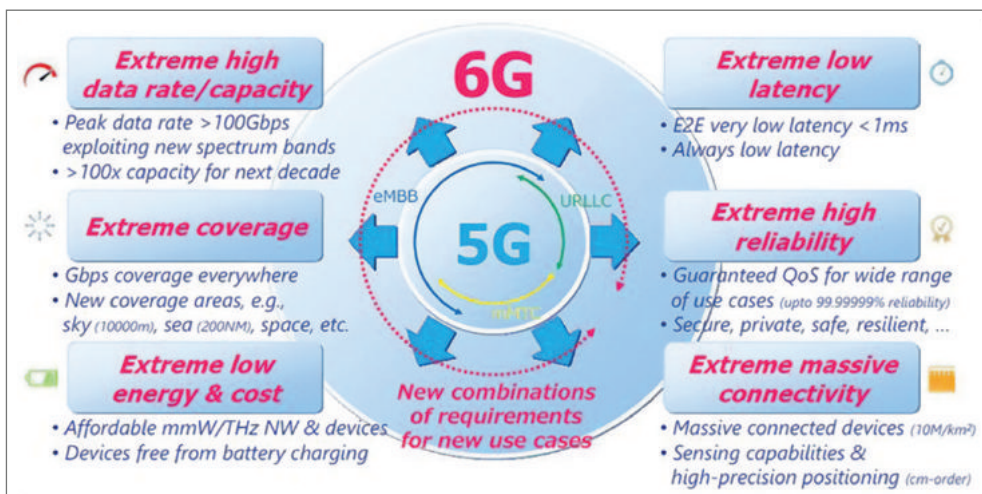


Fig. 57. Les caractéristiques de la technologie 6G¹⁰⁵.

la 5G. Comme pour toute rupture technologique c'est souvent une fois disponible que les usages émergent. A noter que Samsung expérimente d'ores et déjà les communications en THz pour atteindre des débits jusqu'au Tbits/s avec des latence de 0,1 ms¹⁰⁶.

Mais revenons à notre chère 5G, car c'est une chose de disposer de spécifications et une autre de disposer d'équipements permettant de la déployer et de l'utiliser, ce qui est justement le propos du chapitre suivant.

104. "Another set of 5G standards was just released, but no one really cares", Mike Dano, 4 mai 2019.

105. 5G Evolution and 6G - NTT DOCOMO INC., janvier 2020.

106. « Samsung teste la 6G avec des vitesses de pointe 50 fois plus rapides que la 5G », Ulrich Rozier, 17 juin 2021.

Les équipements 5G

Une fois la 5G spécifiée, les constructeurs vont devoir développer de toutes nouvelles familles d'équipements pour supporter ce nouveau standard. Ces différentes familles sont représentées ci-dessous :

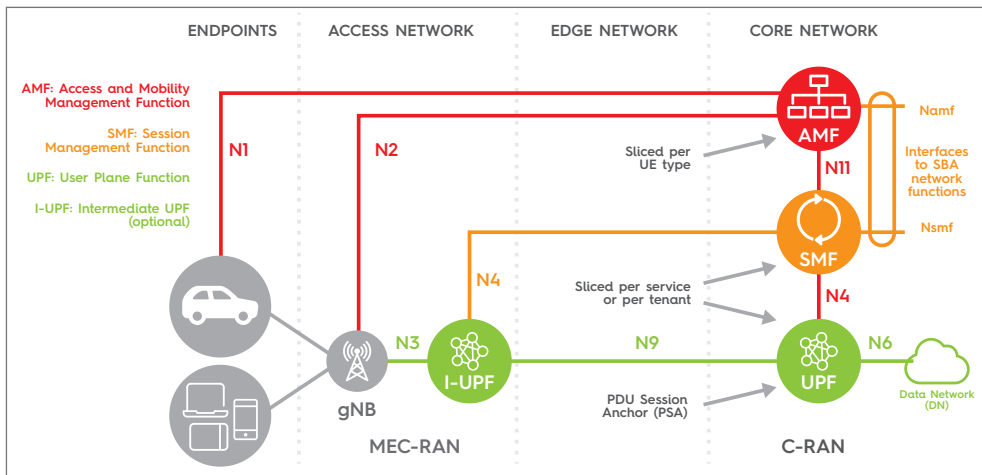


Fig. 58. Architecture simplifiée de la 5G¹⁰⁷.

On retrouve trois grandes familles d'équipements qui seront spécifiques à la 5G :

- **Cœur de réseau** (Core Network), qui a la charge de l'orchestration de tous les équipements mobilisés du côté infrastructure pour supporter les services 5G;
- **Réseau d'accès radio** (RAN), qui met en œuvre la nouvelle interface radio évoquée précédemment et interconnecte les équipements utilisateurs (User Equipment) ou points de terminaison (Endpoints);
- **Points de terminaison** (Endpoints), où l'on retrouve bien évidemment les smartphones, mais également les modems 5G qui seront utilisés pour les communications de machine à machine (MTC pour Machine Type Communications).

Infrastructures RAN et cœur de réseau

Pour le déploiement des infrastructures, les opérateurs avaient initialement le choix pour le RAN entre cinq grands équipementiers : Nokia, Ericsson, Huawei, ZTE et Samsung, auxquels s'ajoute CISCO pour le cœur de réseau. Sachant que, SDN/NFV oblige, ils peuvent également s'approvisionner pour l'infrastructure IT chez des constructeurs tels Dell, HPE et IBM. Ces fournisseurs participent très en amont à la rédaction des standards leur permettant de proposer des équipements compatibles à une nouvelle version majeure.

107. "What is the 5G user plane function (UPF)?", Metaswitch, 2021.



Fig. 59. Situation en mars 2021 des principaux fournisseurs d'infrastructure 5G¹⁰⁸.

Depuis 2020, AWS, Google et Microsoft se sont également positionnés comme des fournisseurs potentiels pour porter les services réseau nécessaires à la 5G. Les deux premiers en fournisseurs d'infrastructure IT, et Microsoft en constructeur avec notamment l'acquisition de Metaswitch Networks et d'éditeurs avec un ensemble de composants logiciels développés initialement par AT&T dans la virtualisation des réseaux et un cœur de réseau 5G¹⁰⁹.

Compte-tenu du nombre restreint de fournisseurs, notamment sur la radio pour laquelle Huawei n'est plus éligible dans un très grand nombre de pays, de nouveaux acteurs sont venus se positionner dans une approche Open Source sous l'égide d'une association O-RAN¹¹⁰. Si des géants des télécommunications ont rejoint cette association tels Nokia ou Qualcomm, une myriade de nouvelles compagnies ont émergé telles Mavenir ou AltioStar.

Afin d'estimer le temps entre la finalisation des spécifications et la disponibilité des équipements et comme les constructeurs ne communiquent pas leurs roadmaps, nous nous appuyons sur les dates des premiers déploiements. Et entre l'annonce de la disponibilité de la Release 15 Early Drop pour la 5G NSA, le 21 décembre 2017¹¹¹, et l'ouverture du premier service commercial 5G NSA en Corée, le 4 avril 2019¹¹², seulement quinze mois se sont écoulés. Pour la petite histoire, Verizon allumait son réseau 5G NSA une heure plus tard le jour même dans certains quartiers de Chicago et Minneapolis¹¹³.

Pour la version « main drop », qui standardise la version SA et inclut donc un cœur de réseau 5G, SK Telekom a annoncé mi-septembre 2019 un premier test entre une infrastructure 5G SA d'Ericsson et un terminal Qualcomm¹¹⁴. Soit neuf mois après la finalisation du standard. Finalement, Ericsson a communiqué la disponibilité de la version Release 15 Stand Alone en juin 2020, soit 18 mois après la finalisation de la spécification « Main Drop »¹¹⁵.

108. European 5G Observatory, mars 2021.

109. "Microsoft Teases 5G Cloud Core Progress Post-AT&T Deal", Matt Kapto, Janvier 2022.

110. Source : O-RAN Alliance.

111. "Industry support for 3GPP NR announcement", 3GPP, 21 décembre 2017.

112. « Corée du Sud : la 5G disponible vendredi auprès du grand public », Pierre Manière, 3 avril 2019.

113. "US dismisses South Korea's launch of world-first 5G network as 'stunt'", Justin McKurry, The Guardian, 4 avril 2019.

114. "SK Telecom Boasts 5G Standalone First in South Korea", Matt Kapko, 17 septembre 2019.

115. "New Ericsson software makes the shift to Standalone 5G easier", Ericsson, 6 juillet 2020.

Au-delà de ces délais très courts, on sait que ces équipements hors terminaux ne sont pas encore interopérables en environnement multivendeurs. Il faut probablement douze mois supplémentaires pour disposer d'équipements compatibles entre constructeurs pour la première version commercialisable 5G NSA. C'est un point important pour les opérateurs qui tiennent en général à diversifier leur sourcing et s'appuyer sur trois ou quatre fournisseurs principaux (deux à trois pour le RAN et un à deux pour le cœur), de telle manière à se prémunir soit du défaut éventuel de l'un d'eux, comme Nortel Networks en 2009¹¹⁶, soit d'un coût d'approvisionnement trop élevé.

Concernant la disponibilité des kits 5G privée, on note qu'elles sont peu ou prou les mêmes que pour les kits dévolus à des déploiements publics, ceci variant d'un constructeur à un autre. Les acteurs O-RAN disposent là d'un avantage car leurs solutions Open Source fonctionnent sur du matériel informatique standard.

À partir de la version Release 15 SA, il faudra compter 18 mois entre la finalisation des standards et la disponibilité des équipements.

Points de terminaison

Pour les points de terminaison, focalisons-nous d'abord sur les modems et distinguons d'une part ceux supportant les basses et hautes fréquences inférieures à 6 GHz, et d'autre part ceux supportant les fréquences millimétriques.

Pour les premiers et sans chercher à être exhaustif, citons :

- **Mediatek Inc.**, représentatif des fournisseurs bon marché, a annoncé la disponibilité de son M70 dès fin mai 2019¹¹⁷;
- **Qualcomm**, dans le haut de gamme, propose depuis le 13 février 2018 son Snapdragon X50¹¹⁸;
- **Samsung**, également dans le haut de gamme, a annoncé la disponibilité du modem Exynos 5100 en août 2018¹¹⁹.



Fig. 60. Modem 5G Exynos de Samsung¹²⁰.

Pour les seconds, supportant les fréquences millimétriques, voici une liste non-exhaustive des derniers modems 5G présentés par les principaux acteurs au premier trimestre 2021 :

- **Mediatek** a annoncé en février 2021 son modem 5G Helio M80, qui supporte les fréquences millimétriques, ainsi que celles inférieures à 6 GHz.
- **Samsung** a présenté son modem Exynos 2100 en Janvier 2021 qui supporte aussi les fréquences millimétriques et inférieures à 6 GHz.

116. « Le géant des télécoms Nortel en faillite », France 24, 15 janvier 2009.

117. 5G : MediaTek dévoile sa puce Helio M70 pour les smartphones à petit prix, David Igue, 29 mai 2019.

118. "Qualcomm officially announces Snapdragon x50 modem based on 5G Technology", MSPowerUser, 13 février 2018.

119. "Samsung announces Exynos Modem 5100, industry's first 5G modem fully compliant with 3GPP standards", 15 août 2018.

120. "Samsung announces Exynos Modem 5100, industry's first 5G modem fully compliant with 3GPP standards", 15 août 2018.

- **Qualcomm** a également proposé son modem 5G, X65, répondant aux mêmes fréquences que celles évoquées précédemment.
- **Hi-Silicon** (filiale de Huawei) propose également un modem 5G, le Kirin 9000, qui supporte à la fois les fréquences millimétriques, les basses et les hautes¹²¹.

En mai 2019, Qualcomm était le fournisseur de modem pour 57 % des terminaux 5G :

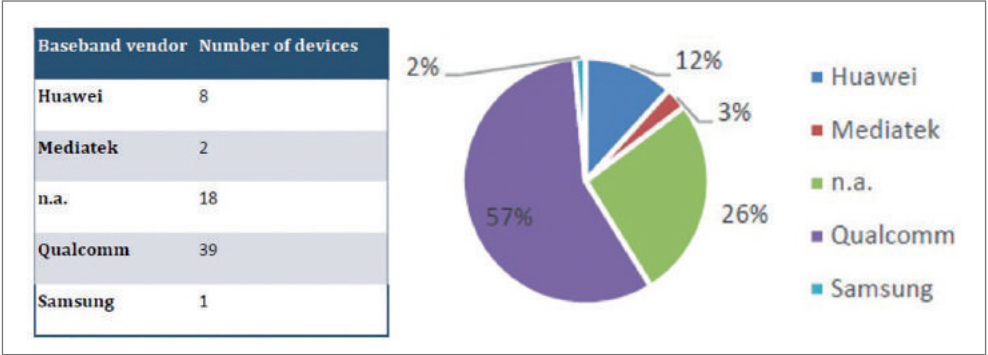


Fig. 61. Fournisseurs de modems 5G en pourcentage¹²².

Depuis, la production de modem 5G s’est banalisée puisque tous les terminaux modernes en sont maintenant équipés.

La disponibilité des modems n’est pas sur le chemin critique et le sera encore moins pour les releases suivantes pour lesquelles l’interface radio évoluera « juste » de façon incrémentale. D’ailleurs Unisoc propose d’ores et déjà son modem V8811 compatible avec la Release 16 depuis novembre 2020¹²³. L’enjeu résidera davantage dans leurs coûts et leur capacité à atteindre les objectifs de faible consommation électrique pour adresser le « massive IoT ».

La disponibilité des terminaux 5G dépend bien évidemment des modems. Aujourd’hui la majorité des nouveaux smartphones sont compatibles, et peuvent être utilisés dans 64 pays ayant lancé une offre commerciale 5G¹²⁴. On y retrouve par exemple en 2021 le Samsung Galaxy S21 Ultra, le OnePlus 9 Pro, l’iPhone 12, le Sony Xperia 1 III, le Oppo Find X3 Pro, et le Huawei P40 Lite 5G pour n’en citer qu’une maigre partie.



Fig. 62. Annonce du JioPhone Next lors de la 44^e assemblée générale annuelle de Reliance Industries.

121. <https://5gobservatory.eu/market-developments/5g-products>.

122. “5G Observatory - Quarterly Report 4 - Up to June 2019”, Commission européenne.

123. <https://5gobservatory.eu/market-developments/5g-products>.

124. “NTS snapshot : April 2021 - Status update”, GSA, avril 2021.



Fig. 63. Le JioPhone Next.

Notons qu'avec l'arrivée de la 5G, une toute nouvelle famille de smartphone va émerger avec des OS en deux tiers permettant de réduire considérablement leurs coûts. C'est le cas du JioPhone Next avec un OS Android, dont la date de sortie est attendue pour le 10 septembre 2021¹²⁵ (figure 63).

Ce smartphone, qui est le fruit d'un partenariat entre Jio et Google, sera mis en vente pour la somme très raisonnable de 60 €. La 5G va ainsi permettre de transférer les processus de calcul du terminal vers le cloud, et donc de réduire notablement le besoin en puissance des terminaux.

La disponibilité des terminaux n'est pas sur le chemin critique et la production en masse de ceux-ci devrait permettre d'aligner rapidement les coûts sur ceux actuels des modèles 4G. On constate en août 2021 un différentiel de 20 % entre un même modèle, équipé ou non de la 5G. Il faut néanmoins tenir compte du cycle de renouvellement des terminaux dont la tendance est à l'allongement (figure 64).

Les usagers des États-Unis et des cinq grands pays européens que sont la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni, l'Italie et l'Espagne, attendent maintenant en moyenne plus de deux ans pour renouveler leurs terminaux mobiles.

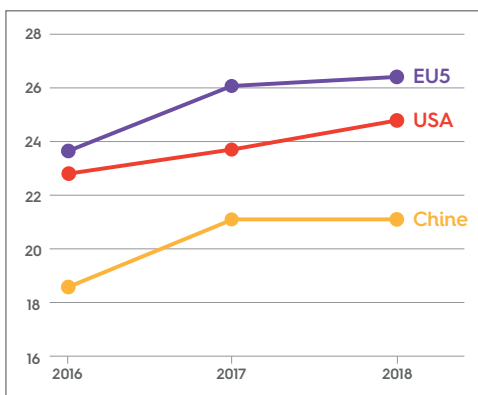


Fig. 64. Évolution du cycle de renouvellement des terminaux¹²⁶.

En France, l'ARCEP indique que le renouvellement varie de 29 à 32 mois, selon si le terminal est subventionné par un opérateur ou non¹²⁷.

À partir du moment où presque l'ensemble des terminaux intégreront la 5G, on peut considérer que la grande majorité de la population disposera d'un terminal 5G deux ans plus tard, soit dans l'année 2023.

125. Source : <https://gadgets.ndtv.com/mobiles/news/jiophone-next-4g-5g-phone-reliance-agm-2021-google-android-low-cost-smartphone-ambani-2471441>.

126. "Smartphone users are waiting longer before upgrading – here's why", Abigail Ng, 16 mai 2019.

127. Rapport sur le renouvellement des terminaux mobiles et pratiques commerciales de distribution, ARCEP, juin 2021).

Ce que nous pouvons retenir à propos des équipements 5G

On peut tabler qu'il faut à peu près deux ans entre la finalisation d'un premier standard et les premiers déploiements. Ce délai se réduira probablement à 18 mois pour les versions incrémentales suivantes. Il reste un point d'interrogation sur les coûts de production pour les modems destinés aux IoT, mais ceux-ci devraient devenir compétitifs lorsque les terminaux embarqueront massivement la 5G.

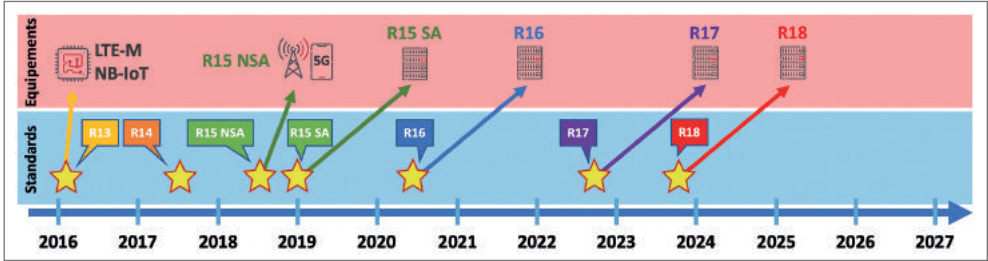


Fig. 65. Synthèse du planning des équipements 5G.

On pourrait penser qu'une fois les équipements disponibles, les opérateurs pourront immédiatement les déployer, mais encore faudrait-il qu'ils disposent des fréquences indispensables au déploiement d'un réseau mobile. Voyons maintenant comment l'attribution des licences vient influencer sur le calendrier de la 5G.

Les fréquences 5G

Comme évoqué précédemment, la 5G s'appuie sur trois gammes de fréquences :

- **Sous 1 GHz** : couverture généralisée dans les zones (péri)urbaines et rurales, indispensables aux IoT et aux communications critiques. Ces fréquences sont très recherchées et déjà fort utilisées pour la 2G, 3G et 4G;
- **De 1 à 6 GHz** : bon compromis en matière de couverture et de capacité, notamment sur les 3,3 à 3,8 GHz. C'est également encombré, mais il reste sur les différentes zones géographiques quelques centaines de mégahertz;
- **Au-dessus de 6 GHz** : fréquences pour « l'ultra haut débit », avec un accent mis sur les bandes à plus de 24 GHz¹²⁸. Là, les ressources sont beaucoup plus disponibles sur l'ensemble des territoires.

Voici une situation dans le monde en mars 2021 de l'allocation des fréquences pour la 5G :

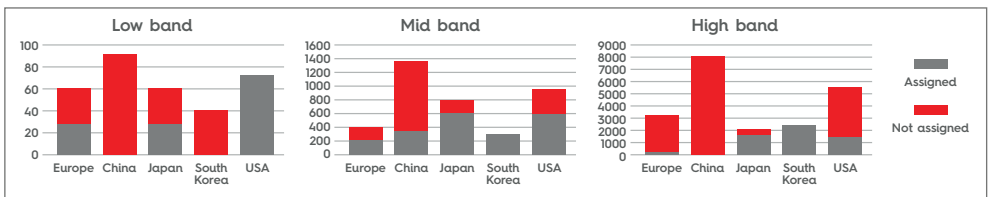


Fig. 66. Situation de l'allocation des fréquences dans le monde, mars 2021¹²⁹.

¹²⁸. « L'attribution des fréquences 5G, le point faible de l'Europe et de la France ? », Next Impact, Sébastien Gavois, 14 mars 2018.

¹²⁹. www.5gobservatory.eu/observatory-overview/5g-scoreboards.

Du point de vue de l'agenda, les États membres de l'Union européenne sont tenus d'autoriser :

- **Sous 1 GHz** : avant 2020, sauf s'il y a des raisons justifiées de reporter au milieu de l'année 2022 au plus tard, décision prise en avril 2016;
- **3,4-3,8 GHz** : avant fin 2020, décision prise en janvier 2019;
- **26 GHz** : également avant fin 2020, décision prise en mai 2019.

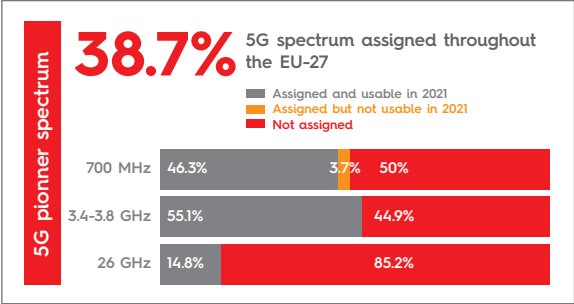


Fig. 67. Situation de l'allocation des fréquences en Europe, mars 2021¹³⁰.

Et si on fait un point d'étape à mars 2021 (Figure 67), les engagements sont très loin d'avoir été tenus puisque les 3/5 des fréquences espérées pour la 5G n'avaient pas encore été attribuées.

Bien évidemment, la crise COVID qui a affecté les pays européens explique pour partie ces retards.

En France, les fréquences sont allouées par l'ARCEP. La situation pour la 5G est comme indiquée ci-dessous (figure 68).



Fig. 68. Les bandes de fréquences envisagées pour les déploiements de la 5G en France¹³¹.

L'attribution des fréquences ne devrait donc pas être un enjeu sur le planning si ce n'est que cela dépend également de la qualité de spectre attribué.

C'est d'ailleurs l'une des principales raisons d'aller dans les fréquences hautes et millimétriques. En France, Allemagne, Danemark, Finlande, Italie et Suède, les bandes autour des 700 MHz sont plus ou moins déjà utilisées pour la 4G. En France, il est intéressant de comparer l'usage de cette bande par les quatre opérateurs (figure 69 page suivante) :

130. www.5gobservatory.eu/observatory-overview/5g-scoreboards.
 131. www.arcep.fr/actualites/les-communiques-de-presse/detail/n/5g-4.html.

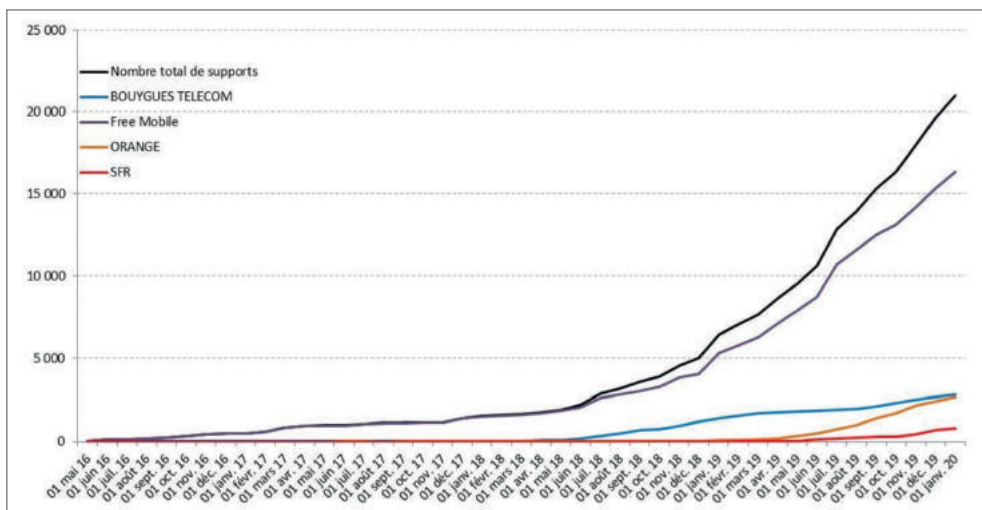


Fig. 69. Nombre de supports 700 MHz mis en service en métropole au 1^{er} janvier 2020¹³².

On voit clairement que SFR, Bouygues Telecom et Orange ont principalement réservé les fréquences 700 MHz à la 5G, là où Free a privilégié un usage massif pour la 4G. Comme le dit Ronan Dunne, Executive Vice President et Group CEO de Verizon Grand Public : « Les 5G ne seront pas équivalentes et c'est important à comprendre. Essentiellement, avec la façon dont les normes 5G ont été rédigées, plus la largeur de bande dont vous disposez est importante, plus vous pouvez activer de fonctions et de capacités de la 5G¹³³ ».

Pour le cas particulier de la France, les bandes de fréquences 700 MHz ont été attribuées en novembre 2015 avec 10 MHz pour Free et Orange et 5 MHz pour Bouygues Telecom et SFR¹³⁴. Suite à la crise COVID-19, l'attribution des fréquences millimétriques se fera après l'élection présidentielle d'avril 2022¹³⁵. Concernant les fréquences 3,5 GHz, suite aux enchères qui ont été décalées fin 2020, Orange ressort de la procédure le mieux loti, avec 90 MHz au total, devant SFR (80 MHz), Bouygues et Free (70 MHz chacun)¹³⁶.

Sachant qu'il faut disposer à minima d'une bande de fréquence de 100 MHz dans la bande de 3,5 GHz pour supporter les débits ambitionnés, les quatre opérateurs français disposeront malheureusement au mieux que de 90 MHz. Cela introduit un problème supplémentaire pour l'ensemble des pays européens, à l'exception notable du Royaume-Uni et de la Hongrie. Ne disposant pas de bandes passantes suffisantes pour servir l'ensemble des opérateurs, et compte tenu de l'adoption du Full Duplex, ces derniers devront synchroniser l'émission de leurs antennes pour ne pas avoir à aménager des bandes de gardes d'au moins 25 MHz.

132. Observatoire du déploiement des réseaux mobiles, ANFR, janvier 2020.

133. "Not all 5G is created equal, and that's important to understand. Essentially the way the 5G standards were written the broader the bandwidth you have, the available spectrum bandwidth you have, the more of the features and capabilities of 5G you can enable".

134. « 700 MHz : les enchères montent à 2,8 milliards d'euros, Free et Orange repartent avec 10 MHz », nextinpact.com.

135. « 5G : l'attribution des fréquences hautes se fera après l'élection présidentielle », Le Parisien.

136. « Attribution des fréquences 5G : tout le monde est content ? », degrouptest.com.

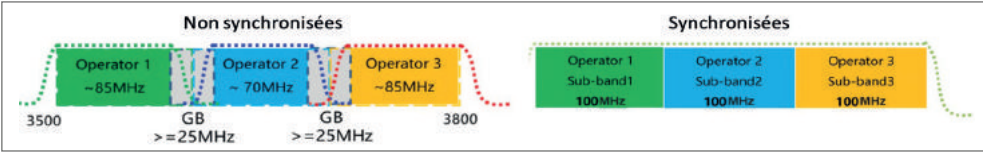


Fig. 70. Bandes de fréquences synchronisées et non synchronisées¹³⁷.

Ceci a un impact très important sur le déploiement où les opérateurs devront :

- respecter une trame de synchronisation avec une tolérance de plus ou moins 1,5 μ s¹³⁸,
- renoncer à se différencier sur le paramétrage de l'interface radio en jouant par exemple sur le compromis débit montant et débit descendant¹³⁹.

Pour être complet, l'attribution des licences a bien évidemment un impact sur les performances futures des services en fonction de la largeur des bandes de fréquences allouées selon leur positionnement sur le spectre, un impact sur le coût des services puisque l'utilisation de celles-ci est payante, et finalement des obligations afférentes associées à l'attribution de ces fréquences. Ces obligations sont définies par les autorités de régulation selon les priorités définies par les gouvernants. Pour la 4G en France, les obligations sont résumées ci-dessous¹⁴⁰ :

Obligations de couverture métropolitaines (en % de population)	11 octobre 2015	11 octobre 2019	11 octobre 2023	17 janvier 2024	17 janvier 2027	8 décembre 2030
 Population métropolitaine	25% (2,6 GHz)	60% (2,6 GHz)	75% (2,6 GHz)	98% (800 MHz)	99,6% (800 MHz) 98% (700 MHz)	99,6% (700 MHz)
 Population de chaque département métropolitain				90% (800 MHz)	95% (800 MHz) 90% (700 MHz)	95% (700 MHz)

Fig. 71. Les obligations des opérateurs en 4G en France.

Pour la 5G, les fréquences ont été attribuées pour quinze ans, pour l'ensemble du territoire métropolitain, avec les obligations suivantes¹⁴¹ :

- **Fin 2020** : délivrance des autorisations d'exploitation de la 5G en novembre, et ouvertures commerciales des premiers services 5G en décembre;
- **2022** : chaque opérateur doit avoir déployé 3000 sites 5G;
- **2024** : chaque opérateur devra avoir déployé 8000 sites 5G (dont 2000 en zone peu dense et dans les territoires d'industrie, hors des principales agglomérations);
- **2025** : chaque opérateur devra avoir déployé 10500 sites 5G (dont 2625 en zone peu dense et dans les territoires d'industrie, hors des principales agglomérations);
- **2025** : l'accès à la 5G devra être possible pour deux tiers de la population;
- **2025** : couverture des grands centres urbains et des axes de type autoroutier (16642 km);
- **2027** : couverture des routes principales (54913 km);
- **2030** : le réseau devra être 100 % 5G.

137. 5G Implementation Guidelines, Coverage Enhancement, GSMA, 28 mars 2019.

138. Décision n° 2019– 0862 du 2 juillet 2019 relative à la synchronisation des réseaux terrestres dans la bande 3,4 - 3,8 GHz en France métropolitaine.

139. « Faut-il synchroniser les réseaux mobiles 5G ? », ANFR, 2 juillet 2018.

140. www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-reseaux-mobiles/la-couverture-mobile-en-metropole/le-suivi-des-obligations-de-deploiements-des-operateurs.html#c609.

141. <https://5g.anfr.fr>.

En synthèse, le déploiement des usages requérant une pénétration indoor ou une longue portée ne sera pas impacté par l'attribution des fréquences. Les usages intermédiaires s'appuyant sur la bande 3,5 GHz ne seront pas également retardés sauf à ce qu'ils nécessitent 100 MHz. En revanche, les usages requérant les fréquences millimétriques pour le très haut débit n'ont pas, pour la plupart des pays, de planning établi. Ces dernières seront nécessairement disponibles en quantité suffisante.

Les infrastructures autres que 5G

Si nous venons de passer en revue les standards, le développement des équipements et l'allocation des fréquences qui sont des prérequis évidents au déploiement des réseaux eux-mêmes, les infrastructures déjà déployées sur le territoire vont également influencer sur le calendrier de la 5G. On en compte deux principales : la 4G et la fibre.

Infrastructures 4G

La plus évidente d'entre elles est bien évidemment la 4G. Si l'opérateur dispose déjà d'un réseau 4G couvrant la géographie ciblée pour la 5G, il peut d'ores et déjà déployer de nouvelles antennes 5G sur les points hauts déjà interconnectés à ses réseaux de collecte et de transport. Ceci permet l'interconnexion d'un RAN 5G dit NR au cœur de réseau 4G en s'appuyant sur le standard 3GPP Release 15 « Early Drop » évoqué précédemment.

Si l'on compare le temps de déploiement d'un réseau mobile pour un opérateur comme Free ne possédant pas encore son infrastructure à ses concurrents en possédant deux (2G, 3G) :

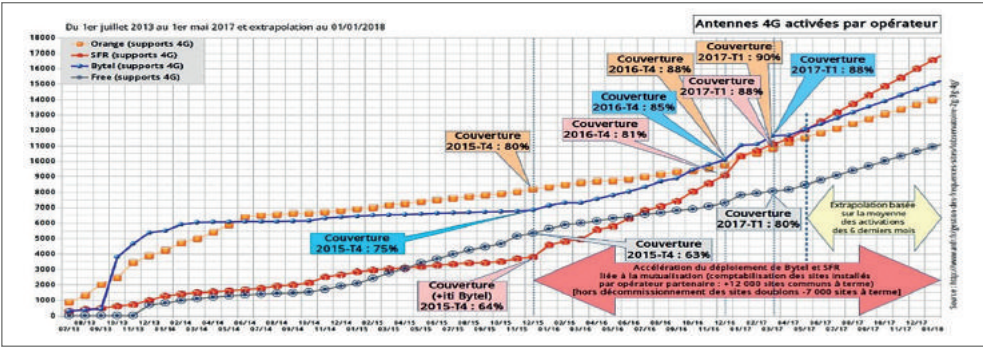


Fig. 72. Évolution du nombre d'antennes 4G en France par opérateur¹⁴².

On voit très clairement la différence entre Orange qui a « allumé » en un an 6000 sites en 4G, nombre pour lequel il aura fallu à Free peu ou prou trois ans¹⁴³.

142. Évolution et prévision des activations de supports 4G chez Free, Orange, SFR et Bouygues. Univers FreeBox, 10 mai 2017.

143. Le cas de SFR est particulier car l'opérateur avait choisi d'une part une stratégie de rénovation de sa radio consistant à remplacer les antennes 2G et 3G par de nouvelles qui supportent tout à la fois les trois protocoles 2G/3G/4G, et d'autre part l'usage des fréquences 800 MHz qui permettent d'avoir une meilleure couverture (même population couverte en décembre 2015 que Free avec moins 20 % d'antennes). Le cas de Bouygues Telecom est également particulier du fait qu'il avait obtenu l'autorisation de « refarmer » ses fréquences 1800 utilisées initialement pour la 2G et 3G en 4G. Ils n'ont pas eu à changer leurs antennes fonctionnant déjà sur ces fréquences et surtout ils n'ont pas eu à renégocier les baux et autorisations d'émettre.

Si l'on étudie le cas d'Orange pour la 4G :

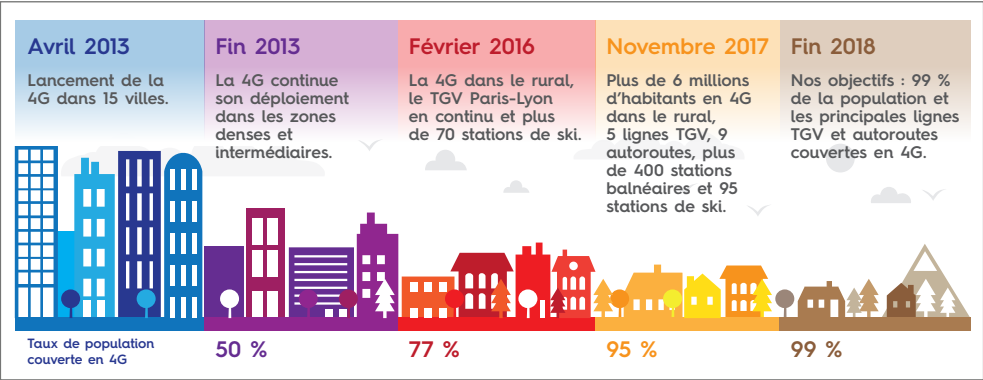


Fig. 73. Déploiement du réseau 4G d'Orange¹⁴⁴.

Il a fallu environ un an pour couvrir 50 % de la population, trois pour environ 80 % et six pour 99 %¹⁴⁵. On doit s'attendre à des délais similaires pour le déploiement de la 5G avec des nuances selon les pays et leurs conditions réglementaires (renégociations de baux, autorisations municipales), qui font varier grandement la durée d'installation d'un nouveau site.

En faisant une projection d'un calendrier similaire de la 5G à la 4G pour la France, nous obtiendrions :

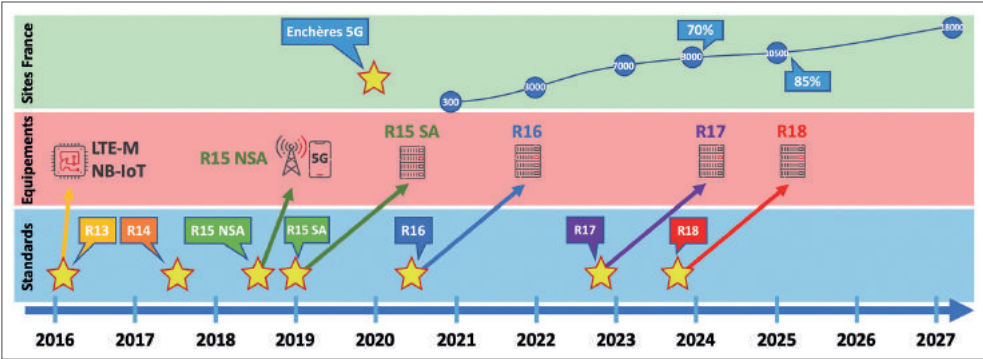


Fig. 74. Projection de calendrier d'activation des sites 5G.

Notons que les engagements pris par les opérateurs français en nombre de sites (3 000 en 2022, 8 000 en 2024 et 10 500 en 2025s) sont raisonnables.

Si la 4G est prépondérante pour soutenir le déploiement de la nouvelle interface radio 5G, elle l'est également pour les usages de l'IoT massif qui, s'appuyant sur les deux protocoles LTE-M et NB-IoT, d'ores et déjà « 5G Ready », permet ainsi de couvrir un large éventail d'usages (figure 75 page suivante) :

¹⁴⁴. www.reseaux.orange.fr/mobile/4g-plus-haut-debit.

¹⁴⁵. Cela peut paraître surprenant qu'en seulement un an on puisse couvrir 50 % de la population. C'est en fait possible dans les pays où la population se concentre dans quelques métropoles, ce qui est le cas de la France.

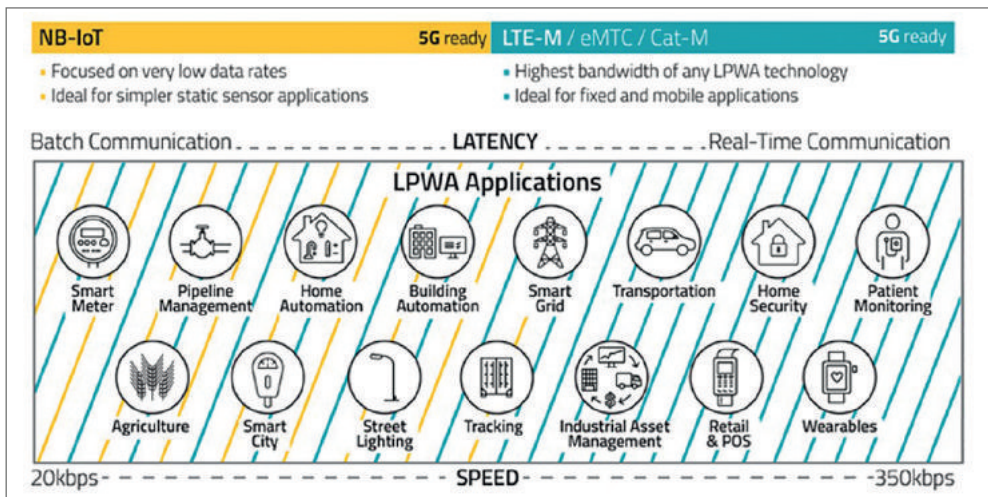


Fig. 75. LTE-M et NB-IoT : « 5G Ready » pour de nombreux cas d'usage¹⁴⁶.

En juillet 2021, le GSMA comptabilisait déjà 159 services commercialement ouverts¹⁴⁷ :

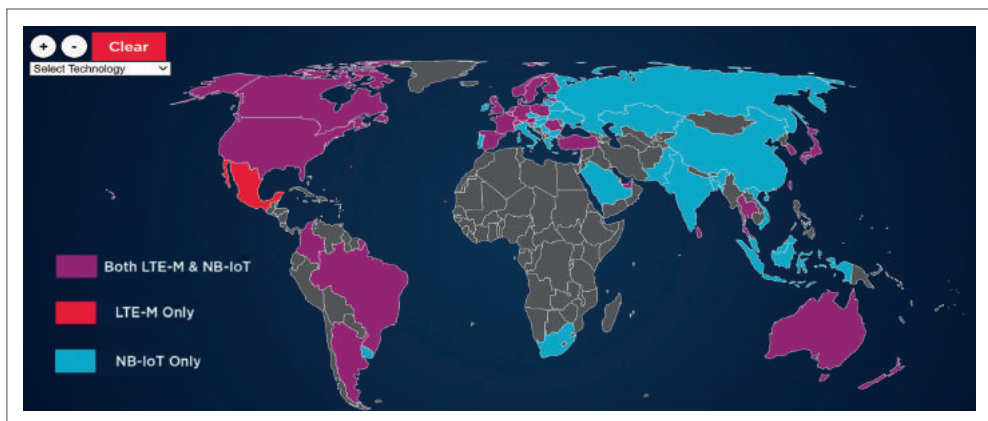


Fig. 76. LTE-M et NB-IoT : « 5G Ready » pour de nombreux cas d'usage¹⁴⁸.

Les opérateurs restent néanmoins prudents sur le « rebranding » 5G de ces offres afin de ne pas déstabiliser les clients existants et prospects en cours. Il sera intéressant d'observer l'évolution de leur stratégie de communication à venir. Orange Business Services nous dit à ce propos : « Les évolutions du LTE-M sont normées en même temps que celles de la 5G et par le même organisme de standardisation : le 3GPP. Le LTE-M va constituer une des « briques » de la 5G. [...] Il est donc nécessairement compatible et complémentaire de la 5G qui, dans un premier temps n'apportera pas de nouveautés pour l'Internet des objets¹⁴⁹ ».

La très bonne nouvelle, c'est que la 5G mMTC est d'ores et déjà disponible !

¹⁴⁶. www.gsma.com/iot/deployment-map/#deployments.

¹⁴⁷. www.gsma.com/iot/mobile-iot-commercial-launches.

¹⁴⁸. www.gsma.com/iot/deployment-map/#deployments.

¹⁴⁹. www.orange-business.com/fr/blogs/6-questions-pour-tout-comprendre-sur-reseau-lte-m.

Infrastructures fibre

La deuxième infrastructure qui va être déterminante pour le calendrier de la 5G est le réseau de fibre qui maille le territoire concerné. Un réseau d'accès très haut débit tel la 5G (mais c'est également vrai pour la 4G) nécessite, derrière les antennes, des réseaux de collecte et de transport suffisamment musclés pour supporter le transit des données de et vers Internet.

Concernant les antennes diffusant les fréquences hautes et basses, celles-ci sont déployées sur les mêmes points hauts que la 4G et donc héritent de la collecte fibrée de cette dernière.

Pour les fréquences millimétriques, compte tenu de leur faible portée et de leur incapacité à pénétrer les bâtiments, les opérateurs vont devoir déployer des millions de nouvelles cellules qui devront être également interconnectées à Internet (figure 77). Celles-ci peuvent être connectées via des faisceaux hertziens, mais doivent à un moment donné être raccordées à la fibre.

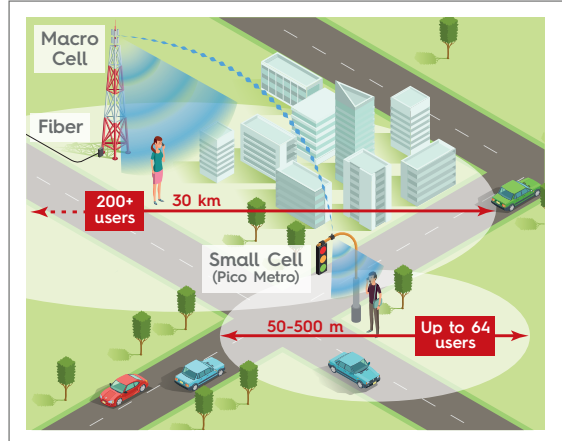


Fig. 77. Illustration de déploiement de petites cellules¹⁵⁰

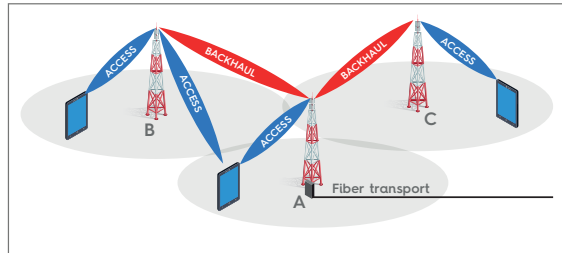


Fig. 78. Illustration de réseau de collecte intégré 5G¹⁵¹.

Ce que nous pouvons retenir à propos des infrastructures autres que 5G

Si l'opérateur dispose déjà d'un réseau 4G déployé, le déploiement d'une radio 5G lui prendra un an pour couvrir 50 % de la population, trois pour environ 80 % et six pour 99 %. S'il ne dispose pas d'un réseau mobile déployé, il faudra compter une année supplémentaire pour chaque palier.

L'interconnexion en fibre des antennes ne devrait pas être sur le chemin critique compte tenu du nombre raisonnable de sites à interconnecter (comparé au déploiement du FTTH) et de la capacité à utiliser la 5G en réseau de collecte pour les petites cellules indispensables aux fréquences millimétriques.

150. "Small cells market shares, strategies and forecasts, worldwide, 2018 to 2024", Tushar Desale, 5 mars 2018.

151. 3GPP - RP-170821 - on Integrated Access and Backhaul for NR.

En synthèse

La 5G ne se conçoit pas ex nihilo. Elle vient s'inscrire dans un paysage déjà mature avec pour ambition de repousser les murs là où les services mobiles existants sont à l'étroit : dans les zones denses sur du capacitair, pour les équipements terminaux aujourd'hui connecté par câble et demain sans fil, et surtout sur des usages où la qualité de service « au mieux » en « best effort » ne suffit pas.

La performance de la 5G dépendra de façon importante d'une part des infrastructures fixes et 4G et d'autre part de la quantité et de la qualité des fréquences dont elle pourra disposer.

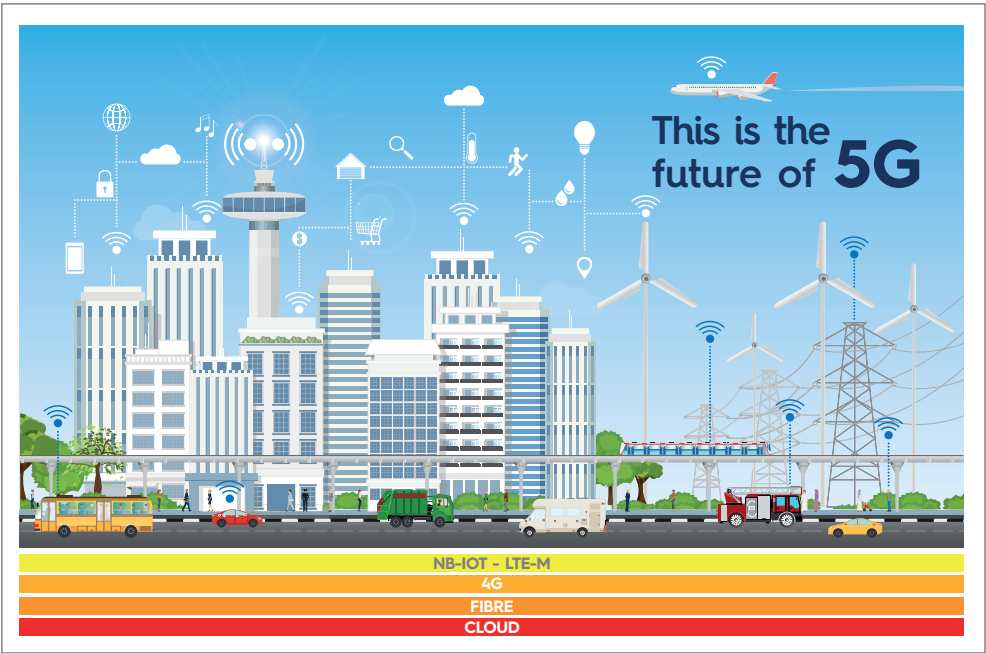


Fig. 79. La 5G vient augmenter la couverture numérique du territoire¹⁵².

152. À partir d'un graphique 5G-PPP.

Chapitre 3

Le déploiement
des réseaux 5G

Reste finalement à savoir quand les réseaux 5G seront disponibles et quels services ils pourront rendre. Et là s'ajoute aux prérequis que nous venons d'étudier (les standards, les équipements, les bandes de fréquences et les autres infrastructures) la stratégie même des opérateurs. Comment veulent-ils l'intégrer à leur portefeuille de services ?

La 5G, par l'éventail des possibilités offertes, permet de reconsidérer le positionnement des opérateurs. Voyons dans un premier temps les premiers déploiements réalisés dans le monde et dans un second les options qui pourront être retenues en fonction de leur disponibilité.

Premiers déploiements

Parler des premiers déploiements, c'est bien évidemment prendre le risque que cette section soit rapidement obsolète. Ce qui est important ici n'est donc pas de lister exhaustivement les réseaux 5G déjà ouverts à la commercialisation dans le monde, mais d'en extraire les premières tendances sur les options prises par les opérateurs quant aux services proposés. On parle ici bien évidemment du déploiement de la version 5G NR et pas des réseaux LTE-M et NB-IoT portés aujourd'hui par des réseaux 4G.

Je prends en référence le rapport trimestriel de l'observatoire 5G¹⁵³ de la Communauté européenne qui a l'avantage d'être mis à jour et qui peut donc être consulté régulièrement. Les informations ci-dessous sont partiellement extraites du rapport faisant un état des lieux en juin 2021, complétées par des recherches personnelles.

Qu'en est-il des services 5G publics proposés par les opérateurs :

- **Elisa** : en Finlande et Estonie depuis le 27 juin 2019, avec 130 MHz dans la bande de fréquences 3,4-3,8 GHz¹⁵⁴ et deux offres illimitées dont le prix varie selon la vitesse de connexion, 50 € pour 1 Gbps et 40 € pour 600 Mbps¹⁵⁵. Elisa propose également un service FWA (Fixed Wireless Access), disponible à partir de 40 € par mois avec des frais d'installation de 495 €. Le débit proposé peut aller jusqu'à 1 Gbps¹⁵⁶. En août 2021, ces 2 offres sont toujours proposées au même prix hors promotion, et Elisa en a ajouté une troisième d'entrée de gamme au prix de 35 € pour 300 Mbps¹⁵⁷;
- **Magenta Telekom** : en Autriche depuis mars 2019, une offre de 5G fixe en zone rurale avec 110 MHz¹⁵⁸ dans la bande de fréquences 3,4-3,8 GHz offrant du Wi-Fi à domicile; depuis septembre 2019, deux offres en data illimitée, l'une jusqu'à 300 Mbps pour 59,99 € et l'autre jusqu'à 150 Mbps pour 44,99 €¹⁵⁹. En août 2021, Magenta Telekom ne propose plus qu'une offre illimitée, celle allant jusqu'à 300 Mbps mais le prix est passé à 84,95 € par mois¹⁶⁰;

153. "5G Observatory Quarterly Report 12", IDATE digiworld, juin 2024.

154. "US starts edging towards mid-band spectrum release", Jamie Davies, 5 septembre 2019.

155. "Finland's Elisa says 5G pricing will vary with data speed and latency", Jeremy Horwitz, 28 mai 2019.

156. <https://elisa.fi/netti/omakotitalot/5g-kotineti>.

157. <https://elisa.fi/kauppa/puhelinliittymat>.

158. "5G spectrum cost disparity gives European telcos pause for thought", Mary Lennighan, 12 mars 2019.

159. "Magenta Telekom introduces new consumer tariff portfolio", 7 mai 2019.

160. www.telekom.de/mobilfunk/tarife/smartphone-tarife.

- **Sunrise** : en Suisse depuis mars 2019 avec 10 MHz dans les bandes de 700 MHz, 100 MHz dans les 3,5 GHz et 15 MHz dans les 1,4 MHz¹⁶¹ avec, à fin août 2019 déjà 80 % de la population couverte¹⁶² et un total de 781 villes/localités couvertes en date de août 2021¹⁶³. En 2019, Sunrise proposait une 5G fixe et une 5G mobile en option pour 10 CHF supplémentaires¹⁶⁴. En 2021, l'offre s'est élargie avec 3 forfaits 5G illimités : jusqu'à 100 Mbps pour 64 CHF, 200 Mbps pour 80 CHF et 2 Gbps pour 100 CHF par mois¹⁶⁵;
- **Swisscom** : également en Suisse, a déployé la 5G à la fois en ville et en zone rurale depuis avril 2019, avec pour objectif de couvrir 90 % de la population avant la fin 2019. En août 2021, Swisscom couvre 96 % de la population¹⁶⁶. En 2019 la 5G était incluse dans deux offres mobile illimitées «inOne mobile premium» et «inOne mobile go» jusqu'à 2 Gbps. En 2021, Swisscom propose une troisième option limitée en débit (50Mbps) et en volume (3 Gb). Ces forfaits sont disponibles de 60 CHF à 200 CHF par mois¹⁶⁷. Swisscom a acquis pour la 5G les fréquences suivantes : 2x15 MHz dans les 700 MHz, 50 MHz dans les 1400 MHz et 120 MHz dans les 3500 MHz;
- **EE** : au Royaume-Uni où le service 5G a été lancé conjointement dans six villes du pays avec des débits de 100-150 Mbps et des plans de tarification mensuels au volume de données à 54 £ et 74 £ pour respectivement 10 GB et 120 GB. EE a acquis 40 MHz dans la bande 3,4-3,8 GHz. Depuis, on peut constater une baisse des tarifications, avec le forfait le plus haut comprenant la 5G illimitée à seulement 35 £¹⁶⁸;
- **Vodafone UK** : «Goes live» lancé le 3 juillet 2019 dans sept villes avec l'ambition d'en couvrir douze supplémentaires pour la fin de l'année. On dénombre en août 2021 un total 124 villes couvertes par l'opérateur¹⁶⁹. Vodafone UK propose une offre traditionnelle de téléphone mobile, mais également un modem 5G permettant d'avoir

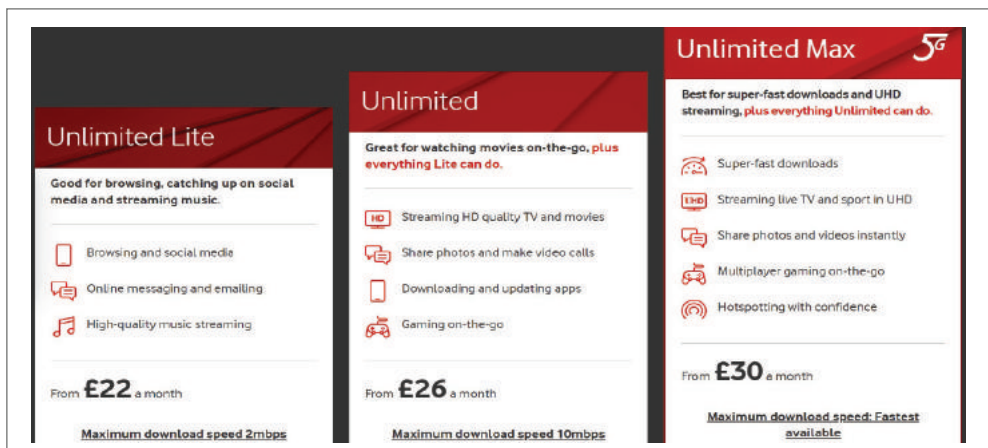


Fig. 80. Offre de Vodafone UK en data illimitée incluant la 5G¹⁶⁹.

161. "5G in Switzerland: Country is 'massively in the lead'", Sean Kinney, 20 août 2019.

162. "Sunrise claiming 80% (no joke) 5G population coverage already", Jamie Davies, 30 août 2019.

163. www.sunrise.ch/fr/clients-prives/world-of-5g/5g-coverage.html.

164. «Première Suisse : Sunrise lancera déjà la 5G dès la mi-mars !», Xavier Studer, 21 février 2019.

165. www.sunrise.ch/fr/clients-prives/mobil/we-mobile.html.

166. www.swisscom.ch/fr/about/reseau/5g.html.

167. www.swisscom.ch/fr/clients-prives/abonnements-tarifs/mobile/apercu-abonnements.html.

168. https://shop.ee.co.uk/sim-only/pay-monthly-phones?search=%3A%3ASimoContractLength%3A24%20Months&CTTag=CT_Sal_ShopHP_PI_SIMO_Q4_2020_I&expandFilter=true.

169. www.vodafone.co.uk/network#:~:text=5G in more places,and no locations across EU.

du très haut débit domestique¹⁷⁰. La 5G est vendue au même prix que la 4G pour les souscripteurs existants, mais surtout propose depuis le 10 juillet 2019 trois plans tarifaires en données illimitées dont le prix varie selon la vitesse maximale autorisée : jusqu'à 2 Mbps, 10 Mbps et sans limites pour respectivement 23 £, 26 £ et 30 £. Depuis, la tarification a légèrement évolué, seule la première offre est passée de 23 £ à 22 £ en août 2021¹⁷¹. À noter également que Vodafone UK a été le premier opérateur à proposer le roaming international 5G;

- **3 UK** : a ouvert son service 5G le 19 août 2019, dans un premier temps pour une offre domestique en Fixed Wireless Access (FWA) proposée à 35 £ mensuelles. 3 UK dispose de 140 MHz dans la bande 3,5 GHz à comparer aux 50 MHz de Vodafone et 40 MHz de EE et O² et aura donc un avantage certain sur les débits. Le déploiement de la 5G mobile a été lancé en août 2019¹⁷². L'opérateur propose un seul forfait illimité, disponible à hauteur de 20 £ mensuelles¹⁷³;
- **Vodafone Spain** : a lancé son offre commerciale dans quinze villes le 15 juin 2019 avec des vitesses jusqu'à 1 Gbps et 2 Gbps à la fin de l'année. En mars 2021, l'opérateur couvrait 25 villes en Espagne¹⁷⁴. La 5G est incluse sans supplément de coûts dans toutes les offres basiques et illimitées. Vodafone Spain a acquis 90 MHz dans la bande 3,4-3,8 GHz¹⁷⁵;
- **Vodafone Italy** : a lancé son réseau 5G dans cinq villes le 6 juin 2019 dont l'usage est inclus dans toutes les offres sans coûts additionnels. En août 2021, l'opérateur est présent dans 25 villes italiennes¹⁷⁶. Vodafone Italy a acquis 20 MHz dans la bande 700 MHz, 80 MHz dans la bande 3,4-3,8 GHz et 200 MHz dans les 26 GHz¹⁷⁷;
- **Telecom Italia Mobile** : a allumé son réseau 5G en 2019 dans deux villes, Rome et Turin, avec trois plans tarifaires en fonction du volume de données à 19,99 €, 29,99 € et 49,99 € pour respectivement 40, 50 et 100 GB à une vitesse allant jusqu'à 2 Gbps. Cette même année, on constate que l'opérateur est présent dans 15 villes italiennes¹⁷⁸. À l'été 2021, ces offres ont évolué pour proposer des volumes de 50 GB, 100 GB et illimités pour respectivement 12 €, 20 € et 35 €¹⁷⁹. Les clients des offres historiques pouvaient souscrire à une option de 10 € pour y ajouter la 5G. TIM a acquis 20 MHz dans la bande 700 MHz, 80 MHz dans la bande 3,4-3,8 GHz et 200 MHz dans les 26 GHz¹⁸⁰;
- **Fastweb** : est un fournisseur d'accès fixe italien (fibre et xDSL) qui propose depuis le 27 décembre 2020 de réduire la fracture numérique dans les petites et moyennes villes italiennes avec son nouveau service 5G FWA (Fixed Wireless Access). UltraFWA offrira des vitesses allant jusqu'à 1 Gbps dans un total de 50 localités en 2020, passant à 500 en 2021 puis environ 2 000 en 2024 pour une couverture totale de 12 millions de foyers dans les zones non éligibles à la fibre¹⁸¹.

170. "Vodafone 5G goes live on 3 July 2019 in the UK, with 5G roaming available this summer", 14 mai 2019.

171. www.vodafone.co.uk/unlimited-data-plans.

172. "The current state of 5G deployments in the UK", Juan Pedro Tomás, 29 novembre 2020.

173. www.three.co.uk/Store/SIM/Plans_for_phones.

174. "Vodafone's 5G network already reaches 25 Spanish cities", Juan Pedro Tomás, 25 mars 2021.

175. "Vodafone Spain to switch on 5G network in 15 cities on 15 June", 10 juin 2019.

176. www.vodafone.it/eshop/contenuti/mobile/5g.html.

177. "Operators splash €6.5B in Italy 5G spectrum auction", Chris Donkin, 3 octobre 2018.

178. www.tim.it/fisso-e-mobile/mobile/reti-veloci-5g.

179. www.tim.it/fisso-e-mobile/5g.

180. "Operators splash €6.5B in Italy 5G spectrum auction", Chris Donkin, 3 octobre 2018.

181. "Linkem and Fastweb connect first 3 localities to 5G FWA service", 14 décembre 2020.

- **Ooredoo** : au Qatar, a lancé dès 2018 un service de 5G fixe avec 100 MHz dans la bande 3,4-3,8 GHz¹⁸². Depuis février 2020, la 5G mobile est disponible¹⁸³;
- **SK Telecom** : en Corée, a allumé son réseau 5G le 5 avril 2019 simultanément avec KT et LGU+. SK Telecom a opté pour un déploiement favorisant le débit descendant jusqu'à 2 Gbps avec de l'agrégation de porteuses 4G et 5G¹⁸⁴. Au lancement de l'offre, SKT avait déjà déployé 34000 antennes. À la fin 2020, SK telecom comptait 5,5 millions d'abonnés 5G, l'objectif fin 2021 étant de 9 millions¹⁸⁵. Quatre offres 5G étaient proposées avec un volume de données limite de 8 GB, 150 GB, 200 GB et 300 GB pour respectivement 48, 66, 84 et 110 USD mensuel¹⁸⁶. En août 2021, SK Telecom a fait évoluer ses quatre offres mensuelles avec deux forfaits illimités à 55 USD et 77 USD (ce qui varie est le volume de données en partage de connexion) et deux autres à 42 USD et 49 USD pour respectivement 110 GB et 250 GB limités en débit à 5 Mbps¹⁸⁷;
- **KT** : toujours en Corée, KT avait déployé au 5 avril 2019 30000 antennes et opté pour un déploiement favorisant la latence avec un débit de seulement 1 Gbps¹⁸⁸. Fin 2020, KT comptait 3,65 millions d'abonnés 5G¹⁸⁹. L'opérateur se singularise par des plans tarifaires qui offrent la data illimitée. C'est le volume de l'usage en modem (en « tethering ») qui fait varier le prix de base qui est de 70 USD¹⁹⁰. En 2021, on constate que la gamme tarifaire a baissé, avec un forfait 5G illimité d'entrée de gamme à 46 USD qui est doté d'une limitation de débit. Le plus cher est à 68 USD avec une 5G illimitée sans contrôle ni limitation de débit¹⁹¹;
- **LG Uplus** : également en Corée, a déployé fin mars 2019 18000 antennes et proposait initialement une gamme tarifaire avec un volume de données limitées de 9 GB, 150 GB et 250 GB pour respectivement 49, 66 et 84 USD¹⁹². Depuis, l'opérateur coréen propose un panel de quatre forfaits 5G illimités allant de 81 à 110 USD en fonction du volume de données en partage de connexion¹⁹³. LG Uplus s'est distingué de ses deux confrères et néanmoins compétiteurs en misant sur les services de réalité augmentée (AR) et réalité virtuelle (VR). Outre le fait de proposer des dispositifs dédiés à la VR et la AR, LG Uplus s'est doté d'un



Fig. 81. Offre 5G de LG Uplus intégrant des services de RA/RV.

182. www.halberdbastion.com/intelligence/mobile-networks/ooredoo-qatar

183. "Ooredoo Qatar hits 5G milestone", Vaughan O'Grady, 11 mars 2020.

184. "SKT, KT split strategies on path to 5G", Joseph Waring, 28 mars 2019.

185. "SK Telecom targets 9 million 5G subscribers by end-2021: CFO", Juan Pedro Tomás, 4 février 2021.

186. "SK Telecom launches nationwide 5G services in Korea", Juan Pedro Tomás, 3 avril 2019.

187. www.tworld.co.kr/poc/eng/html/EN1.10T.html.

188. "SKT, KT split strategies on path to 5G", Joseph Waring, 28 mars 2019.

189. "KT ends 2020 with 3.62 million 5G subscribers: CFO", Juan Pedro Tomás, 12 février 2021.

190. "Korea Telecom: Unlimited 5G is essential, plans start at \$70 per month", Jeremy Horwitz, 2 avril 2019.

191. <https://product.kt.com/wDic/index.do?CateCode=6002>.

192. "South Korea carriers announce 5G pricing, data plans", Kendra Chamberlain, 3 avril 2019.

193. www.uplus.co.kr/ent/fiveg/Retrieve5GChrgList.hpi?mid=13049.

catalogue de contenus tels Pro Baseball, Golf, Idol Live, AR Live et VR Live afin de fournir une expérience immersive à ses clients : alors que l'opérateur ne représentait que 20 % du marché mobile, il a capté après seulement six mois d'ouverture 29 % de part de marché¹⁹⁵;

- **Verizon** : l'opérateur américain a lancé pour sa part deux services distincts de 5G. Le premier, lancé le 1^{er} octobre 2018, consiste à fournir de la connectivité domestique FWA pour Fixed Wireless Access. L'offre est similaire à une box Triple Play offrant voix fixe, Internet et chaînes de télévision, et cela pour un abonnement mensuel de 70 USD avec des débits descendants entre 300 Mbps à 1 Gbps selon la distance entre le domicile et l'antenne 5G. Pour cette offre, Verizon utilise un protocole pré-5G et s'appuie sur les fréquences millimétriques. En avril 2021, le service de connectivité domestique (FWA) couvre un total de 33 villes¹⁹⁶. Le second, lancé en avril 2019, est un service mobile, 5G Ultra Wideband Network, qui était accessible pour 10 USD en sus d'un plan tarifaire illimité 4G qui utilisait initialement des bandes millimétriques. Depuis, Verizon couvre également les USA en 5G au moyen des fréquences basses, en partagées avec la 4G grâce au Dynamic Spectrum Sharing (DSS)¹⁹⁷. En septembre 2019, le service était déployé dans onze villes mais de façon très parcellaire. En avril 2021, la couverture du réseau 5G de Verizon s'étend à un total de 71 villes¹⁹⁸ (33 villes en FWA) avec une utilisation des trois bandes de fréquences¹⁹⁹. En 2021, on constate que l'opérateur propose trois différents forfaits 5G allant de 70 à 90 USD. Ce qui les différencie est le volume de hotspot disponible. Chacune de ces offres est proposée en illimité. Le prix des forfaits diminue en fonction du nombre choisi²⁰⁰. La promesse est de fournir un débit descendant moyen à 450 Mbps²⁰¹;
- **AT&T** : l'autre grand opérateur américain a ouvert son réseau 5G, également en fréquences millimétriques, le 21 décembre 2018 dans douze villes. En août 2021, AT&T couvre un total de 250 millions de citoyens et plus de 14 000 villes²⁰² en fréquences basses partagées avec la 4G (DSS). Mi-2021, l'opérateur propose trois abonnements 5G grand public illimités, allant de 65 USD à 85 USD, en fonction du volume de données autorisé en partage de connexion.

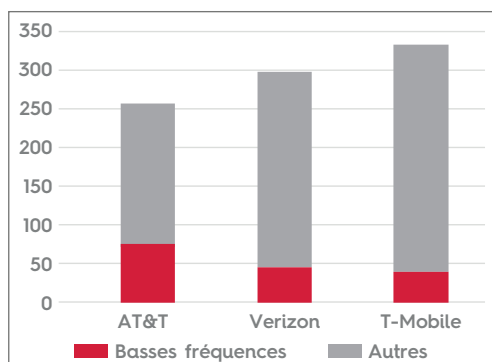


Fig. 82. Architectures des Réseaux Privés 5G²⁰³.

194. U+ 5G VR Reaction - Vimeo.

195. "LG Uplus leads 5G service with AR, VR features: Report", Guo Yiming, 13 septembre 2019.

196. "Verizon expands 5G to more cities", Verizon.com, 20 avril 2021.

197. "What frequency is 5G?", Verizon.com, 18 novembre 2019.

198. "Verizon expands 5G to more cities", Verizon.com, 20 avril 2021.

199. "List of 5G Bands in the US for Verizon, AT&T, Sprint and T-Mobile", Arjun Sha, 21 janvier 2021.

200. www.verizon.com/plans/unlimited.

201. "Verizon 5G Rollout: Locations, Phones, Price and More", Philip Michaels, 6 septembre 2019.

202. "AT&T hits 250M milestone with 5G low-band coverage", Monica Allevan, 14 juillet 2021.

203. www.att.com/5g/coverage-map.

- **T-Mobile US** : suite au rachat de Sprint, est devenu un concurrent redoutable pouvant disputer le leadership à Verizon et AT&T. La fusion a été conditionnée au transfert d'une partie des fréquences des deux opérateurs à un nouvel acteur Dish tout en laissant au nouveau conglomérat un portefeuille de fréquences cumulées phénoménal. Depuis février 2021, une nouvelle enchère d'attribution dans les fréquences hautes ont permis à AT&T et Verizon de rattraper partiellement leur retard.
- **Telstra** : en Australie, a lancé le 22 mai 2019 son service 5G dans la bande des 3,6 GHz pour laquelle elle dispose de 60 MHz contiguës. L'opérateur couvre plus de 2 700 banlieues et 200 villes à travers l'Australie dont Port Douglass dans le Queensland, Yass dans le New South Wales et Devonport en Tasmanie²⁰⁴. Telstra proposait un modem 5G de HTC pour servir soit des besoins professionnels permettant de créer un hotspot Wi-Fi sécurisé, soit un usage familial et offrir la possibilité à toute la famille du streaming ou des jeux en 4K²⁰⁵. En septembre 2021, l'opérateur australien propose trois forfaits mobile incluant chacun la 5G. Les offres sont de 80GB, 120GB et 180GB pour respectivement 65 AUD, 85 AUD et 115 AUD par mois²⁰⁶.
- **Orange** : l'opérateur historique français a lancé son service commercial 5G le 3 décembre 2020 dans 15 communes françaises, dont Nice, Marseille, Le Mans, Angers et Clermont-Ferrand²⁰⁷. La stratégie d'Orange est de prioriser dans un premier temps le déploiement de la 5G dans les fréquences hautes. Le tableau en août 2021 est de 1890 antennes, dont 84 % dans la bande de 3,5 GHz et 16 % dans celle de 2,1 GHz²⁰⁸. L'opérateur propose quatre forfaits 5G, 70 GB, 100 GB, 150 GB et un forfait illimité, aux prix respectifs de 40 €, 50 €, 75 € et 95 €²⁰⁹.
- **Bouygues Telecom** : a ouvert également son réseau 5G en décembre 2020, avec une couverture initiale de 29 villes de plus de 100000 habitants²¹⁰. L'opérateur a privilégié le refarming (voir figure 85) en bande de fréquences moyennes permettant de s'affranchir des démarches administratives²¹¹. En août 2021, son réseau 5G comptabilise 3664 antennes, et demeure l'opérateur ayant le plus d'antennes 5G dans la bande de 2,1 GHz avec 2654, et 1010 sur celle de 3,5 GHz²¹². On retrouve dans ses offres deux forfaits 5G, dont un de 50 GB et un de 80 GB, respectivement à 31 € et 37 € par mois²¹³.
- **SFR** : a été le premier opérateur français à activer son réseau, le 20 novembre 2020 à Nice puis Montpellier, Bordeaux et Nantes²¹⁴. En mai 2021, SFR avait déployé la 5G dans 400 villes et communes²¹⁵. En août 2021, on comptabilise pour l'opérateur français un total de 1981 antennes sur les bandes 3,5 GHz et 2,1 GHz avec respectivement 1005 antennes pour la première et 976 pour la seconde²¹⁶. On dénombre quatre forfaits 5G qui offrent 80 GB, 120 GB, 160 GB et un illimité, qui sont respectivement proposés à 40 €, 50 €, 65 € et 95 € par mois²¹⁷.

204. www.telstra.com.au/5g.

205. "Telstra launches Australia's first 5G mobile device", 22 mai 2019.

206. www.telstra.com.au/mobile-phones/sim-only-plans#plans.

207. «Déploiement de la 5G : où en sommes-nous ?», Orange.com, 23 mars 2021.

208. www.zoneadsl.com/couverture-mobile/5g/orange.

209. <https://m.boutique.orange.fr/mobile/offres?gclsrc=aw.ds&withOpenPrices=false&withDevice=false>.

210. www.bouyguestelecom-entreprises.fr/bblog/lancement-5g-bouygues-telecom.

211. «Plus de 58000 sites 4G et 18000 sites 5G en France», Benoît Salles, 8 janvier 2021.

212. www.zoneadsl.com/couverture-mobile/5g/bouygues-telecom.

213. www.bouyguestelecom.fr/forfaits-mobiles/avec-engagement/sensation.

214. «Quel est le calendrier de la 5G en France ?», Julien Lausson, 20 novembre 2020.

215. «SFR continue d'étendre sa couverture en 5G», Maxime Blondet, 14 octobre 2021.

216. Source : www.zoneadsl.com/couverture-mobile/5g/sfr.

217. www.sfr.fr/offre-mobile.

- **Free** : a allumé son réseau 5G le 15 décembre 2020 avec 5 255 sites ouverts dès son lancement. L'opérateur affirmait couvrir plus de 40% de la population à cette même date, mais sur l'ensemble des sites, la majorité d'entre eux émettent sur 30 MHz dans les fréquences 700 MHz en utilisant le DSS, permettant de supporter à la fois des communications 4G et 5G²¹⁸. En juillet 2021, cette couverture s'étend à 62% de la population ce qui représente plus de 9 100 communes²¹⁹. On dénombre en août 2021 un total de 11 459 antennes dont 89% dans la bande de 700MHz et 11% dans celle de 3,5 GHz²²⁰. Concernant l'accessibilité, Free propose une offre unique 5G à 19,99€ avec 150 GB d'internet disponible²²¹.

En Chine, les trois opérateurs nationaux ont lancé concomitamment le jeudi 31 octobre 2019 le plus grand réseau commercial au monde, en couvrant, dès son ouverture 50 grandes villes²²². Début octobre 2019, ces trois principaux opérateurs avaient déjà 10 millions d'utilisateurs avant même d'avoir ouvert commercialement leur réseau²²³. On comptabilise pour le seul mois de juin 2021 42 millions de nouveaux abonnements 5G, portant le nombre total en juillet à plus de 495 millions à travers le pays²²⁴. Le nombre d'antennes déployées en date de juillet 2021 quant à lui avoisine le million (961 000) avec une multiplication par 8 en 18 mois²²⁵.

Concernant la 5G privée, celle-ci se projettera pleinement lorsque les équipements compatibles avec la Release 16, supportant les usages URLCC, seront disponibles. Néanmoins, quelques acteurs ont initié des déploiements 5G privée mais les volumes ne sont pas encore significatifs. En juin 2021, l'Observatoire de la 5G dénombre sans être exhaustif, 37 références en U27 pour seulement 11 pays, sachant que le PDG de Nokia Pekka Lundmark évalue le potentiel de ce marché mondial à 11 millions de campus industriels²²⁶. Ce qui est intéressant dans ces premiers déploiements n'est pas le volume mais les secteurs qui, en «early adopter», investissent dans la 5G. Nous détaillerons ceci dans le chapitre consacré aux verticaux.

Les principaux enseignements que l'on peut retenir de ces premiers déploiements :

- Tous les opérateurs ont choisi de déployer initialement des infrastructures conformes à la R15 early drop en NSA à l'exception notable de Verizon pour son service de FWA, sachant que l'opérateur a communiqué qu'il mettrait à jour son réseau dès que possible²²⁷. Dans les réseaux mobiles «standards really matter». En août 2021, aucun opérateur n'avait démarré directement en 5G SA. Par contre de nombreux opérateurs avaient des essais grandeur nature dont 4 en Europe (Deutsche Telekom en Allemagne et République Tchèque, Orange en France et 3 en Autriche²²⁸). Toujours en août 2021, seul KT en Corée avait mis en service son réseau 5G SA le 19 juillet 2021

218. «Free lance sa 5G à prix cassé», Amélie Charnay, 15 décembre 2020.

219. <https://mobile.free.fr/reseau-5G.html>.

220. www.zoneadsl.com/couverture-mobile/5g/free-mobile.

221. <https://mobile.free.fr>.

222. «La Chine lance le plus grand réseau mobile 5G au monde», Frédéric Schaeffer, 5 novembre 2019.

223. «China signs up 10M 5G users before networks launch», Joseph Waring, 8 octobre 2019.

224. «Presque 500 Millions d'abonnés 5G en Chine», David Peruch, 23 juillet 2021.

225. «La Chine a allumé près de 1 million d'antennes 5G», Raphaël Balenieri, 21 juillet 2021.

226. «Nokia Growth Dims Amid Supply Chain Crunch», Matt Kapko, 28 octobre 2021.

227. «SCWS Americas: Verizon and AT&T 5G Roadmaps Differ on FWA vs mobile '5G'», 10 décembre 2018.

228. «Four European 5G Standalone trials», Catherine Sbeglia, 28 juillet 2021.

soit un peu plus de 2 ans après l'ouverture de la 5G NSA²²⁹. En février 2022, les cœurs 5G Standalone sont encore rares, seul 19 d'entre eux sont déployés parmi les 200 réseaux 5G existants. Les opérateurs sont encore hésitants à investir lourdement dans le déploiement de cette nouvelle version sans garantie de revenus supplémentaires²³⁰.

- La 5G est l'opportunité de changer de paradigme pour les plans tarifaires et ne plus les faire varier selon le volume mais selon le débit descendant : de passer du quantitatif au qualitatif à l'instar notamment de Elisa, Magenta Telekom, KT, SK Telecom et Vodafone UK.
- Tout comme la 4G, la 5G ne permettra probablement pas aux opérateurs de revaloriser les offres grand public. «Nous avons lancé la 5G à un prix plus élevé», dit Philip Jansen, «mais il semble que le marché ne soit pas en mesure de maintenir cette valorisation, nos compétiteurs n'étant pas dans la même position que nous²³¹.» La tendance au lancement de la 5G est que les opérateurs «historiques» essaient de valoriser un premium alors que leurs challengers l'incluent gratuitement.
- La 5G se présente comme un réel différenciateur. Alors que la R15 early drop est loin d'inclure toute la richesse fonctionnelle attendue, les trois opérateurs coréens ont opté pour une stratégie différente : SK Telecom a privilégié le débit, KT la latence et LG Uplus les contenus. En Europe et aux Etats Unis, la stratégie des opérateurs se distingue selon qu'elle privilégie la couverture (avec l'usage du Refarming et du DSS) ou les débits (avec une prédilection à déployer en 3,5 GHz).
- La 5G se présente déjà comme un réseau d'accès, si ce n'est universel – c'est un peu prématuré –, pour le moins polyvalent : des smartphones classiques, des modems pour se créer des hotspots Wi-Fi très haut débit ou encore du très haut débit fixe (FWA) en concurrence avec le câble ou la fibre.
- La 5G s'envisage en fréquences sous-6 GHz et en fréquences millimétriques. Les millimétriques avaient été privilégiées par Verizon et AT&T qui ne disposaient pas au lancement de fréquences sous-6 GHz disponibles.

Voyons maintenant les options qui vont se présenter aux opérateurs dans les années à venir.

Cohabitation avec la 4G

Le premier sujet qui va occuper les opérateurs sera de déployer graduellement la 5G tout en maintenant la compétitivité de la 4G. En cela rien de nouveau pour les opérateurs ayant déjà eu à gérer la cohabitation 2G/3G et 3G/4G. Durant cette période, ceux-ci vont déployer progressivement la 5G tout en améliorant la 4G dans l'attente du point d'inflexion après lequel l'opérateur estime que le nombre d'utilisateurs utilisant la 5G est suffisamment important pour ne plus investir dans la version précédente.

229. "Samsung and KT launch Korea's first commercial 5G SA network", Rachael Sharpe, 19 juillet 2021.

230. "Carriers With 5G Cores Remain Lonely", Matt Kapto, 24 janvier 2022.

231. "We launched with a premium price for 5G and it looks like the market may not be able to sustain that premium because it looks like people aren't in the same position we are!" - BT group CEO Philip Jansen during its fiscal 2019 Q1 earnings call.

Prenons l'exemple de l'adoption de la 4G en France :

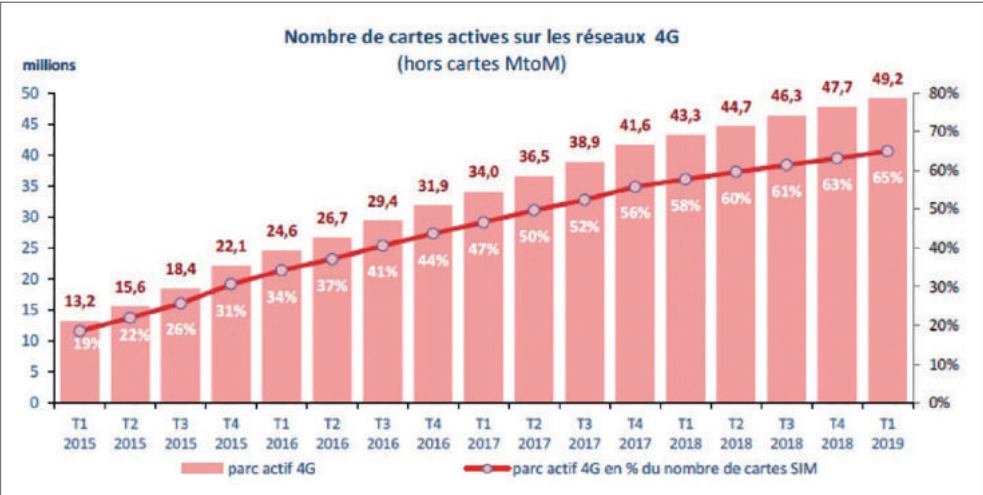


Fig. 83. Nombre de cartes actives sur les réseaux 4G²³².

La 4G a été ouverte aux clients «entreprises» par Orange en juin 2012, au grand public par SFR en novembre 2012 et le 12 mai 2013 par Bouygues Telecom. Il a fallu quand même cinq ans pour que 50 % des cartes SIM actives le soient en 4G. Le transfert d’une génération à la suivante dépend de nombreux facteurs : couverture du nouveau protocole, durée moyenne de renouvellement des terminaux et politique tarifaire des opérateurs qui peuvent ou pas l’inclure sans coût additionnel.

En prenant l’hypothèse que l’adoption de la 5G suive une progression identique à celle de la 4G, qui a elle-même apporté un saut qualitatif important vis-à-vis de la 3G, et en ramenant le nombre de cartes SIM à la population française estimée pour l’exercice à 66 millions d’abonnés, on obtiendrait la projection suivante :

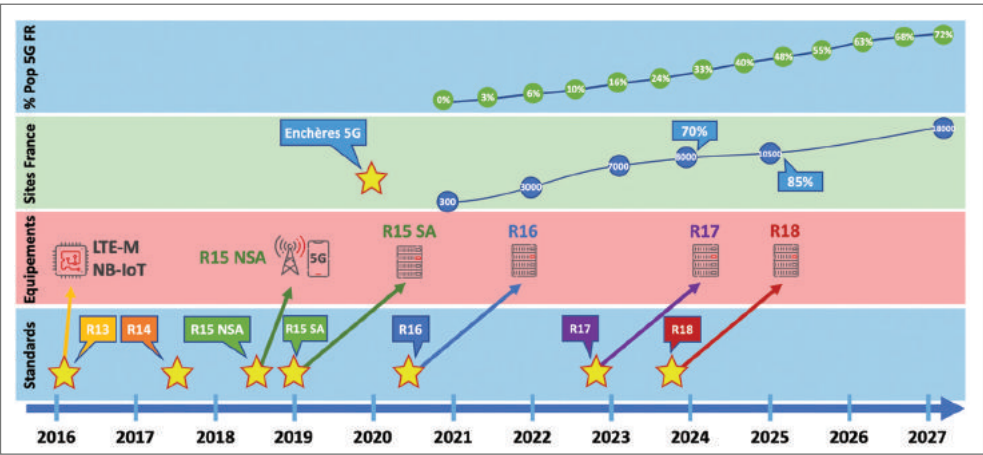


Fig. 84. Calendrier du pourcentage de la population française en 5G.

232. Marché des communications électroniques en France (T4 2020) - ARCEP

On atteindrait alors en 2025 50 % de la population en 5G. Ces prévisions sont d'ailleurs plus optimistes que celles de PWC pour les USA qui prévoit en 2020, soit après deux ans de déploiement, moins de 10 % de la population en couverture et seulement 2 % de terminaux en 5G²³³. À comparer avec précaution puisque ce n'est pas le même territoire.

Gestion du portefeuille de fréquences

Les fréquences attribuées peuvent être technologiquement neutres comme c'est le cas en Europe depuis le 25 mai 2016. Auparavant, les fréquences étaient attribuées pour un usage particulier et il fallait obtenir une dérogation du régulateur²³⁴. Les opérateurs peuvent donc réutiliser des fréquences allouées précédemment pour la 2G, la 3G voire la 4G, à la 5G qui en fera un meilleur usage. Ceci se fait déjà pour la 4G avec, par exemple, le travail de «refarming» de Bouygues Telecom sur les différentes bandes de fréquences qui lui ont été attribuées comme illustré ci-dessous :

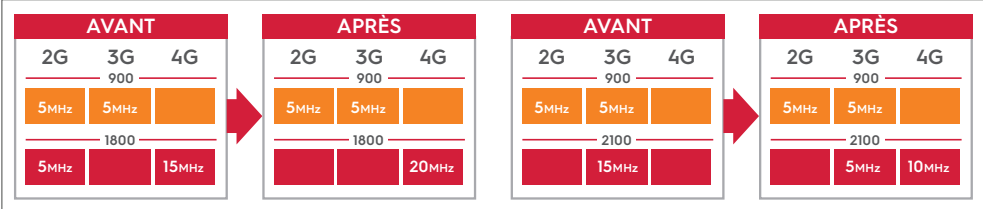


Fig. 85. Refarming de bandes de fréquences 1800 de la 2G à la 4G et 2100 de la 3G à la 4G, Next Impact.

Ceci est intervenu dans ce cas précis lorsque le pourcentage de cartes SIM activées en 4G s'est approché de 60 %, soit cinq ans après son ouverture. Dans cette démarche, BT a annoncé en juillet 2021 qu'ils éteindraient progressivement la 3G au profit de la 5G d'ici à 2023²³⁵.

La 5G pourra également bénéficier de ce mécanisme, mais sans tirer avantage du Full Duplex précédemment évoqué qui ne peut cohabiter avec le Frequency Division Duplexing utilisé en Europe pour la 2G, 3G et 4G :

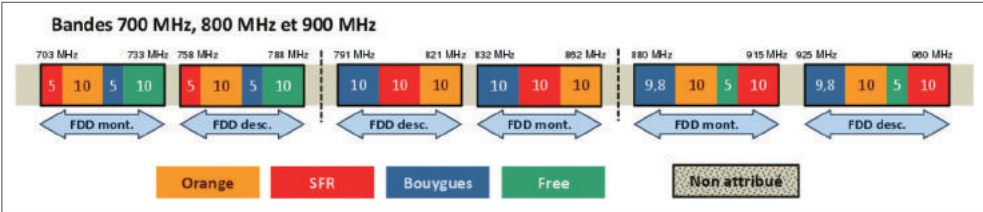


Fig. 86. Attribution des fréquences basses aux opérateurs français²³⁷.

233. "AT&T, Sprint, and Cisco Execs Throw Cold Water on 5G", Matt Kapko, 19 septembre 2019.
234. «Télécoms : L'Europe libère les fréquences», Romain Gueugneau, 25 mai 2016.
235. «4G+ : Bouygues Telecom revoit l'utilisation de ses fréquences, jusqu'à 542 Mb/s à Bordeaux», Next Impact, 20 février 2018.
236. "Britain's BT to phase out 3G in next two years as it ramps 5G", Paul Sandle & Michael Holden, 14 juillet 2021.
237. «Les attributions de fréquences en France métropolitaine aux opérateurs de réseaux mobiles ouverts au public», ARCEP.

Les bandes montantes (FDD mont.) et descendantes (FDD desc.) sont séparées, ce qui permet d'émettre et de recevoir simultanément sans interférence. La réallocation d'une partie de ces bandes de fréquences en 5G ne peut se faire qu'en émettant un signal en FDD²³⁸.

Par quelles bandes de fréquences commencer ?

Comme nous l'avons vu précédemment, la 5G va se déployer sur trois bandes de fréquences (basses, hautes et millimétriques), chacune d'elles apportant des caractéristiques spécifiques en couverture, en pénétration indoor et en débit.

Les opérateurs peuvent donc adopter des stratégies différentes selon leur positionnement actuel (peu ou prou leurs parts de marché et la qualité de leur 4G), leur stratégie de différenciation, et bien évidemment les fréquences dont ils disposent. Voyons les avantages et inconvénients à déployer sur l'une des trois bandes.

Commençons par les fréquences basses qui offrent l'avantage de pouvoir être réutilisées sur les points hauts existants de la 4G, et, grâce à la portée inhérente de ces fréquences, de très rapidement couvrir le territoire ainsi que l'intérieur des bâtiments.

Les opérateurs peuvent avoir de multiples motivations :

- En premier lieu, l'ambition qu'ils ont de pouvoir prendre un leadership 5G sur leur territoire. T-Mobile US, en déployant sur la bande des 600 MHz, s'était engagé à couvrir en seulement deux ans les États-Unis pour fin 2020²³⁹; en juin 2021, T-Mobile US couvrait déjà 295 millions d'habitants pour porter une stratégie d'être l'opérateur de l'Amérique rurale²⁴⁰.
- De pouvoir satisfaire à moindre coût les obligations prises envers le régulateur pour celles pouvant être adressées avec cette gamme de fréquence;
- De satisfaire les abonnés ayant acquis un terminal 5G se voyant ainsi connectés à la 5G tout le temps même si l'expérience est similaire à la 4G.

En France c'est la stratégie adoptée par Free occasionnant pour le coup la polémique de la « fausse 5G²⁴¹ ». À partir du moment où c'est le protocole 5G qui porte les communications entre le terminal et l'antenne, c'est sans aucun doute de la 5G. Néanmoins, si l'on s'en réfère au baromètre 4G/5G de l'internet mobile produit par QoSi en avril 2021 les débits descendants moyens en 5G sont de 28,1 Mbps pour 30 Mbps en 4G. On aurait pu s'attendre à ce que les débits 5G soient néanmoins supérieurs, mais c'est sans compter sur le partage des antennes 700 MHz au moyen du DSS qui dégrade un peu les performances. On est donc très loin de la promesse 5G de 100 Mbps moyens par utilisateur. À noter que seul Orange y parvient en 5G, mais également en 4G. Ceci est temporaire le temps que Free déploie la 5G sur les fréquences 3,5 GHz. Ce n'est une surprise pour personne, le CTO d'US Cellular, cinquième opérateur mobile américain couvrant les États de l'Iowa et du Wisconsin, avait décidé de prioriser la bande des 600 MHz, espérant « une amélioration significative », en doublant les vitesses

238. "How to implement Spectrum Re-Farming", GSMA.

239. One Step Closer to Nationwide 5G: T-Mobile Marks a World's First on the Road to 5G, 20 novembre 2018.

240. T-Mobile: On track with its rural expansion plans, 4 juin 2021.

241. « Fausse 5G » : la bataille des mots entre Free Mobile et Orange, 12 avril 2021.

LTE moyennes qui se situaient entre 8 Mb/s et 12 Mb/s»²⁴². C'est déjà très bien, mais nous sommes loin de la promesse des 100 Mb/s en débit perçu par l'utilisateur.

Vient ensuite l'option de déployer sur les fréquences hautes sur la bande 3,5-3,8 GHz. Pour rappel, cette bande de fréquence est le meilleur compromis entre la couverture, la pénétration et les débits à la condition de disposer d'un volume suffisant.

Les motivations pour les opérateurs sont :

- De fournir une expérience réellement différenciante avec la 4G au risque sinon de décevoir les primoadoptants;
- De limiter les coûts de déploiement, car la couverture 4G couvrant le territoire permet de bien couvrir en 5G en ajoutant aux points hauts existants de nouvelles antennes compatibles avec la bande de fréquence haute.

La bande de fréquence haute, à l'instar des fréquences basses, est également un bon compromis en termes de délai de déploiement et de performance même si selon les pays l'usage de nouvelles fréquences requiert comme en France la mise à jour des autorisations municipales et des baux avec les propriétaires qui hébergent les points hauts. Elle permet là de fournir une 4G «très améliorée» et ainsi supporter les usages ciblés par l'enveloppe de performances eMBB. Il est probable qu'un opérateur disposant de ces fréquences démarre au plus tôt son déploiement, mais qu'une fois après avoir couvert les plus grandes villes, il accélère plus ou moins sur les villes de taille intermédiaire selon la courbe d'adoption de la 5G. En Corée, celle-ci est remarquable avec plus de 3 millions d'utilisateurs dès septembre 2019, en seulement cinq mois²⁴³.

Concernant les millimétriques, les opérateurs envisagent deux usages : un service classique de télécommunications mobiles et un service d'accès fixe dit «Fixed Wireless Access» (FWA) pour lequel nous dédions un chapitre un peu plus loin. Verizon, sur les deux usages, et AT&T sur le premier, défrichent pour l'industrie comment déployer sur ces fréquences. Pour couvrir en millimétrique, les premiers déploiements montrent qu'il faut déployer une antenne tous les 300 mètres.

En considérant un coût de déploiement unitaire de 35000 USD par site, couvrir une ville comme Los Angeles représenterait un investissement de 630 millions USD²⁴⁴. Cela constitue donc un investissement énorme, nécessitant des chantiers très longs compte tenu du nombre de sites à construire, qui ne se justifie que là où les fréquences basses et hautes ne peuvent suffire à servir la demande. D'ailleurs, les premiers retours des USA sont mitigés où «le public se montre souvent déçu, le réseau n'étant parfois accessible que dans un quartier, voire quelques rues²⁴⁵». Pour ce qui est de l'Europe, comme le note l'étude de recherche publique de Rewheel-Tutela : «Contrairement à ce que

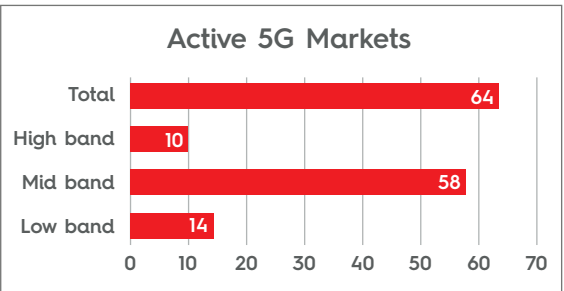


Fig. 87. Active 5G Markets.

242. "US Cellular CTO offers glimpse of 5G plan", Diana Goovaerts, 2 octobre 2019.

243. "South Korea hits 3M 5G subs as base stations double", Joseph Waring, 24 septembre 2019.

244. "AT&T, Verizon Perpetuate a 5G mmWave Mystery", Mike Dano, 3 mai 2019.

245. « La 5G connaît des débuts contrariés aux États-Unis », Nicolas Rauline, 2 septembre 2019.

l'on entend souvent dans les récits de déploiement de la 5G centré sur les petites cellules, nous n'avons connaissance d'aucun opérateur européen qui envisage d'entreprendre un déploiement important de petites cellules 5G²⁴⁶». D'ailleurs aux USA, certains pensent que le déploiement en millimétriques va décélérer voire s'arrêter, car même le FWA peut être porté par la bande 3,5 GHz²⁴⁷. On aurait pu s'attendre à ce que la 5G privée favorise les millimétriques, mais les premiers déploiements privilégient également les fréquences hautes.

En synthèse, il est maintenant clair que la 5G sera principalement portée par les fréquences hautes, les fréquences basses et millimétriques venant compléter la couverture géographique. D'ailleurs sur 64 pays pour lesquels la 5G est active, seulement 10 pays proposent de la 5G millimétrique, 14 en basses fréquences et 58 dans les fréquences hautes²⁴⁸.

Réseaux fixes sans fils ou Fixed Wireless Access

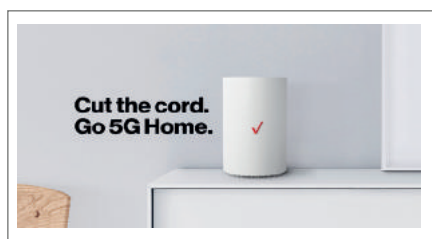


Fig. 88. Offre FWA de Verizon – Supprimons le fil. © 2019 Verizon²⁴⁹.

L'idée de proposer des services de connectivité fixe en s'appuyant sur des infrastructures mobiles n'est pas nouvelle. Cette technologie est déjà disponible dans de nombreux pays avec la mise à disposition de modems 4G qui offrent un point d'accès localement en Wi-Fi. En France, nous avons plusieurs offres de ce type marquées en Box 4G. Mais avec l'avènement de la 5G, il y a un réel engouement des opérateurs à concurrencer les réseaux d'accès existants : câble, xDSL et même fibre avec la double promesse de data illimitée à des débits élevés et constants.

Avec un avantage majeur : il n'est pas nécessaire de tirer une ligne entre le réseau de collecte et le bâtiment. Zion Market Research estime que le FWA représentera un marché de 23 milliards USD en 2025²⁵⁰. C'est une vraie opportunité pour les géographies où le FTTH est peu développé comme c'est le cas aux États-Unis ou en complément du FTTH pour couvrir les 5-10 % de la population pour lesquels déployer de la fibre jusqu'au domicile est trop onéreux.

Le premier service FWA en 5G, ouvert par Verizon en octobre 2018, explore l'usage des fréquences millimétriques. Le service est disponible depuis la fin juillet 2019 dans quinze villes américaines sélectionnées pour leur densité²⁵¹. En août 2021, la couverture totale s'élève à 47 villes. L'objectif est d'adresser 20 nouveaux marchés avec cette offre d'ici

246. "Contrary to the often-heard small-cell-centric 5G rollout narrative, we are not aware of any European operators that are planning to undertake a significant 5G small cell rollout".

247. "FCC C-Band Auction 107 Outcome and Consequences", Frank Royal, 15 janvier 2021.

248. "US C-band auction becomes world's costliest mid-band 5G auction yet", Julber Osio, 22 avril 2021.

249. Référez-vous au site de Verizon pour d'informations : <https://entreprise.verizon.com/fr-fr/> - © 2019 Verizon. Tous droits réservés. La photo référencée est la propriété de Verizon. Verizon, le logo Verizon et tous les autres noms, logos et slogans identifiant les produits et services de Verizon sont des marques commerciales et des marques de service, déposées ou non, de Verizon Trademark Services LLC ou de ses filiales aux États-Unis et/ou dans d'autres pays.

250. "Global 5G Fixed Wireless Access (FWA) Market Will Reach to USD 23,291 Million By 2025: Zion Market Research", 22 septembre 2019.

251. An Introduction to Network Slicing - GSMA.

252. "Verizon adds 4 more cities to 5G UWB network", Linda Hardesty, 31 juillet 2019.

fin 2021²⁵³. Les débits moyens sont autour de 300 Mbps et dans les situations favorables où le récepteur est proche de l'émetteur de 940 Mbps, ce qui est tout à fait comparable à de nombreuses offres fibre²⁵⁴.

Fastweb en Italie propose un service similaire à Verizon aux clients vivant dans de petites et moyennes agglomérations où la fibre optique n'est pas disponible. Cette référence démontre l'utilité de mixer fréquences hautes (3,5 GHz) et millimétriques (24 GHz) permettant des débits s'approchant du Gbps avec néanmoins une bonne propagation du signal dans les logements.



Fig. 89. Offre FWA de Fastweb Italie²⁵⁵.

Les autres opérateurs explorent le service FWA en tirant avantage du réseau 5G mobile dans les fréquences hautes en proposant un modem (figure 90).

Très similaire aux offres 4G existantes, la 5G peut réellement faire décoller cette option d'accès grâce à la généralisation de l'illimité. Comme le dit Dino Flore, vice-président des technologies et responsable du secteur européen chez Qualcomm : «L'une des nouveautés mise en avant pour le lancement de la 5G est le forfait illimité. [...] Non seulement il n'y a plus d'excuses technologiques, mais vous ne pouvez plus parler d'une limite en gigas désormais. C'est presque inévitable. C'est une conséquence (du déploiement de la 5G²⁵⁷)».



Fig. 90. Modem HTC 5G Hub proposé par Sprint, Telstra, Three UK, Deutsche Telekom, Magenta Telekom, Sunrise, and Elisa²⁵⁶.

Le slicing

Comme évoqué précédemment, le slicing est la clef de voûte de la 5G pour proposer le service réseau ad hoc à chaque usage. Cette fonction est disponible depuis la version R15 «Main Drop» qui permet de fonctionner indépendamment d'un réseau 4G.

Le mécanisme de slicing consiste d'une part à :

- Configurer une connectivité adéquate sur la latence, les débits montants et descendants, une convention de service (Service Level Agreement), la couverture, le nombre de connexions, le type de mobilité (vitesse de déplacement), la consommation énergétique, le niveau de sécurité.

253. "Verizon extends FWA 5G business service again", Martha DeGrasse, 5 août 2021.

254. "The FCC's long-awaited mid-band auction could accelerate 5G rollouts in the US", George Paul, 6 sept. 2019.

255. Fastweb lancia il 5G mmWave FWA a 1 Gbps in Italia : 500 comuni entro il 2021.

256. "HTC's 5G Hub is a 5G hotspot, Android entertainment device, and battery pack", Tom Warren, 25 février 2019.

257. «5G : les opérateurs n'ont "plus d'excuses" pour interdire les forfaits à data illimitée d'après Qualcomm», Maxime Lancelin-Golbery, 25 septembre 2019

- Attribuer et configurer les ressources réseaux nécessaires au slice. Cela peut comprendre différents services analytiques (Big Data), de gestion d'identificateurs, de sécurité, de facturation, de cloud, d'Edge Computing, de positionnement des dispositifs connectés et d'API ouvertes aux usagers du slice :

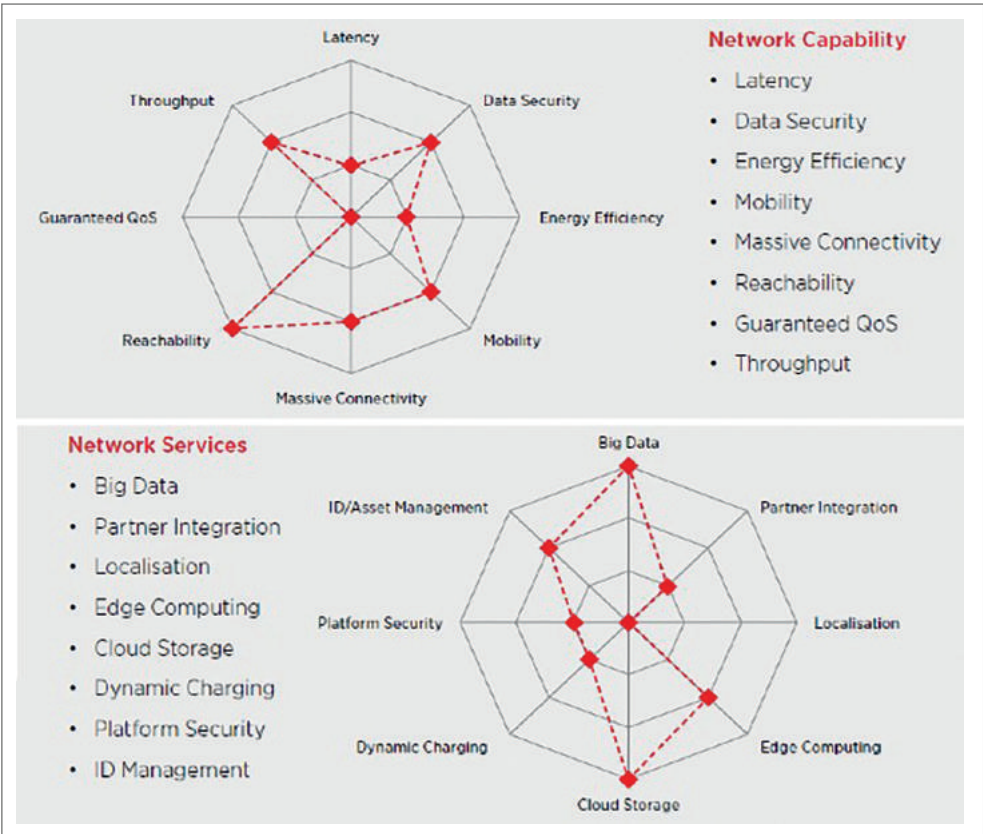


Fig. 91. Personnalisation d'un slice²⁵⁸.

Cela permet ainsi, sur une infrastructure unique, de disposer de plusieurs slices distincts :

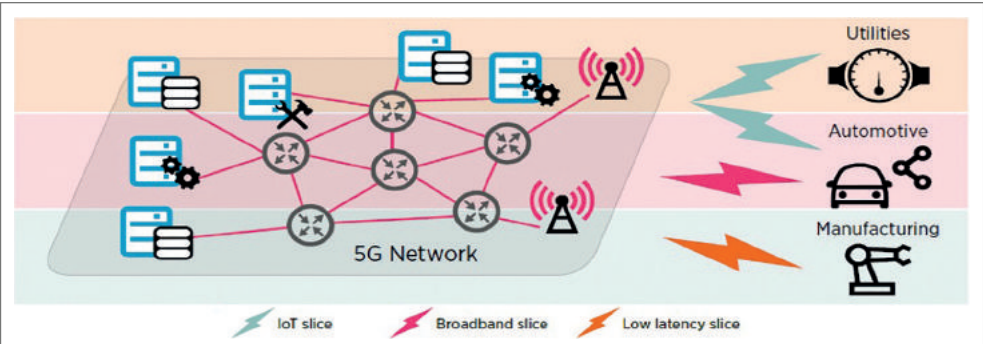


Fig. 92. Réseau 5G subdivisé en sous-réseaux virtuels configurés selon les usages²⁵⁹.

258. An Introduction to Network Slicing - GSMA.

259. An Introduction to Network Slicing - GSMA.

Cela pose alors la question du nombre de slices qui pourront être configurés sur un même réseau. Selon un sondage du TM Forum mené en 2018 auprès des Communication Services Providers (CSP) du monde entier, plus de la moitié d'entre eux admettaient qu'ils ne savaient pas.

Puisque la 5G est «softwarisée», elle peut supporter par conception un nombre illimité de slices. Mais en fin de compte ces slices doivent partager des ressources communes : des capacités de transports réseaux, des capacités de calcul et de stockage disposées en bordure ou «edge» ou en central, des antennes et in fine le spectre exploité par l'opérateur, chargé à ce dernier d'assurer le respect de l'ensemble des engagements pris pour chaque slice.

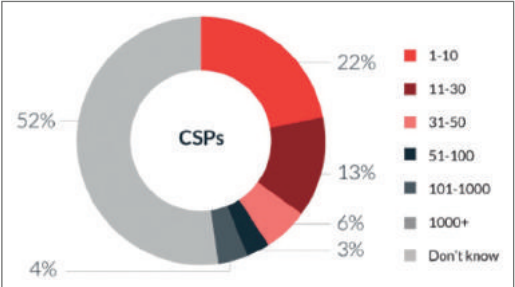


Fig. 93. Nombre de slices anticipés par les fournisseurs de services de communication²⁶⁰.

Par ailleurs, dans une projection de continuité de service à l'international et la capacité à accueillir les abonnés d'un autre opérateur, se pose la question de la portabilité d'un slice. Trois scénarios sont envisagés par le GSMA :

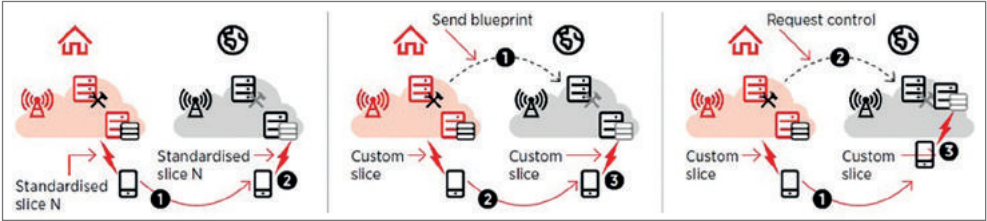


Fig. 94. Scénarios d'instanciation de slices pour le roaming international²⁶¹.

- **Slices standardisés** (schéma de gauche) que l'on retrouve en étant hébergé chez un opérateur tiers. Le terminal de l'abonné (1) s'attache à un réseau tiers et l'opérateur de ce réseau lui donne accès (2) à un ensemble de slices équivalents. Cela suppose que l'usage de ces slices se soit suffisamment développé sur plusieurs territoires pour que les opérateurs se coordonnent au préalable;
- **Slice reproduit** (schéma du centre) par l'opérateur hébergeur. La configuration du slice a été au préalable transmise (1). Le terminal de l'abonné (2) s'attache au réseau tiers qui crée à la volée le slice en conformité à la configuration transmise (3);
- **Slice créé à distance** (schéma de droite) et à la volée par l'opérateur de l'abonné. Le terminal de l'abonné (1) s'attache au réseau hébergeur qui transmet l'information à l'opérateur de l'abonné qui demande l'autorisation de contrôler la configuration du slicing (2). L'abonné bénéficie de la même configuration slicing que sur son réseau d'origine (3).

Dans les trois cas se pose la question de l'implémentation du roaming entre les opérateurs. Si l'on prend l'exemple d'Elisa en Finlande, qui propose trois plans tarifaires en data illimitée avec une vitesse de téléchargement capée, Elisa a inclus le roaming 5G pour les pays de l'Union Européenne et de l'Espace Economique Européen avec une limite mensuelle de 24 GB. Cependant, les utilisateurs jouiront toujours de la data illimitée dans

260. 5G Monetization : Operational imperatives, Juillet 2018 - TM Forum.

261. An Introduction to Network Slicing - GSMA.

les pays nordiques et baltes (Finlande, Suède, Danemark, Norvège, Estonie, Lettonie et Lituanie) en reproduisant en roaming la limite de débit descendant dans les pays où l'opérateur est présent²⁶²». C'est probablement ainsi que les slices seront gérés dans un premier temps : en spécifique sur la géographie contrôlée par l'opérateur de l'abonné et en «best effort» standard dans les pays visités. Ceci aura donc un impact très important pour les usages nécessitant une convention de service spécifique sur plusieurs pays.

Vient en sus la question : quelle latitude l'opérateur va donner aux utilisateurs pour gérer leurs slices? Va-t-il exposer via des API la possibilité à ses clients de créer et de gérer leurs slices en ouvrant l'ensemble des options possibles? Proposer des slices qui s'inscrivent dans une enveloppe de performance donnée (telles eMBB, mMTC ou URLLC) et laisser à l'utilisateur le paramétrage fin dans une épure prédéfinie? Ou finalement ne rien laisser à la main du client et intermédiaire toute modification? Un premier exemple de mis en oeuvre de slices par l'opérateur Smartone à Hong Kong va être déployé consistant à offrir aux usagers la possibilité de «booster» la connectivité en sécurisant les débits montants, descendants et en réduisant la latence. Cette offre peut paraître antinomique à la promesse d'abondance de la 5G²⁶³.

Quelles que soient les options retenues par l'opérateur qui peuvent être combinées, celui-ci doit assurer :

- La capacité à tenir les engagements des différents SLA souscrits. Sachant que les slices reposent sur une infrastructure mutualisée, chaque modification doit être validée à l'analyse des impacts éventuels sur les autres slices;
- La cohérence du service sur la géographie concernée par la slice. Cela peut être particulièrement délicat en environnement multivendeurs dont les équipements ne se comportent pas nécessairement de façon identique.

Le slicing est disponible avec la R15 SA «main drop», l'est également optionnellement en 4G, mais sera très probablement structurant aux offres à partir de la R16 qui permettra d'élargir ainsi le spectre des usages verticalisés.

Partage de réseaux

Le partage de réseaux est pratiqué par les opérateurs depuis les années 1990 avec de nombreuses variantes. Techniquement, tous les équipements qui composent les réseaux mobiles peuvent être partagés. Cinq modèles sont distingués :

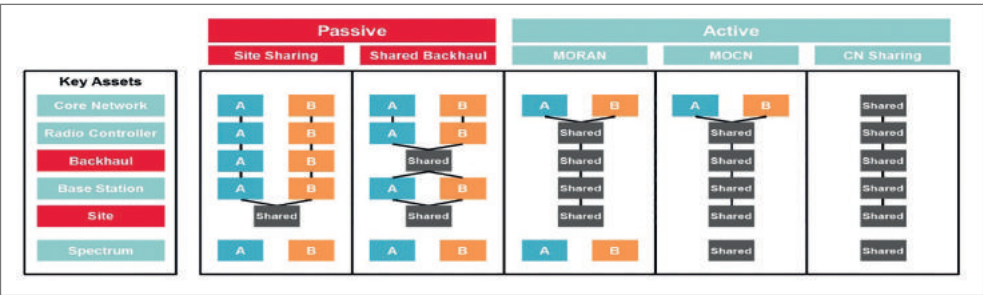


Fig. 95. Modèles de partage d'infrastructure²⁶⁴.

262. <https://elisa.fi/kauppa/puhelinliittymat/5g>.

263. "Ericsson 'flips the coin' on network slicing with end-user application", Catherine Sbeglia Nin, mars 2022.

264. "5G Implementation Guidelines", 28 mars 2019, GSMA.

- **Site Sharing** permet aux opérateurs de partager le même complexe physique, mais ils doivent installer leurs propres mâts, antennes, armoires, équipements et connectivité aux réseaux. De multiples variantes existent incluant ou pas les armoires, l'alimentation électrique ou le refroidissement. Aujourd'hui, le Site Sharing se généralise via la constitution de sociétés spécialisées dans la gestion des infrastructures de télécommunications sans fil que l'on appelle des «Tower Co». En 2019, Iliad a cédé 5700 sites français et 2200 sites italiens²⁶⁵. Auparavant, le groupe Altice a créé SFR TowerCo et Towers of Portugal pour y loger ses pylônes²⁶⁶. Dès 2017, Bouygues Telecom avait transféré les infrastructures passives de 3000 sites²⁶⁷. En février 2021, Orange a annoncé la création de TOTEM, sa TowerCo européenne, qui est opérationnelle depuis la fin de la même année. Cette TowerCo va gérer un portefeuille de tours composé de 25 500 sites, répartis entre la France et l'Espagne (respectivement 17 500 et 8 000)²⁶⁸. Ces sites peuvent ensuite accueillir plusieurs opérateurs;
- **Shared Backhaul** est une extension du site sharing en mutualisant la connectivité du site au réseau;
- **MORAN**²⁶⁹ consiste à tout mutualiser à l'exception du cœur de réseau et du spectre. C'est l'option choisie par SFR et Bouygues Telecom en France pour servir 57 % du territoire français à l'exclusion des trente-deux plus grosses agglomérations du pays²⁷⁰. En rouge, les zones prises en charge par SFR pour les deux opérateurs; en bleu, par Bouygues Telecom; en gris, où chaque opérateur déploie son réseau en propre;
- **MOCN**²⁷¹ permet à un opérateur de prendre en charge sur une géographie donnée l'ensemble des services de communication pour un autre, à l'exception du cœur de réseau. C'est la solution retenue par Free Mobile avec Orange. La 2G est assurée par le second pour le premier et la 3G le fut graduellement en vertu du calendrier d'extinction du contrat d'itinérance²⁷²;
- **CN Sharing**²⁷³ comprend la mutualisation de l'ensemble des équipements incluant le cœur de réseau. Ce modèle ne permettant pas aux opérateurs de se différencier, aucun exemple d'implémentation de ce modèle n'est connu.



Fig. 96. Carte de RAN Sharing Bouygues Telecom-SFR.

Le partage de réseaux est déjà important puisque l'on peut réduire jusqu'à 30 % les coûts de déploiement et d'exploitation²⁷⁴. Et dans le cas de la 5G, le partage de réseaux sera critique à plusieurs titres :

265. «C'est officiel, Iliad/Free vend ses pylônes en France et en Italie à Cellnex», Maxime Raby, 7 mai 2019.

266. «Grâce à deux nouvelles compagnies, Altice va alléger sa dette de 2,5 milliards d'euros», Victor Malatier, 21 juin 2018.

267. «En s'alliant avec Cellnex, Bouygues Telecom se donne plus de moyens d'investir», Pierre Manière, 1^{er} février 2017.

268. «Orange franchit une nouvelle étape majeure avec la création de sa TowerCo européenne TOTEM», Orange.com, 18 février 2021.

269. Multi-Operator Radio Access Network.

270. «Bouygues Telecom, SFR : la mutualisation des réseaux coûtera avant de rapporter», Olivier Chicheportiche, février 2014.

271. Multi-Operator Core Network.

272. «Free Mobile bride de nouveau son réseau en itinérance 3G via Orange», Pierre Benhamou, 3 janvier 2019.

273. Core Network Sharing.

274. «Network sharing and 5G: A turning point for lone riders», Ferry Grijpink, Alexandre Ménard, Halldor Sigurdsson, Nemanja Vucevic, février 2018.

- Pour couvrir en fréquences millimétriques, il faut déployer un nombre considérable de petites cellules en zone dense. Les coûts pour ces antennes peuvent être réduits de 50 %, notamment grâce à la mutualisation de la connexion avec la fibre, dans l'hypothèse où le partage concerne trois opérateurs²⁷⁵;
- Pour ces mêmes cellules, les opérateurs doivent trouver des solutions pour limiter l'impact de ces antennes sur l'urbanisme. À ce titre, les opérateurs de mobilier urbain peuvent jouer un rôle important comme JCDecaux dont le mobilier permet d'installer jusqu'à quatre petites antennes avec un impact visuel limité;
- L'opérateur anglais «3» (Three) qualifie son réseau de «True 5G» en raison des 140 MHz qu'il exploite dans la bande de 3,4 GHz²⁷⁷, car les performances espérées ne sont possibles qu'avec 100 MHz contiguës. Pour les pays où les fréquences libérées ne peuvent servir suffisamment les opérateurs, la possibilité de partager les fréquences sur le modèle MOCN peut être une solution.



Fig. 97. Le mobilier urbain pourra héberger des antennes de communications²⁷⁶.

On peut également considérer qu'héberger des opérateurs mobiles virtuels soit une forme de network sharing. On distingue deux types d'opérateurs virtuels : les MVNO²⁷⁸, qui ne disposent pas de cœur de réseaux, et les Full MVNO, qui en disposent. Les premiers bénéficient des ressources réseaux du MNO²⁷⁹ hébergeur selon le modèle «CN Sharing» et les seconds selon le modèle «MOCN». La 5G se distingue de la 4G par son cœur de réseaux qui est décentralisé et distribué dans des centres de données répartis sur le territoire afin de fournir notamment une meilleure latence. Bouygues Telecom, par exemple, disposera de 88 centres stratégiques pour mieux gérer le trafic²⁸⁰. L'architecture de la 5G n'est pas adaptée au modèle MOCN car cela nécessiterait d'interconnecter le cœur de réseaux du Full MVNO à l'ensemble des centres de données.

Les bandes de fréquences non licenciées

Compte tenu du fait que le trafic augmente considérablement tous les ans et que les fréquences non millimétriques sont limitées et attribuées, il est normal que les opérateurs envisagent de router quand c'est possible et efficace une partie du trafic d'accès sur les fréquences dont l'usage est libre mais néanmoins réglementé. À partir de la Release 16, l'interface radio 5G saura exploiter les fréquences dites libres comme celles utilisées par le Wi-Fi dans les bandes de fréquences 2,4 GHz, 5 GHz et 6 GHz. Deux modes de cohabitation sont envisagés :

275. Ferry Grijpink, Alexandre Ménard, Halldor Sigurdsson, Nemanja Vucevic, op. cit.

276. "Small Cells in the Bus Stop", Zahid Ghadialy, 3 mars 2017.

277. "Three will launch UK's fastest 5G network in August - but only for broadband", Rhiannon Williams, 10 juin 2019.

278. Mobile Virtual Network Operator.

279. Mobile Network Operator.

280. «Grâce à Bouygues Telecom, l'Espagnol Cellnex accélère en France», Raphaël Balenieri, 10 décembre 2018.

- **5G Licensed-Assisted Access**, désigné 5G LAA, permet de faire de l'agrégation de porteuse, soit à partir d'une même cellule émettant à la fois des fréquences sous licences et libres, soit à partir de deux antennes l'une en fréquences licenciées l'autre en fréquences libres :

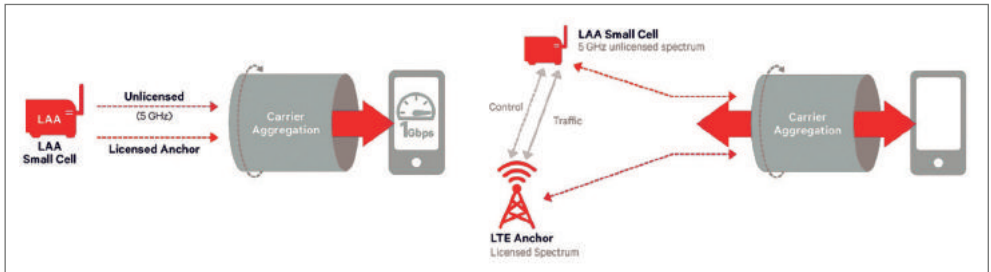


Fig. 98. Exemples d'agrégation de porteuses en LAA²⁸¹.

Le LAA a déjà été testé grandeur nature aux USA sur la 4G avec un succès mitigé dû aux difficultés à trouver un retour sur investissement pour densifier des zones qui le sont déjà gratuitement par le Wi-Fi²⁸². La donne sera différente dans le cas de la 5G millimétrique qui, de toute façon, requiert le déploiement massif de petites cellules. À partir du moment où ces cellules sont déployées, pourquoi ne pas tirer avantage également des fréquences libres?

- **Stand-alone NR-U** permet de déployer un réseau privé 5G sur les fréquences dites libres («New Radio-Unlicensed»). La 5G peut ainsi se positionner en solution alternative du Wi-Fi, soit frontalement, soit sur des usages très spécifiques où la 5G dispose de fonctions permettant de mieux les servir. Deux types d'usage ont été identifiés : d'une part un réseau privé local pour de l'IoT industriel ou pour les besoins mobiles d'une entreprise dans ses locaux, et de l'autre des services de connectivités mobiles proposés par des opérateurs alternatifs ou d'hospitalité proposés par exemple par des hôtels, des stades, des centres commerciaux (figure 99).²⁸³

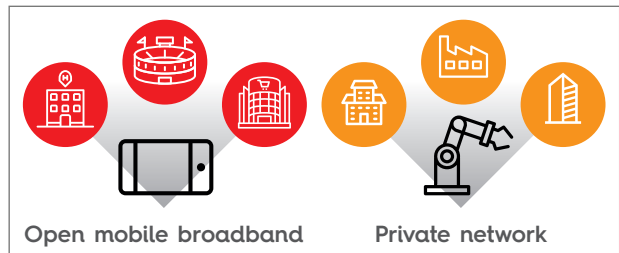


Fig. 99. Exemples d'usages de 5G Stand-alone NR-U²⁸³.

Eu égard à l'ambition de la 5G de devenir LE réseau d'accès universel quelle que soit notre localisation, on comprend la stratégie des promoteurs de cette nouvelle génération de tirer avantage de tout le spectre disponible, quitte à être en compétition frontale des nombreux autres protocoles tels le Wi-Fi, Bluetooth ou encore ZigBee.

D'autant que d'autres bandes de fréquences sont à l'étude pour être ouvertes à un usage libre. La Commission Fédérale des Communications, ou FCC («Federal Communications Commission»), agence des États-Unis en charge de la régulation des télécommunications,

281. "First joint live demonstration of Gigabit LTE by AT&T, Ericsson, Orange and Qualcomm", 24 février 2017.

282. "Unlicensed 5G: Should the Wi-Fi industry start worrying?", Claus Hetting, 17 décembre 2018.

283. "Bringing 5G NR to unlicensed spectrum", Sean Kinney, 2 novembre 2018.

a voté en faveur de l'ouverture de 1200 MHz dans la bande des 6 GHz aux usages «unlicensed²⁸⁴», sachant qu'on ne dispose que de 83,5 MHz dans la bande de 2,4 GHz et 455 MHz dans la bande de 5 GHz²⁸⁵. Cette même commission a autorisé le premier équipement WIFI sur cette bande de fréquence en décembre 2020 sous l'appellation «Wi-fi 6E (E pour Extended)». L'Europe quand à elle ne libère que 480 Mhz de bande passante, et les pays européens auront jusqu'au 1^{er} décembre 2021 pour mettre à disposition ces fréquences. L'ARCEP a déposé le 30 juillet 2021 son projet de mise en conformité de cette décision européenne.

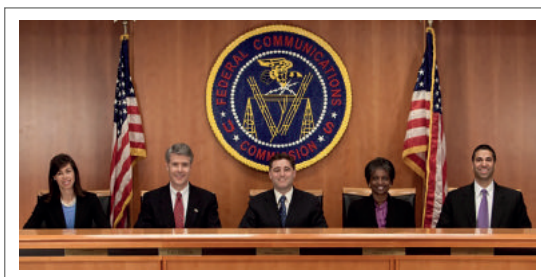


Fig. 100. FCC vote en faveur de l'ouverture de nouvelles bandes Wi-Fi pour les USA²⁸⁶.

Sans compter que la même FCC a ouvert à un usage libre une nouvelle bande de fréquence dès 2017 de 150 MHz dans les 3,5 GHz dénommée Citizen Broadband Radio Service (CBRS) dont le message marketing est «The simplicity of a Wi-Fi deployment with quality of service & performance offered by LTE» et «The Innovation Band²⁸⁷». Elle est régie par un protocole «Spectrum Access System» (SAS) permettant une meilleure gestion des interférences que le Wi-Fi²⁸⁸. De nombreux opérateurs ont intégré CBRS à leur stratégie de services : Verizon pour déployer des petites antennes en zone à forte densité urbaine, AT&T du «Fixed Wireless Broadband» (FWB) pour offrir en zones rurales des services haut débit aux entreprises ou les câblo-opérateurs pour offrir de l'accès Internet en «Fixed Wireless Access» (FWA) sur les zones peu denses non encore couvertes²⁸⁹.

Mais au-delà d'une exploitation maximale du spectre, c'est aussi offrir à une multitude d'acteurs – autres que les opérateurs traditionnels – d'exploiter la 5G sur des usages de niche ou très spécifiques qui ne peuvent être pris en compte par un déploiement national. À titre d'exemple AWS, la filiale de cloud computing d'Amazon, a annoncé en novembre 2021 la disponibilité de son offre « AWS Private 5G » permettant de déployer et manager son propre réseau 5G privé sur les fréquences non licenciées CBRS²⁹⁰.

Le Multi-Access Edge Computing

Nous avons vu précédemment que la radio 5G seule ne suffira pas à satisfaire les usages nécessitant de la faible latence. Pour adresser ceux-ci, l'architecture de la 5G, grâce au Multi-Access Edge Computing, permet d'envisager l'interconnexion de centres de calcul et de stockage en proximité des usages.

284. www.docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-147A1.pdf

285. Wifi 5GHz, AFNR.

286. "FCC votes in favour of more than doubling current Wi-Fi bands", Claus Hetting, 24 octobre 2018.

287. What is CBRS Technology? Should I Care About It? - 26 avril 2019 - Perry Correll.

288. Federated Wireless Announces Industry-first 3.5 GHz CBRS Network to Support Initial Commercial Deployments of Shared Spectrum Services - 10 septembre 2019.

289. The 3 main CBRS use cases, and why cable may benefit most - 20 septembre 2019 - Linda Hardesty.

290. Amazon launches preview of new AWS Private 5G managed service», Aisha Malik, 30 novembre 2021

L'offre commerciale des opérateurs se distingue selon qu'elle se destine au Grand Public (B2C) ou au marché des entreprises (B2B).

Sur le marché Grand Public, le MEC prend la forme d'accords commerciaux avec des éditeurs dont les contenus peuvent être particulièrement valorisés lorsque les plateformes de services sont colocalisées dans les locaux des opérateurs. La 5G permet d'étendre le concept de réseau de diffusion de contenu (Content Delivery Network) fortement développé pour les contenus WEB. Le précurseur a été l'opérateur coréen LG U+ qui dès avril 2019 a proposé plusieurs services d'online gaming, de réalité augmentée et de réalité virtuelle avec des éditeurs tel NVIDIA²⁹¹. De nombreux opérateurs ont emboîté le pas et c'est également le cas en France avec l'offre Pleio de Bouygues Telecom avec l'éditeur français Gamestream²⁹².

Sur le marché Entreprise, deux options techniques se distinguent tout en étant complémentaires. En premier lieu une offre de MEC couplée avec de la 5G privée permettant ainsi de renforcer la disponibilité et la confidentialité des données protégées au sein d'une bulle de connectivité 5G dédiée au client avec pour précurseurs AT&T²⁹⁴, Verizon²⁹⁵ et SK Telecom²⁹⁶.

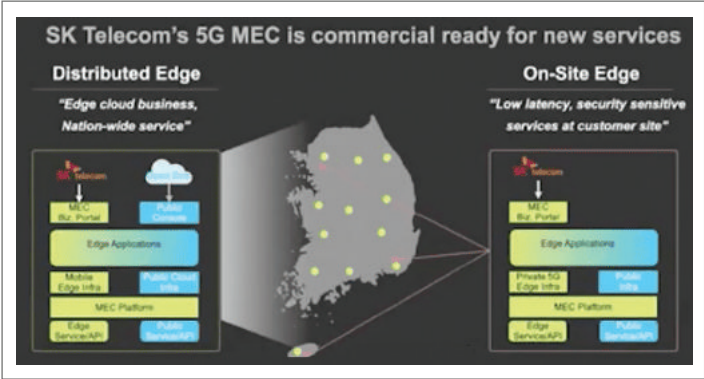


Fig. 101. 2 options de 5G MEC proposées par SK Telecom²⁹³.

La seconde option consiste à déployer ces centres de données dans les locaux de l'opérateur permettant d'irriguer un territoire en Cloud distribué. Les opérateurs ont plusieurs options pour les héberger. La topologie d'un réseau mobile qui maille le territoire est organisé de façon hiérarchique des zones les plus denses à celles qui le sont moins. Typiquement Vodafone distingue trois types de "Point of Concentration" (figure 102).

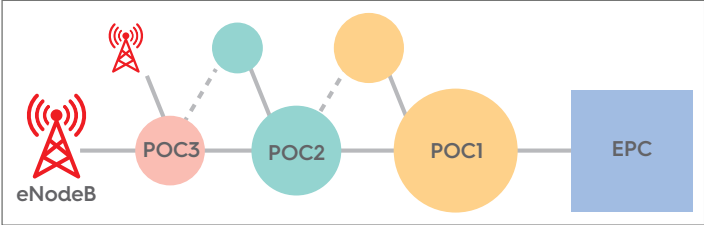


Fig. 102. Hiérarchie des points de concentration d'un réseau mobile²⁹⁷.

291. LG U+ to offer Nvidia's 5G cloud-based games, Kim Jee-Hee, 19 Mars 2019.
292. Avec Pleio, Bouygues Telecom donne le coup d'envoi du jeu vidéo en 5G, Chloé Woitier, 3 décembre 2020.
293. Sean Kinney, op. cit.
294. AT&T 5G Hitches Early Ride on IBM's Satellite Cloud, Dan Meyer, 29 octobre 2020.
295. Verizon Forks Edge for Private Networks on Azure, Matt Kapko, 19 octobre 2020.
296. SK Telecom's MEC strategy: On-prem and distributed edge, Sean Kinney, 22 octobre 2020.
297. VR is on the Edge: How to Deliver 360° Videos in Mobile Networks, Conference Paper, aout 2017.

C'est la troisième option qui semble s'imposer au regard des nombreux accords signés entre les opérateurs 5G et les opérateurs de Cloud. En octobre 2020, Netmanias décomptait déjà 23 accords avec les trois hyperscallers qui dominent le marché du cloud (Figure 104).

Il ne peut y avoir de 5G à faible latence sans le MEC. Compte tenu du décalage de 2 ans entre les USA, la Corée et l'Europe, les acteurs industriels peuvent raisonnablement espérer disposer d'une offre de cloud en edge sur les zones géographiques portant une activité économique importante.

La 5G non terrestre

Concernant l'industrie des satellites, le CEO de Telesat Dan Brown reste focalisé sur les services de télétransmission qui constituent son « bread and butter ». La 5G est considérée comme une potentielle diversification, un vertical à part entière pour se positionner sur les IoT, mais sans exclure la 3G et même la 2G³⁰¹. En mars 2020, Rakuten et Vodafone ont décidé de co-investir dans la start-up américaine AST & Science développant une solution de communication par micro satellites en orbite terrestre basse (LEO). Ce réseau satellitaire a pour objectif d'augmenter la couverture, notamment en zone rurale ou en solution de secours lors d'une catastrophe naturelle. Les communications initialement en 4G puis en 5G fonctionneront avec des smartphones standards. Par ailleurs, Telesat a annoncé avoir fait la démonstration d'un service de liaison mobile 5G en collaboration avec Vodafone et l'université du Surrey pour tester leurs satellites expérimentaux. La démonstration prenait en charge le chat vidéo, la navigation sur le Web et le streaming simultané de vidéos jusqu'à 8 K avec une latence enregistrée aller-retour de 18 à 40 millisecondes. L'équipe a également transféré la vidéo 4 K à la périphérie du réseau 5G. Ce pourrait être une application importante pour les zones rurales et les pays en développement³⁰².



Fig. 105. Offre 4G 5G NB-IoT d'Optus grâce aux nanosatellites de Myriota³⁰³.

Évidemment, l'importance de la 5G non terrestre varie grandement selon les géographies. En Australie, Optus et la start-up Myriota combinent les réseaux nationaux du premier avec la capacité de nanosatellites du second pour offrir du NB-IoT naturellement marqueté 4G et 5G (figure 105).

Myriota proposait en 2019 des forfaits allant de 15 \$A à 500 \$A par mois pour envoyer de 1000 à 50000 messages, ou utiliser de 20 KB de données à

1 MB³⁰⁴. En septembre 2021, l'entreprise compte quatre offres à son panel : « Myriota Module », « Sens&Locate », « IoT Connectivity » et le starter pack « Developer Toolkit » (accessible à 600 \$A³⁰⁵).

301. "Telesat CEO: This is How We Are Going to Stay Ahead", Mark Holmes, Septembre 2019.

302. "Satellite Internet Service Progress by SpaceX and Telesat", Larry Press, 8 mai 2014.

303. "Future Army nanosatellites to empower Soldiers", Jason B. Cutshaw, 5 octobre 2015.

304. "Myriota and Optus Business add terrestrial connectivity to satellite IoT plans", Chris Duckett, 20 août 2019.

305. <https://myriota.com/products>

Selon Northern Sky Research, au moins dix entreprises prévoient de construire des constellations à large bande de cent satellites ou plus en orbite non géostationnaire. La plupart de ces entreprises prévoient d'avoir leurs constellations de première génération en orbite au cours des cinq prochaines années³⁰⁶. On peut déjà notifier Open Cosmos, une entreprise britannique qui a lancé en mars 2021 deux nanosatellites dont un qui est le premier à fournir une connectivité IoT continue en protocole 5G fusionnant satellite et réseaux terrestres. Il a été lancé pour le compte de l'opérateur de télécommunication Sateliot³⁰⁷. Selon Omdia, le nombre cumulé d'appareils IoT connectés à des satellites devrait être multiplié par quatre entre 2019 et 2025, passant de 2,6 millions à plus de 10 millions³⁰⁸. Nous verrons comment ces entreprises créatrices de constellations à large bande se positionneront sur la 5G dans un futur proche.

Sur les Unmanned Aircraft System (UAS), BAE a récemment acquis la société Prismatic, basée à Alton, au Royaume-Uni, qui a développé un avion solaire d'une envergure de 35 mètres et d'un poids de 150 kg, capable de relayer la 5G dans des régions éloignées.



Fig. 106. Exemple d'avion solaire pouvant relayer les communications 5G³⁰⁹.

Le PHASA est un drone solaire de haute altitude et de longue endurance qui utilise une technologie de batterie à longue durée de vie et des cellules solaires ultralégères pour maintenir le vol à 65000 pieds pendant un an et pourra être utilisée pour fournir une connectivité 5G aux régions éloignées ou aux régions touchées par des catastrophes naturelles.



Fig. 107. Exemple d'utilisation de drone de surveillance³¹⁰.

Toujours sur les UAS, on voit apparaître des solutions de drones autonomes qui, au moyen d'une connexion 5G, sont utilisés pour faire de la télésurveillance. SK Telecom a initié un pilote avec la start-up israélienne Percepto qui développe des solutions de sécurité capables de détecter des anomalies. En août 2021, ces drones ont été officiellement lancés aux Emirats Arabes Unis pour surveiller divers endroits, dont les

champs de pétroles et les champs de panneaux solaires sans intervention humaine. Ils sont autonomes, peuvent détecter des dysfonctionnements ou anomalies en temps réel de jour comme de nuit, supporter de fortes chaleurs, et revenir à la base pour recharger ses batteries

306. "LEO and MEO broadband constellations mega source of consternation", Caleb Henry, 13 mars 2018.

307. "5G use cases: 31 examples that showcase what 5G is capable of", Nicola Brittain, 9 septembre 2021.

308. Satellite IoT Market Report, Omdia, 2020.

309. www.upload.wikimedia.org/wiki/commons/6/68/Pathfinder_Plus_solar_aircraft_over_Hawaii.jpg.

310. "Israeli drones patrolling oil fields in UAE, infrastructure worldwide", Jerusalem Post Staff, 18 août 2021.

La 5G vient améliorer une solution existante déployée en obtenant des aperçus aériens plus rapides et plus précis. À titre d'exemple, ces drones sont déjà utilisés sans 5G dans le domaine de la sécurité portuaire sur plus de trente ports et cinquante terminaux dans le monde, permettant la reconnaissance automatique de plus de 500 millions de conteneurs. En 2019, Percepto avait été choisis par SK Telekom pour explorer le potentiel des drones 5G et autonomes sur son réseau d'essai 5G³¹².



Fig. 108. Antenne de communication installée sous l'appareil³¹³.

Concernant la disponibilité de la 5G embarquée dans les vols commerciaux qui survolent le sol nord-américain, l'opérateur américain Gogo a annoncé l'ouverture au second semestre 2022 suite à des tests réussis en 2021. Le service émet un signal à partir de 250 tours utilisant le beamforming et de l'agrégation de porteuse sur du spectre sous et sans licence dans différentes bandes de fréquences non millimétriques. Selon Fortune Business Insights, la 5G sur le marché de l'aviation devrait atteindre 4,2 milliards de dollars US d'ici 2026³¹⁴. Les avions qui disposeront de la 5G pourront continuer à s'appuyer sur la 4G et la 3G en solution de remplacement³¹⁵.

Cependant, en février 2021, la DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile) affirme que les fréquences relatives à la 5G peuvent créer des interférences avec les outils d'aide au vol, notamment avec le radioaltimètre qui permet mesurer l'altitude. La DGAC a d'ores et déjà obtenu que la puissance des antennes 5G aux abords de 17 aéroports soit limitée, et avec l'aide de l'ANFR, les antennes à proximité de 123 autres aéroports sont sous une surveillance accrue³¹⁶.

En synthèse

Concernant le déploiement de la 5G, la situation est contrastée selon deux axes principaux : les usages et les fréquences.

Sur les usages, reprenons les trois grandes familles :

- **mMTC** : l'IoT massif sera de la 4G avec le LTE-M et NB-IoT jusqu'en 2025 minimum. À partir de la Release 17, NR Light ou RedCap adressera les IoT basse consommation. Entre temps DECT NR permettra de connecter cette famille d'objets sur des campus. Comme le dit Bob Rodriguez, directeur des achats réseaux de Sprint : « l'IoT n'a pas besoin de la radio 5G³¹⁷ »;

311. North Dakota's UAS Integration Pilot Program - flickr

312. "Percepto flies autonomous drones over 5G trial network", Sagi Blonder, 30 avril 2019.

313. Gogo Inflight Internet - External Aircraft Antenna - Wikimedia

314. "5G in aviation market to reach USD 4.2 Billion by 2026", Fortune Business Insights, 11 février 2021.

315. "Gogo is developing a 5G network for planes", Sean O'Kane, 29 mai 2019.

316. «DGAC : dans les avions, la 5G brouille l'écoute», Mickaël Bazoge, 18 février 2021.

317. "AT&T, Sprint, and Cisco Execs Throw Cold Water on 5G", Matt Kapko, 19 septembre 2019.

- **URLLC** : on se projette au-delà de 2024 où il faudra pour les communications à fiabilité extrême de la 5G déployée en fréquences basses et pour la faible latence du Multi-Access Edge Computing. Ce calendrier est également partagé de l'autre côté de l'Atlantique où ces usages sont attendus au mieux en 2022 par Waris Sagheer, 5G principal product manager chez Cisco³¹⁸;
- **eMBB** : n'en déplaie à bon nombre de sponsors de la 5G, la priorité a été clairement mise sur les usages grand public pour satisfaire la croissance très importante de la data pour laquelle la 4G est déjà aux limites sur les zones très denses. La 5G est essentielle pour une meilleure efficacité spectrale, bénéficiant de nouvelles fréquences et un coût d'infrastructure au Mb inférieur à ceux de la 4G.

Le planning prévisionnel donnerait ceci :

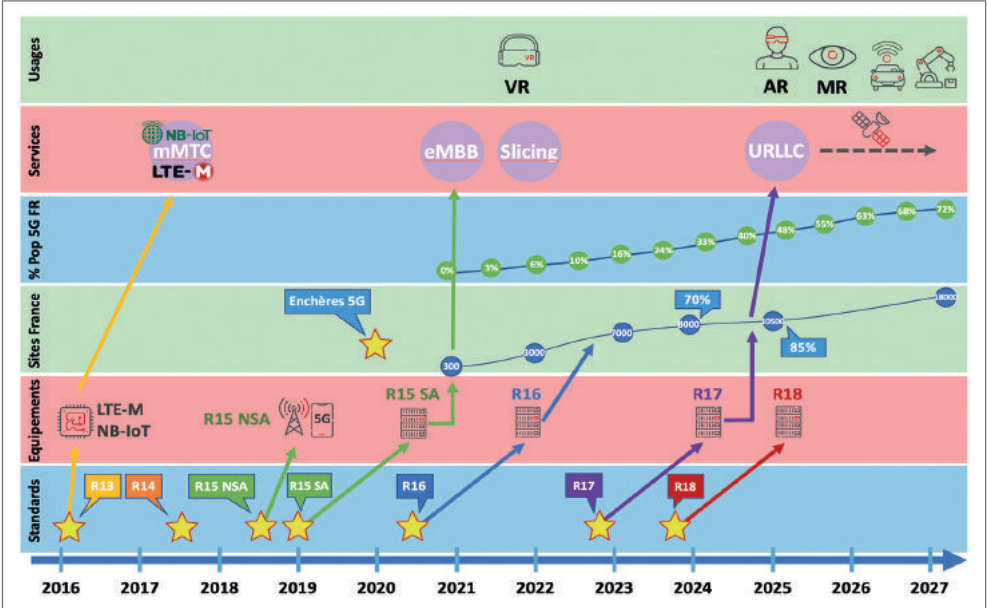


Fig. 109. Calendrier prévisionnel de la 5G en France.

L'autre axe essentiel est sur quelles fréquences la 5G va être déployée : dans la plupart des régions, la 5G va avant tout se déployer sur les fréquences hautes autour de 3,4 GHz, sur les fréquences basses pour de la couverture en zones rurales et indoor, et en millimétriques en zones très denses ou industrielles.

318. Matt Kapko, *op. cit.*

A red L-shaped line, consisting of a horizontal segment at the top and a vertical segment on the left, framing the chapter title.

Chapitre 4

Les autres réseaux

Le marketing des sponsors de la 5G est bien évidemment extrêmement positif quant à la légitimité de devenir le réseau d'accès universel, en fixe et en mobilité, en outdoor et en indoor, pour les IoT, pour le grand public, et pour les usages industriels les plus spécifiques.

Même si les membres du 3GPP n'ont pas mesuré leurs efforts pour enrichir l'éventail des technologies pouvant être combinées, c'est sans compter que d'une part la disponibilité de celles-ci va s'échelonner sur une décennie et d'une autre que les autres protocoles vont également progresser. Voyons maintenant les principales technologies réseaux qui vont être en compétition avec la 5G.

Wi-Fi

La première technologie dont la cohabitation avec la 5G interroge la communauté industrielle est le Wi-Fi. Pour une raison très simple : le Wi-Fi domine les usages indoor là où les 2G, 3G, 4G et bientôt sans aucun doute la 5G dominent ceux en outdoor.

Qu'en est-il aujourd'hui ? Le Wi-Fi a déjà une position prédominante sur le marché des réseaux d'accès.

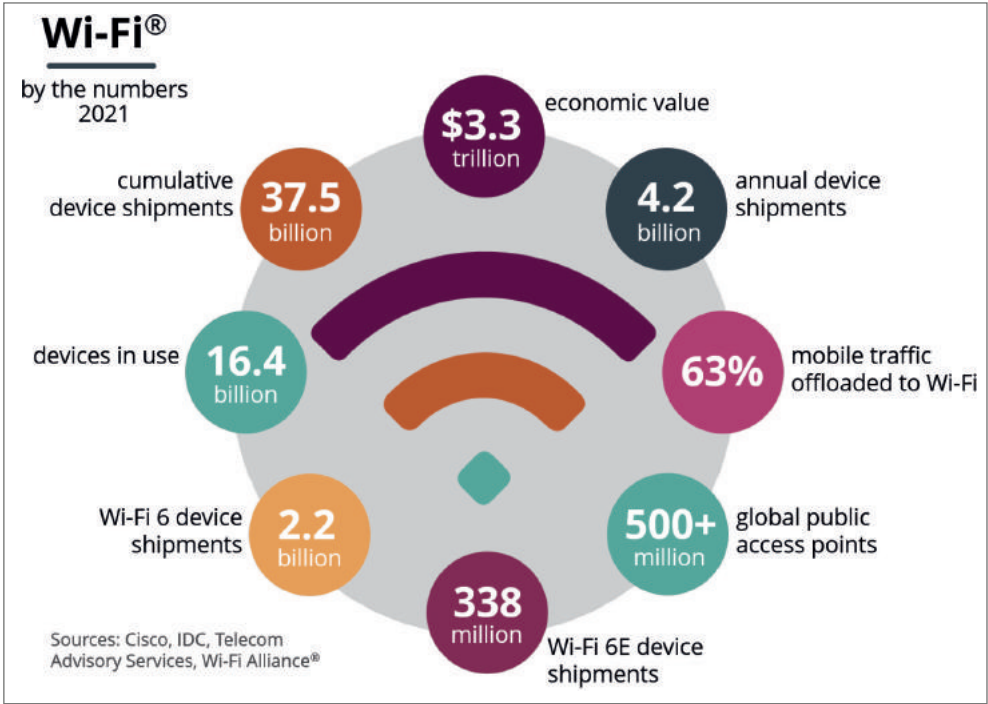


Fig. 110. Trafic IP par technologie d'accès³¹⁹.

319. www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/Global_Economic_Value_of_Wi-Fi_2021-2025_202109.pdf.

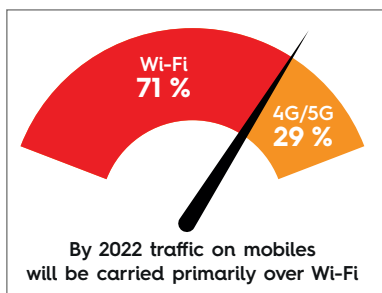


Fig. 111. Prévision de débordement du trafic data vers le Wi-Fi³²⁰.

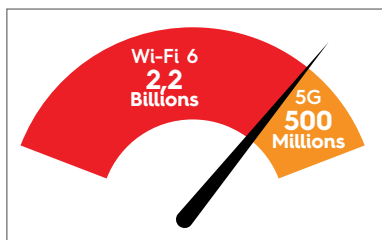


Fig. 112. Répartition 2021 de la distribution des terminaux Wi-Fi 6 vs 5G³²¹.

déployées en 4G et 5G.   commencer par l'OFDMA, sachant que la version précédente était en OFDM³²² :

Le Wi-Fi, c'est 37,5 milliards d'équipements cumulés auxquels s'ajoutent tous les ans plus de 4 milliards d'équipements. Et contrairement à ce que l'on pourrait supposer le trafic véhiculé par les téléphones mobiles est supérieur en Wi-Fi qu'en 2G, 3G, 4G, 5G cumulés. Et malgré les prévisions initiales de déclin du Wi-Fi en faveur de la 4G, l'analyse du trafic des terminaux mobiles montre que la tendance au débordement du trafic IP des terminaux mobiles sur le Wi-Fi augmente. CISCO explique ce phénomène par l'évolution de la puissance des terminaux mobiles et tablettes qui supportent des usages toujours plus gourmands en data. Il anticipe d'ailleurs une répartition du trafic Wi-Fi 4G/5G respectivement de 71 % et 29 %.

La version Wi-Fi 6, que nous allons présenter ci-après, est déjà largement diffusée avec plus de 2,2 milliards d'équipements déjà distribués en 2021 alors que le Gartner en prévoit un peu plus de 500 millions de terminaux 5G sur la même année.

Pour comprendre la compétition à venir entre la 5G et le Wi-Fi, il est nécessaire de comprendre les évolutions apportées par le Wi-Fi 6 (version 802.11ax). Cette mouture reprend des technologies

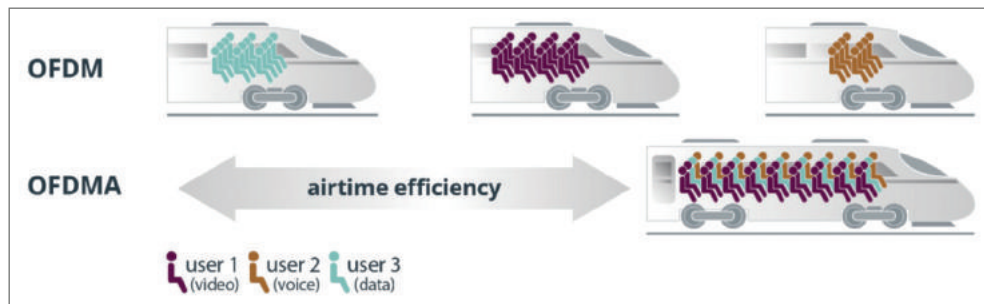


Fig. 113. Wi-Fi 6 : Introduction de l'OFDMA³²³.

Ce dispositif améliore grandement les situations où un grand nombre d'utilisateurs sont connectés sur la même cellule. Mais également le MIMO (8x8 soit soixante-quatre antennes) couplé à l'agrégation de porteuses permettant là d'augmenter les débits supportés (figure 114 page suivante).

320. Cisco VNI Mobile, 2019.

321. www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/Global_Economic_Value_of_Wi-Fi_2021-2025_202109.pdf.

322. Orthogonal Frequency-Division Multiple Access.

323. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.

Sans oublier le beamforming, l'encodage QAM 1024 (soit quatre fois plus de données encodées que la 5G en QAM 256), une fonction dédiée à la basse consommation des IoT et la possibilité de fonctionner également en outdoor. Au final, le Wifi 6 surpasse la version précédente (renommée Wi-Fi 5, mais plus connue sous la terminologie 802.11ac) de 40 % en performance brute, mais surtout d'un débit quatre fois supérieur en zone dense, pouvant atteindre jusqu'à 10 Gbps³²⁴.

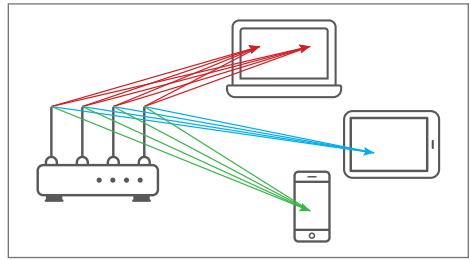


Fig. 114. Wi-Fi 6 : MIMO et agrégation de porteuses combinés³²⁵.



Fig. 115. Apple iPhone 11 intègre le Wi-Fi 6³²⁷.

Les points d'accès Wi-Fi 6 sont d'ores et déjà disponibles depuis 2018. En France, SFR a été le premier opérateur à le proposer à partir de la Box version 8. Bouygues Telecom l'intègre également depuis 2020 à ses box haut de gamme³²⁶. Depuis 2019 l'Apple iPhone 11 supporte le Wi-Fi 6 et sa version 6E à partir de l'iPhone 13.

De plus, le Wi-Fi 6E dans sa version Extended permet d'exploiter les nouvelles bandes de fréquence non licenciées de 6 GHz évoquées dans le chapitre précédent. Les premiers tests réalisés en Corée du Sud ont permis d'atteindre des débits de 2,1 Gbps multipliant par cinq ceux couramment obtenus sans cette bande de fréquence additionnelle³²⁸. Les premiers points d'accès publics Wi-Fi 6E commencent à être déployés notamment dans le métro de Séoul³²⁹. En 2021, 338 millions d'équipements compatibles Wi-Fi 6E ont d'ores et déjà été livrés. Cette nouvelle version va rendre plus difficile encore l'adoption de la 5G pour les usages indoor. En France l'opérateur Iliad a promis le support du Wi-Fi 6E à fin 2021 pour les Freebox Pro³³⁰.

Et le Wi-Fi ne se résume pas au Wi-Fi 6E :

- **Wi-Fi a/b/g/h/ac**, qui regroupent l'ensemble des versions développées depuis 1997 et dont les points d'accès assurent le support de tous les IoT déployés depuis plus de vingt ans utilisant ce protocole;
- **Wi-Fi p**, pour adresser les besoins en V2X pour supporter les communications instantanées entre véhicules et l'infrastructure à des vitesses dépassant 200 km/h sur plusieurs centaines de mètres;
- **Wi-Fi ad et ay**, dénommé **WiGig**, sur les bandes millimétriques, qui supporte des débits allant respectivement jusqu'à 7 et 100 Gbps. Qualcomm, depuis octobre 2018, propose des modems fixes et mobiles supportant jusqu'à 10 Gbps avec une latence inférieure à la milliseconde³³¹.

324. www.phonandroid.com/wifi-6-quest-ce-que-cest-et-a-quoi-ca-sert.html.

325. "Wi-Fi 6: High performance, next generation Wi-Fi" Wi-Fi Alliance, octobre 2018.

326. www.sfr.fr/box-8 - www.bouyguetelecom.fr/offres-internet.

327. "Wi-Fi 6 Has Officially Launched And iPhone 11 Is Among The First Few Phones To Support It This Year" Oliver Haslam, 17 septembre 2019.

328. www.rcrwireless.com/20210120/network-infrastructure/wi-fi/what-is-the-status-of-global-wi-fi-6e-efforts.

329. www.ajudaily.com/view/20210929103532966.

330. www.universfreebox.com/article/61215/c-est-officiel-le-wi-fi-6e-debarquera-a-la-fin-de-l-annee-sur-freebox-pro-gratuitement.

331. "Qualcomm offers first 802.11ay 60GHz Wi-Fi chipsets for WiGig devices" Jeremy Horwitz, 16 octobre 2018.

Alors que les points d'accès Wi-Fi 6 commencent à peine à se déployer, la Wi-Fi Alliance prépare déjà une nouvelle mouture dénommée Wi-Fi 7 visant à offrir une bande passante de 48 Gbps³³². Les premiers équipements compatibles Wi-Fi 7 devraient apparaître d'ici la fin de l'année 2021³³³. Il est probable que le Wi-Fi 7 se substitue rapidement au Wi-Fi 6E.

L'écosystème Wi-Fi est extrêmement puissant, avec 16,4 milliards de produits connectés³³⁴, bénéficiant de la facilité de déploiement offerte pour les bandes de fréquences libres, des coûts de modem extrêmement bas et une approche organique de fonctionnement avec des équipements qui s'autoconfigurent et s'autogèrent en respectant des protocoles de cohabitation.

La compétition Wi-Fi et 5G peut également se décoder dans l'angle industriel et géopolitique avec la disparition des géants d'infrastructure radio nord-américains qu'ont été Motorola, Lucent ou encore Nortel. Même si Qualcomm, CISCO et Apple ont et auront un rôle important sur le développement de la 5G, on ne peut oblitérer l'empreinte historique de l'Europe avec Nokia et Ericsson ainsi que la prédominance des trois constructeurs asiatiques Samsung, ZTE et Huawei. La décision de la FCC d'allouer rapidement 1,2 GHz n'est probablement pas étrangère à cette situation, puisqu'elle donne un coup de pouce puissant au Wi-Fi avant que la 5G NRU³³⁵ ne soit disponible dans les catalogues des constructeurs d'équipements de télécommunications.

En Europe, nous sommes très centrés réseaux mobiles, mais aux États-Unis, ce n'est pas la conquête de l'indoor par la 5G qui est envisagée mais l'inverse, où le Wi-Fi est notre réseau d'accès privilégié et les 2G, 3G, 4G et 5G notre connectivité de backup. L'on parle alors de « cellularisation du Wi-Fi » à l'instar du projet Terragraph de Facebook pour offrir des débits jusqu'à 30 Gbps.



Fig. 116. Terragraph de Facebook³³⁶.

Terragraph a été déployé grandeur nature à Porto Rico en 2020 avec l'objectif d'offrir de la connectivité Wi-Fi sans avoir la nécessité de déployer la fibre sur toute l'île³³⁷.

Dans cette idée de fournir une expérience Wi-Fi sans couture d'un point de présence à un autre, CISCO a lancé une autre initiative, OpenRoaming, visant à proposer un moyen de se connecter aux réseaux Wi-Fi disponibles sans avoir à s'y identifier explicitement. Elle permet, en fédérant les fournisseurs d'identité, les fournisseurs de services et les entreprises, de partager en toute sécurité les informations d'identification et les réseaux d'accès.

332. www.phonandroid.com/wifi-7-wifi-alliance-vise-48-gbps-de-bande-passante-plus-fort-que-lusb-4.html.

333. www.phonandroid.com/le-wifi-7-arrive-qualcomm-mediatek-et-broadcom-sattellent-deja-a-la-fabrication-de-puces.html.

334. "Global economic value of Wi-Fi 2021-2025" Wi-Fi Alliance, Septembre 2021.

335. New Radio Unlicensed.

336. « Avec Qualcomm, Facebook va tester le réseau Terragraph en 2019 », Mathieu Chartier, 22 mai 2018.

337. "Terragraph : le Wi-Fi haut débit de Facebook en test pendant 6 mois à Porto Rico », Yvonne Gangloff, 20 février 2020.

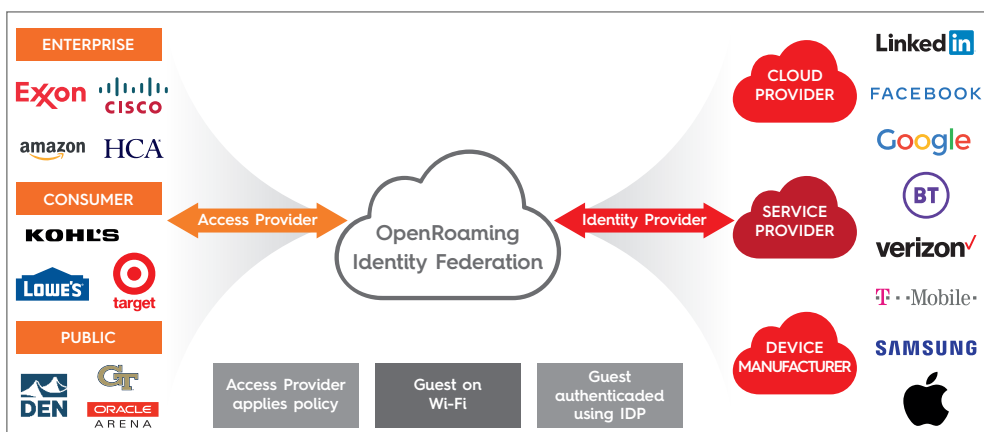


Fig. 117. Initiative OpenRoaming pour faciliter l'authentification et améliorer la sécurité³³⁸

Cette initiative a été démontrée au Mobile World Congress 2019 à Barcelone où tous les terminaux Samsung à partir de la version S9 pouvaient bénéficier du service juste en configurant un identificateur³³⁹. En 2020 CISCO a transféré OpenRoaming à la Wireless Broadband Alliance (WBA). En Mai 2021 OpenWiFi intègre OpenRoaming avec le soutien de nombreuses entreprises telles AT&T, Boingo, Broadcom, Commscope, Deutsche Telekom, Facebook, Google, Intel, Net Experience et Samsung³⁴⁰.

Les deux technologies ont des zones évidentes de confort, l'outdoor pour la 5G et l'indoor pour le Wi-Fi, ainsi que des zones de recouvrement. La 5G devra attendre la disponibilité d'équipements conformes à la Release 16 pour frontalement concurrencer le Wi-Fi qui entre-temps aura encore augmenté son empreinte sur les fréquences libres.

Elle pourra néanmoins faire valoir 4 arguments distinctifs :

- **La sécurité**, sujet que nous avons développé précédemment, et qui, rappelons-le, est traditionnellement bien supérieure sur les réseaux mobiles cellulaires que sur le Wi-Fi;
- **L'absence d'interférence** puisque les fréquences 5G sont attribuées exclusivement aux opérateurs. Les autoroutes payantes sont en général moins saturées que les routes gratuites;

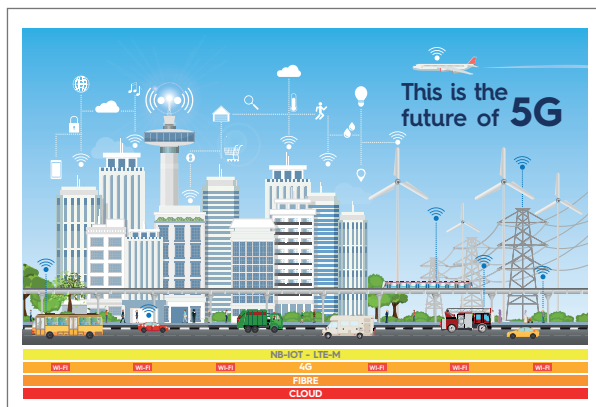


Fig. 118. La 5G et le Wi-Fi en coopération³⁴¹.

338. "How Cisco plans to connect the world with OpenRoaming" Nick Chrissos, 22 mai 2019.

339. "OpenRoaming demonstrator filmed during the soft launch at MWC 2019!" YouTube.

340. www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-le-projet-openwifi-adopte-la-norme-openroaming-82886.html.

341. À partir d'un graphique 5G-PPP.

- **HetNets**, permettant à la 5G de devenir le support de communications « sans couture » sur les fréquences sous licence (2G, 3G, 4G, 5G) et celles hors licence (Wi-Fi et 5G). Concrètement, cela signifie que les terminaux, véhicules et objets bénéficient en 5G d'un double avantage : en premier lieu, d'une connectivité fluide d'un réseau à l'autre, et en second lieu d'un débit supérieur par la capacité d'agréger en parallèle plusieurs canaux de communication mixant fréquences exclusives et libres. Ainsi, l'utilisateur ne se souciera plus de savoir sur quels réseaux il doit se connecter et pourra bénéficier de tous les réseaux et ressources disponibles en un point donné;
- **Multi-Access Edge Computing**, permettant pour les usages requérant de très faibles latences d'héberger les algorithmes et la donnée en proximité. La 5G n'est pas seulement un réseau d'accès, mais une infrastructure offrant une riche palette de fonctions.

À noter que les constructeurs proposant des solutions Wi-Fi ont la possibilité d'enrichir leur proposition de fonctionnalités spécifiques comparables à celles normalisées dans la 5G. Ce peut être comme ci-dessus la sécurité mais encore la géolocalisation que Qualcomm propose déjà en Wi-Fi (inférieur à 7 cm avec 99 % de précision³⁴²). Finalement l'intérêt de la 5G réside dans la normalisation de l'ensemble des fonctions avancées permettant aux clients de déployer des solutions interoperables multi-vendeurs.

Ceci permettra de projeter la 5G en coopération avec le Wi-Fi (figure 118 page précédente).

Low Power Wide Area Networks (LPWAN)

Les technologies LPWAN ont pour objectif de délivrer un service de communication nécessitant une faible consommation énergétique sur une zone géographique étendue. La 5G se positionne sur ce marché avec deux protocoles déjà disponibles en 4G : LTE-M et NB-IoT déjà évoqués précédemment. En premier lieu, il est bon de rappeler l'importance des Wide Area Networks (WAN) dans le paysage des IoT :

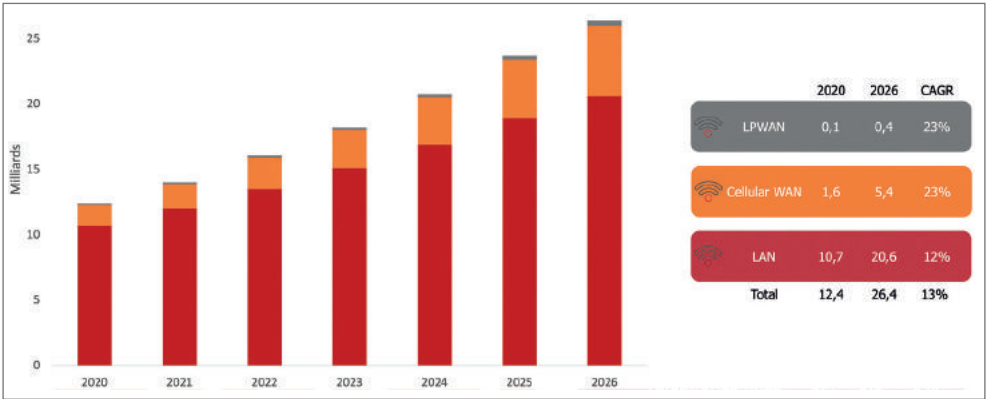


Fig. 119. Prévision du nombre de dispositifs connectés par types de réseaux en milliards³⁴³.

342. www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-wi-fi-ranging-white-paper.pdf.

343. "Ericsson Mobility Report", Ericsson, juin 2021.

Selon Ericsson, le segment des objets connectés à un réseau LPWAN ne représentera que 1,5 % en 2026 de tous les IoT (400 millions sur 26,4 milliards), même avec une progression annuelle notable de 23 % la part de marché du segment des IoT LPWAN restera marginale au bénéfice des IoT cellulaires qui représenteront eux plus de 20 % du marché global.

Si LTE-M est positionné sur un segment particulier proposant de faibles latences et un débit élevé, pour des IoT je précise, le NB-IoT est en compétition avec principalement deux solutions développées par deux start-up françaises : SigFox et Lora. Ci-dessous une comparaison des trois technologies³⁴⁴ :

	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Modulation	BPSK	CS5	QPSK
Fréquence	Fréquence libre ISM (868 MHz en Europe, 915 MHz en Amérique du Nord et 433 MHz en Asie)	Fréquence libre ISM (868 MHz en Europe, 915 MHz en Amérique du Nord et 433 MHz en Asie)	Fréquence LTE sous licence
Bande passante	100 Hz	250 kHz et 125 kHz	200 kHz
Débit maximum	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirectionnel	Limité/Half-duplex	Oui/Half-duplex	Oui/Half-duplex
Messages max / jour	140 (UL), 4 (DL)	Illimité	Illimité
Charge utile max	12 octets (UL), 8 octets (DL)	243 octets	1600 octets
Portée	10 km (urbain), 40 km (rural)	5 km (urbain), 20 km (rural)	1 km (urbain), 10 km (rural)
résistance aux interférences	très haute	très haute	faible
Authentification et encodage	Non supporté	Oui (AES 128b)	Oui (encodage LTE)
Débit Adaptif	Non	Oui	Non
Localisation	Oui (RSSI)	Oui (TDOA)	Non (sous spécifications)
Permet réseau privé	Non	Oui	Non
Standardisation	Le groupe Sigfox collabore avec ETSI sur la standardisation de réseaux basé sur Sigfox	LoRa-Alliance	3GPP

Fig. 120. Comparatif des caractéristiques techniques Sigfox, LoraWAN et NB-IoT³⁴⁴.

Lorsque l’on étudie leurs positionnements respectifs selon les principaux critères influant la sélection de l’une d’entre elles :

- **Scalabilité** : la densité d’objets connectables au kilomètre carré;
- **Portée** : la portée du signal;
- **Couverture** : la capacité à bien couvrir la zone en indoor et outdoor;
- **Déploiement** : la disponibilité de réseaux déployés;
- **Coût** : le coût en prenant en compte l’usage du spectre, le déploiement des antennes et le coût du récepteur terminal;
- **Batterie** : pour la consommation énergétique;
- **QoS** : la garantie de qualité de service;
- **Payload** : la bande passante consommée pour le fonctionnement du protocole;
- **Latence** : le temps de transfert de données de l’émetteur au récepteur.

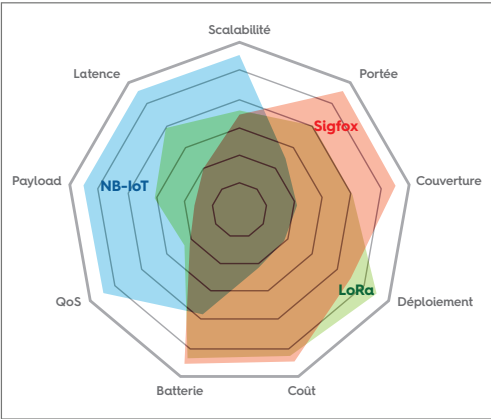


Fig. 121. Comparatif des performances Sigfox, LoraWAN et NB-IoT³⁴⁵.

On obtient le graphique ci-contre.

344. “A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment” Kais Mekki, Eddy Bajica, Frederic Chaxela, Fernand Meyer, 4 janvier 2018.

345. Kais Mekki, Eddy Bajica, Frederic Chaxela, Fernand Meyer, op. cit.

À l'exception notable du critère « Déploiement » qui a été évalué fin 2017 et qui va naturellement évoluer au cours du temps, les autres critères sont stables durablement. Le début d'année 2022 marque une bascule importante pour le marché des LPWAN avec d'une part le dépôt de bilan de SigFox annoncé en janvier 2022³⁴⁶ et l'abandon de LoRa par Bouygues Telecom³⁴⁷.

Le marché LPWAN est structurellement marginal sur le marché des réseaux IoT. De plus les menaces grandissantes de cybercriminalité imposent aux concepteurs d'IoT d'envisager la capacité de mettre à jour à la volée l'informatique embarquée sur l'IoT. Ceci pouvant être une clef de lecture du désengouement envers le bas de marché LPWAN incarné par SigFox et LoRa.

Industrial Ethernet

Il existe une multitude de protocoles industriels Ethernet, tels Sercos, PROFINET et Ethercat, conçus pour communiquer avec les équipements industriels et capables de contrôler en temps réel de la robotique (en 2 ms de temps de cycle). Ces protocoles sont des adaptations d'Ethernet qui permettent d'avoir un contrôle déterministe des temps de transit. Ces réseaux proposent des latences inférieures à la milliseconde et des variations de celles-ci (on parle de gigue ou « jitter » en anglais) n'excédant pas la microseconde (figure 122).

ORGANISATION	TEMPS DE REPONSES	GIGUE	DEBIT
Ethernet/IP (CIP Sync ODVA)	1ms	<1ms	100Mbit/s
Ethernet Powerlink (EPSPG)	<1ms	<1ms	100Mbit/s
PROFINET-IRT (PNO)	<1ms	<1ms	100Mbit/s
SERCOS-III (IGS)	<0,5ms	<0,1ms	100Mbit/s
EtherCAT (ETG)	0,1ms	<0,1ms	100Mbit/s

Fig. 122. Comparatif des différents réseaux Ethernet industriels³⁴⁸.

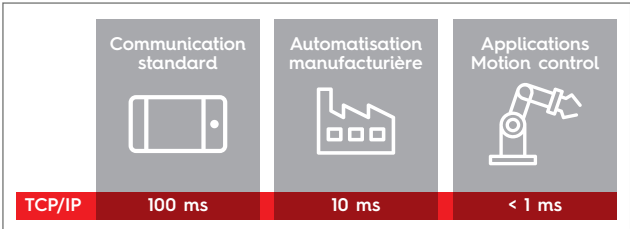


Fig. 123. Variété des usages industriels en termes de latence³⁴⁹.

Le positionnement de la 5G sur l'IoT industriel nécessite de couvrir une large palette de besoins en termes de latence (figure 114).

La nécessité d'interconnecter les dispositifs communicants entraîne de nombreux inconvénients :

- Non-flexibilité dans l'aménagement des espaces de travail;
- Non-mobilité des outils et robots;
- Risque de ruptures de câbles.

346. « Pourquoi Sigfox, ancien symbole de la French Tech, est placée en redressement judiciaire », Raphaëlle Karayan, 27 janvier 2022.

347. "Bouygues to shut down LoRaWAN in France - the start of the end for unlicensed IoT?", James Blackman, 7 mars 2022.

348. "5 Real-Time, Ethernet-Based Fieldbuses Compared" Jeffrey Hibbard, 17 mai 2016.

349. Ethernet Industriel, le nouveau champ de bataille, septembre-octobre 2005.

La 5G, pour conquérir l'espace industriel, se doit d'être en mesure de supporter les exigences temps réel les plus contraintes pour automatiser les usines et pas seulement les communications pour lesquelles le Wi-Fi est satisfaisant. Le 3GPP les a synthétisées ainsi :

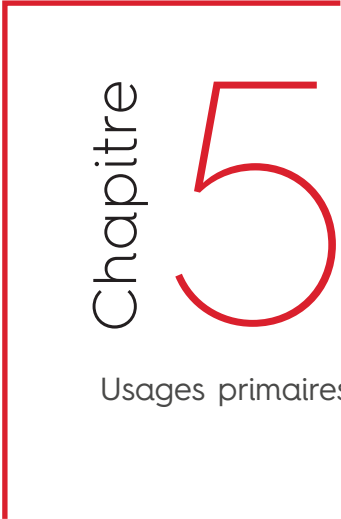
CAS D'USAGES		DISPONIBILITE	CYCLE DE VIE	TRAFFIC UTILE	EQUIPEMENTS	ZONE DE DESSERTE
Déplacements	Imprimante	>99,9999%	<2ms	20 octets	> 100	100m x 100m x 30m
	Outils connectés	>99,9999%	<0,5ms	50 octets	~20	15m x 15m x 3m
	Conditionnement	>99,9999%	<1ms	40 octets	~50	10m x 5m x 3m
Robots mobiles	Coordination de déplacement de robots	>99,9999%	1ms	40-250 octets	100	<1km²
	Contrôle à distance par vidéo	>99,9999%	10-100ms	15-150 octets	100	<1km²
Panneaux de contrôle mobile avec des fonctions de sécurité	Robots d'assemblage ou fraiseuse	>99,9999%	4-8ms	40-250 octets	4	10m x 10m
	grues mobiles	>99,9999%	12ms	40-250 octets	2	40m x 60m
Automatisation des processus (surveillance des processus)		>99,99%	>50ms	cela varie	10,000 <u>devices</u> per km²	

Fig. 124. Exigences de performances pour la 5G industrielle³⁵⁰.

En synthèse

La 5G ne sera pas le seul et unique réseau d'accès. Elle va néanmoins, en étendant le spectre des usages de la 4G, entrer en concurrence avec les autres technologies filaires et non filaires. Et c'est par son architecture de « réseau de réseaux » (méta-réseau) qu'elle pourra se positionner en « over the top » pour une connectivité convergente. Voyons maintenant l'impact qu'elle aura sur les usages.

350. "Ultra-Reliable Low Latency 5G for Industrial Automation", Gabriel Brown, 6 juin 2018.



Chapitre 5

Usages primaires

Après avoir étudié en détail de quoi était constituée la 5G, comment elle allait être graduellement standardisée, construite et déployée, je vous propose de revenir à la promesse initiale de multiplier par 10 les performances de la 4G.

Réévaluons les critères définis par l'UIT-2020 portée sur les fonds baptismaux par les sponsors de la 5G (figure ci-contre).

Et voyons ce que nous pouvons en déduire pour les années à venir.

Débit maximal

Pour rappel, le débit maximal permet de quantifier le débit que le réseau pourra servir en un point donné au niveau d'une antenne. La 5G doit multiplier par 20 les performances de la 4G+ et supporter des pics supérieurs à 20 Gbps.

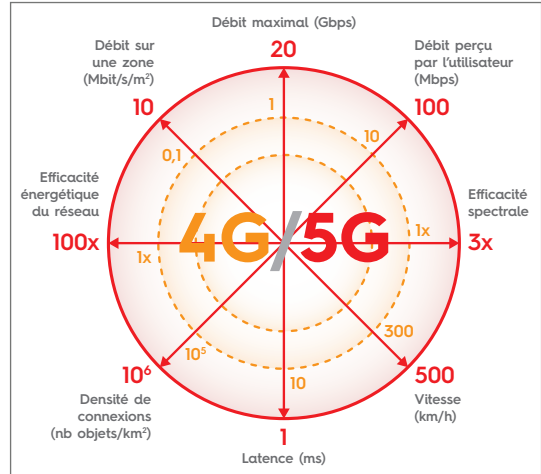


Fig. 125. Performances espérées de la 5G versus la 4G³⁵¹.

Ces performances seront atteintes. Telecom Italia Mobile a atteint des vitesses en débits descendants de 23,4 Gbps à l'Université polytechnique de Turin, en utilisant le spectre dans la bande des 28 GHz. Les partenaires ont testé une visite en réalité virtuelle d'une piazza à Turin³⁵³.

Mais elles le seront lorsque nous bénéficierons d'une couverture en fréquences millimétriques. Sur la bande des 3,4-3,8 GHz, nous aurons des débits en pic inférieurs. Sunrise et Huawei ont présenté des cas d'utilisation sur un réseau 5G de bout en bout. Des débits de téléchargement de 3,28 Gbps ont été atteints, en utilisant le spectre dans la bande 3,5 GHz. La 5G a été ainsi testée avec de la réalité virtuelle, de la vidéo 360° en direct et des flux vidéo 4K³⁵⁴. Et sur les fréquences basses, pour lesquelles les opérateurs et équipementiers communiquent peu, on espère atteindre 200 Mbps³⁵⁵ en débits descendants pour 150 Mbps en 4G³⁵⁶ (figure 126 page suivante).

Attention, ces différences ne sont pas seulement dues aux bandes de fréquences, mais également aux techniques de modulations (FDD ou TDD), à l'agrégation de porteuse, au MIMO massif ainsi qu'à la densité de déploiement d'antennes réalisée par l'opérateur³⁵⁷ (figure 127 page suivante).

351. www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf

352. «ARCEP, les enjeux de la 5G», mars 2017.

353. www.ericsson.com/en/news/2017/12/tim-achieves-record-speed-in-5g-demo-with-ericsson

354. www.huawei.com/en/news/2017/12/Sunrise-5G-Connection-Switzerland

355. "5G deployment below 6 GHz", Nokia.

356. "LTE vs 5G : What's the difference?", Roland Moore-Colyer, 30 septembre 2019.

357. Vous êtes récompensés d'avoir lu les trois premiers chapitres ;-)

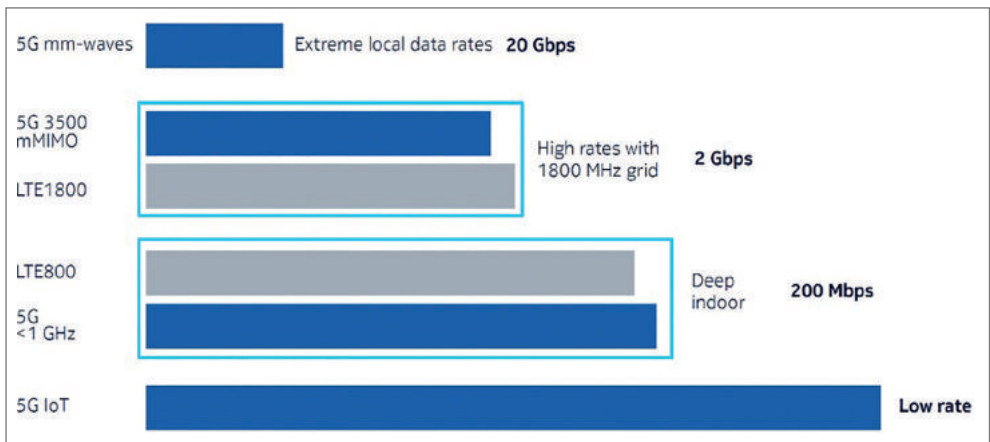


Fig. 126. Débits maximums descendants selon les fréquences utilisées avec de l'agrégation de porteuses³⁵⁸.

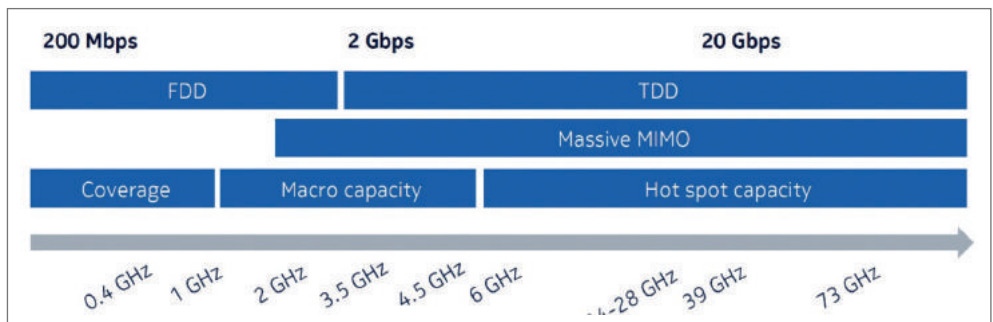


Fig. 127. Quels débits descendants avec quelles technologies³⁵⁹.

L'impact sur les usages finaux est indirect, car là on parle de débits à partir du point haut, des antennes, qui servent l'ensemble des usages sur la superficie concernée.

Comme vu précédemment, les antennes millimétriques ne seront déployées que sur les zones très denses où les sites industriels le requerront, sans présupposer des verticaux servis. Les débits maximaux ne seront pas les mêmes sur le territoire en indoor et en outdoor. Aux opérateurs ensuite de répartir la capacité d'absorber le trafic en débit montant et descendant.

Comme l'espère le site britannique de veille sur la 5G, 5G.co.uk, les débits montants maximaux devraient atteindre des valeurs de l'ordre de 50 % de ceux descendants, donc dans l'épure des objectifs de l'IMT-2020³⁶⁰. Les premiers déploiements sont extrêmement décevants quant à cette hypothèse : la 5G de Verizon redirigeait en mai 2019 les flux montants sur la 4G³⁶¹. Sur le réseau 5G britannique d'EE, également en mai 2019, si le

358. "5G deployment below 6 GHz", Nokia.

359. "5G deployment below 6 GHz", Nokia.

360. "You can expect upload speeds typically to be at most around half the speeds you get with downloads, so right now that means a likely average of at most 65-120 Mbps".

361. "And for now, uploads are still limited to LTE on Verizon's 5G network." Dans "Verizon's 5G network is now hitting gigabit download speeds", Chris Welch, 16 mai 2019.

débit descendant était impressionnant, le montant l'était beaucoup moins : «The worst part about this current 5G implementation is that upload speeds are the same as 4G right now³⁶²». Ce n'était clairement pas la priorité des opérateurs et probablement pas celle des usagers, donc «there's no promise on upload speeds, though³⁶³».

En octobre 2021 Samsung, Verizon et Qualcomm ont mené des tests en millimétrique réussissant la performance d'absorber un débit montant de 711 Mbps. Cette performance permet par exemple de télécharger un fichier vidéo de 1 Go d'un smartphone vers internet en 10 secondes environ³⁶⁴. Cela démontre que les opérateurs une fois les débits descendants améliorés vont s'attacher à accroître maintenant les débits montants.

Si le débit est un facteur important pour votre cas d'usage, mieux vaut retenir pour les débits maximaux :

- **En ville outdoor : 2 Gbps descendant;**
- **Zone moyennement dense outdoor : 200 Mbps descendant;**
- **Indoor : 200 Mbps maximum descendant selon la pénétration des ondes dans le bâti³⁶⁵;**
- **Et pour l'upload, retenir 50 % théorique du débit descendant.**

Débit perçu par l'utilisateur

Évidemment, les fréquences avec lesquelles vous êtes connectés et les choix d'implémentation de l'opérateur sur la priorisation des débits montants sur les débits descendants auront les mêmes conséquences sur le débit perçu par l'utilisateur.

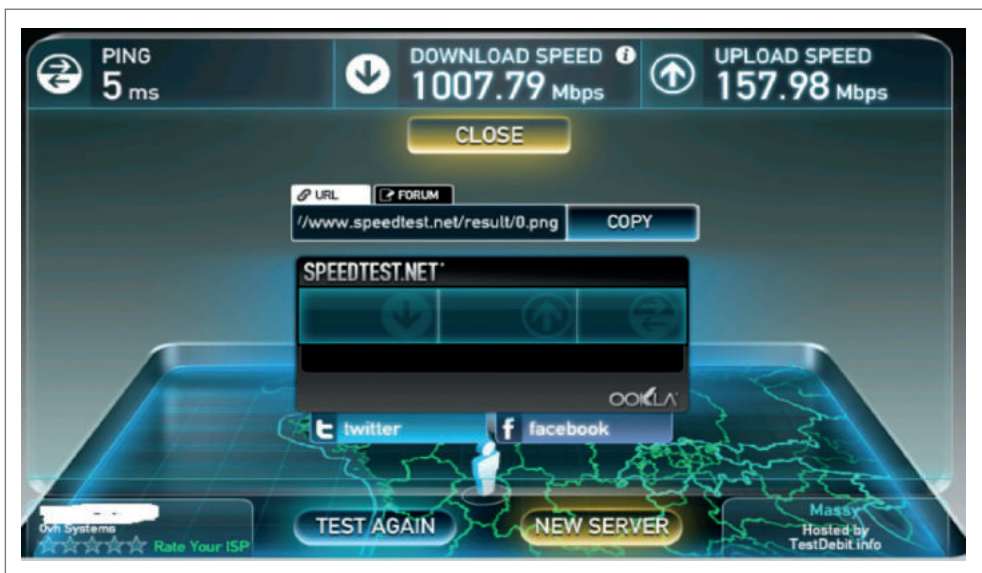


Fig. 128. Test du réseau 5G de Verizon : "But damn is it fast" ³⁶⁶.

362. "5G has arrived in the UK, and it's fast", Tom Warren, 30 mai 2019.

363. "5G has arrived in the UK, and it's fast", Tom Warren, 30 mai 2019.

364. <https://mobile-magazine.com/5g-and-iot/samsung-verizon-qualcomm-break-5g-upload-speed-record>.

365. Sauf à disposer d'antennes intérieures.

366. "5G is coming sooner than expected and it will be faster than Google fiber", Ahmed Bilal, 8 septembre 2015.

Sur la période d’avril à septembre 2019, les vitesses maximales mesurées en usage mobile étaient déjà impressionnantes :

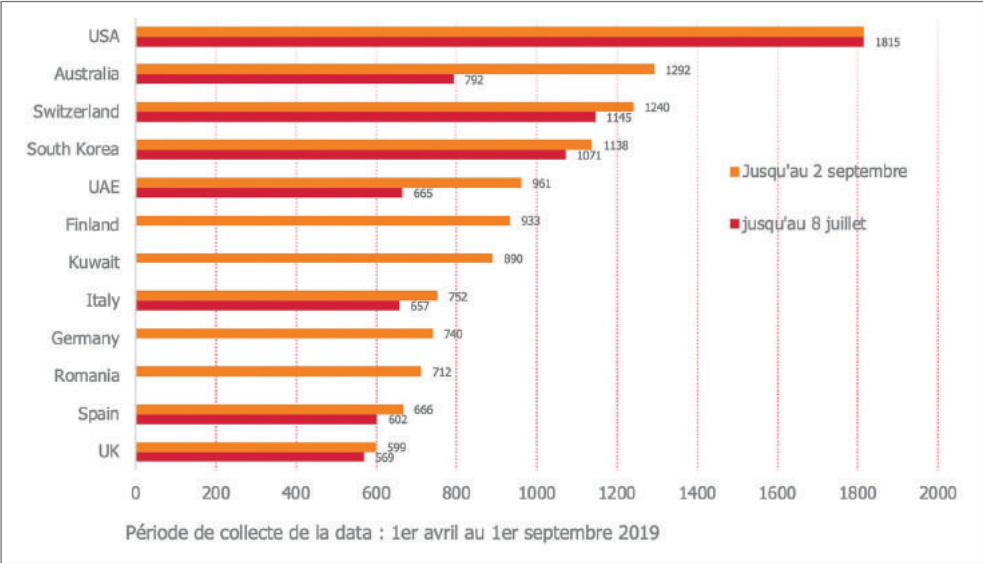


Fig. 129. Débits descendants maximums mesurés sur les réseaux 5G ouverts en 2019³⁶⁷.

Les États-Unis se détachaient clairement avec des débits maximaux approchant les 2 Gbps obtenus sur des fréquences millimétriques. On constatait également que les débits pouvaient grandement varier sur les bandes hautes 3,4-3,8 GHz, allant du simple au double entre la Grande-Bretagne et l’Australie. Par ailleurs, on notait peu de variation entre juillet et septembre 2019, à part pour l’Australie.

Les vitesses de téléchargement maximales sur les réseaux 5G aux États-Unis triplaient en juillet 2019 par rapport à la 4G avec 1,8 Gbps contre 678 Mbps. Ronan Dunne, executive VP et group CEO de Verizon grand public synthétisait le sujet de la manière suivante : « Millimeter wave is giving you between 1 and 2 GB download speeds. The mid bands and lowers are giving you in the low hundreds, so it’s already very clear the distinction between the two³⁶⁸ ».

Et lorsque l’on comparait les moyennes constatées à celles de la 4G pour les mêmes opérateurs sur le même territoire (figure ci-contre) :

	5G	4G
AT&T	823-957 Mbps	37.1Mbps
Sprint	151-185 Mbps	32.5 Mbps
T-Mobile	369.9-579 Mbps	36.3 Mbps
Verizon	713 Mbps-1.07 Gbps	53.3 Mbps

Fig. 130. Comparaison 4G vs 5G sur les débits descendants moyens en juillet 2019³⁶⁹.

367. “5G users now experience max download speeds over 1000 Mbps in 4 countries”, Ian Fogg, septembre 2019.

368. www.sdxcentral.com/articles/news/not-all-5g-is-created-equal-verizon-exec-says/2019/08/?utm_source=SDxCentral.com+Mailing+List&utm_campaign=392508798e-Daily_Newsletter_2019_08_7&utm_medium=email&utm_term=0_c2b6e504a2-392508798e-81828777

369. “5G vs 4G : Real-World Wireless Speeds Compared”, Caitlin McGarry, 13 juillet 2019.

Sur les moyennes, la comparaison avec la 4G montrait que les débits descendants étaient à minima multipliés par 10, tous excédant les 100 Mbps définis par l'IMT-2020.

En Corée, où le nombre d'abonnés 5G était plus significatif, les améliorations entre le 1^{er} avril et le 12 juin 2019 étaient moindres :

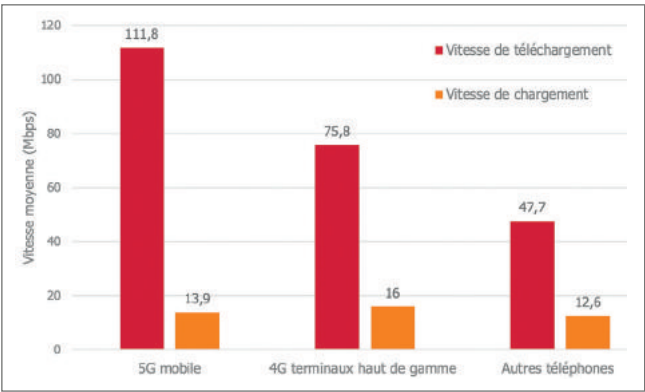


Fig. 131. Comparaison 4G vs 5G sur les débits descendants moyens en Corée³⁷⁰.



Fig. 132. 5G vs. 4G download speed improvement (ratio)³⁷¹.

excellente 4G et d'une excellente 5G les débits moyens descendants sont multipliés par 6.

Et sur cette même période, il est intéressant de comparer les meilleures performances en débits moyens descendants, en débits maximaux descendants et en débits moyens montants. Sur la figure 132, le premier enseignement est que l'on est en 2021 capable de produire des débits moyens (non significatifs au lancement du service dû au très faible nombre d'abonnés). Les 15 premiers pays délivrent un débit descendant moyen bien supérieur aux 100 Mbps promis par la 5G.

On constate néanmoins une variation importante de ceux-ci : de l'Autriche +150 Mbps à la Corée du Sud +400 Mbps. Cette variation reflète à la fois la maturité des opérateurs (la Corée du Sud ayant été pionnière) ainsi que la densité de la population. Pour les débits maximaux descendants, ils sont paradoxalement en baisse par rapport à 2019. Cela s'explique par un plus grand nombre d'abonnés moyens par antennes. Le débit descendant maximum est 2 à 3 fois supérieur au débit descendant moyen. Quant aux

Les débits en 5G étaient 48 % meilleurs qu'en 4G avec les tout derniers smartphones 4G et 134 % meilleurs avec les autres. Et, sans surprise, les débits montants étaient sur cette période similaires à ceux expérimentés en 4G.

Le même organisme de mesure OPENSIGNAL a mené une campagne du 1^{er} juin 2021 au 29 août 2021 nous permettant de faire un point d'étape depuis le lancement de la 5G en avril 2019. En premier lieu, on constate que l'augmentation des débits lié au passage de la 4G à la 5G varie de fois 5 à fois 12 (figure 132). L'apport est donc substantiel, mais dépend également de la performance de la 4G des pays concernés. Si on se focalise sur la Corée du Sud qui dispose d'une

370. "5G vs 4G : Real-World Wireless Speeds Compared", Caitlin McGarry, 13 juillet 2019.

371. www.opensignal.com/2021/09/09/benchmarking-the-global-5g-experience-september-2021.

débits moyens montants, ceux-ci restent désespérément très bas de 20 Mbps à 60 Mbps pour les 15 meilleures performances dans une fourchette de 8 % à 16 % du débit moyen descendant pour un même pays. Nous avons vu dans la section précédente que cette problématique était à l'étude. Retenons finalement que la Corée du Sud maintient son leadership sur la 5G.

Compte tenu du fait que tous les réseaux déployés le sont en version Release 15 NSA, on ne peut espérer que de meilleures performances au fur et à mesure des montées de version.

On peut raisonnablement espérer que les débits descendants perçus soient en moyenne supérieurs à 800 Mbps en millimétriques, à 100 Mbps dans la bande 3,4-3,8 GHz et à 20 Mbps dans les fréquences basses; ceci à la condition que l'opérateur ait densifié suffisamment son réseau en fonction de la cartographie démographique.

Le régulateur peut à ce titre être déterminant en afférant à l'attribution des fréquences des obligations de performances. En France, le projet soumis à consultation en juillet 2019 proposait un débit maximal théorique dans le sens descendant pour un même utilisateur d'au moins 100 Mbit/s par bloc de 10 MHz³⁷².

En 2020 lors de la procédure d'attribution des bandes de fréquences 3,4 - 3,8 GHz, il était inscrit dans les conditions d'attribution une obligation d'amélioration des performances des réseaux mobiles comprenant notamment les clauses suivantes :

- Le déploiement d'un réseau fournissant un accès mobile dans la bande 3,4 - 3,8 GHz avec des performances équivalentes à celles permises par les équipements de réseaux 5G (un débit descendant maximal théorique d'au moins 100 Mbps par bloc de 10 MHz et une latence d'au plus 5 ms) suivant un échéancier en nombre de sites s'étalant de 2022 à 2025.
- L'augmentation des débits fournis par les réseaux mobiles avec un débit descendant maximal théorique d'au moins 240 Mbps par secteur, suivant un échéancier en pourcentage de sites des réseaux mobiles s'étalant de 2022 à 2030³⁷³.

Efficacité spectrale

L'efficacité spectrale n'a pas un impact direct sur les usages. Elle permet de supporter des débits plus importants par Hz utilisé (en bits/seconde/Hz). Pour les géographies denses, les opérateurs auront moins d'antennes à déployer à débit équivalent. Les géographies peu denses, où par rentabilité il y a moins d'antennes, une meilleure efficacité spectrale permet d'améliorer néanmoins les débits sans avoir recours à la densification. Celle-ci dépend également des bandes utilisées (figure 133).

Average Spectral Efficiency (bps/Hz)				% Increase
Spectrum	Antennas	LTE	5G	
Low band	4x2 MIMO	2.1	2.5	19%
Mid band	4x4 MIMO	2.5	3.8	52%
mmWave	mMIMO	N/A	7 ¹	N/A

Fig. 133. Comparaison de l'efficacité spectrale moyenne selon les bandes de fréquences utilisées³⁷⁴.

372. Consultation publique menée du 15 juillet 2019 au 4 septembre 2019. Projet de décision proposant les modalités d'attribution de la bande 3490 - 3800 MHz en France métropolitaine, ARCEP.

373. Fréquences 5G : procédure d'attribution de la bande 3,4 - 3,8 GHz en métropole, ARCEP, 4 février 2021.

374. "5G Millimeter Wave Capacity: Bits per Hertz Matters", 13 octobre 2018.

Celle des fréquences millimétriques est très importante sachant que dans cette bande les fréquences sont abondantes.

L'enjeu pour toutes les parties prenantes est le bon usage de cette ressource rare, surtout dans les bandes de fréquences basses et hautes. Peu d'opérateurs communiquent sur ce critère qui a pourtant une influence directe sur les débits. Une étude publiée fin 2021 a partagé les résultats d'une amélioration de 70 % de l'efficacité spectrale de la 5G sur la 4G (LTE) réalisée sur les réseaux d'Elisa en Finlande. Cette étude met notamment en exergue l'apport significatif de l'encodage QAM256 (versus QAM64). C'est extrêmement positif de constater que la performance réelle sur le terrain dépasse déjà celle anticipée par la recherche académique (70 % versus 52 % en figure 133³⁷⁶).



Fig. 134. Tentative de records mondiaux en matière d'efficacité spectrale 5G grâce à l'utilisation massive de MIMO³⁷⁵.

C'est par ailleurs un sujet sur lequel on trouve des publications scientifiques (figure 134). National Instruments a travaillé avec les universités de Bristol au Royaume-Uni et de Lund aux Pays-Bas pour développer et tester un prototype de système MIMO massif qui a battu le record d'efficacité spectrale l'année dernière, réussissant à atteindre la performance de 145 b/s/Hz. « C'est 20 fois l'efficacité spectrale de la 4G³⁷⁷ », se félicite la professeure Danielle George³⁷⁸.

La promesse d'une amélioration de l'efficacité spectrale d'un facteur 3 ne sera probablement possible qu'en incorporant dans le mix spectral l'usage des millimétriques.

Vitesse

En communication mobile 5G, on distingue quatre catégories d'usages :

- Stationnaire : 0 km/h;
- Piéton : 0 km/h à 10 km/h;
- Véhicule : 10 km/h à 120 km/h;
- Véhicule à haute vitesse : 120 km/h à 500 km/h.

375. "C21 2017: Setting world records in 5G wireless spectral efficiency using massive MIMO", Stuart Nathan, 11 décembre 2017.

376. "Performance Analysis of the Elisa 5G NR Network, which the operator has deployed in Band - n78 (3.6 GHz)", 15 décembre 2021.

377. "That is a greater than 20 times increase in bandwidth efficiency compared to current 4G cellular technologies".

378. "C21 2017: Setting world records in 5G wireless spectral efficiency using massive MIMO", Stuart Nathan, 11 décembre 2017.

Et cela avec une efficacité spectrale selon la zone :

- Indoor : 1,5 Mb/s/MHz pour une vitesse de 10 km/h;
- Zone urbaine dense : 1,12 Mb/s/MHz pour une vitesse de 30 km/h;
- Zone rurale :
 - 0,8 Mb/s/MHz pour une vitesse de 120 km/h;
 - 0,45 Mb/s/MHz pour une vitesse de 500 km/h.

Attention, ces débits sont donnés en sortie d'antennes. On ne peut pas anticiper les conditions du côté du terminal, où il faut tenir compte de l'atténuation des signaux en traversant les matériaux et notamment les vitres. Les zones rurales étant souvent couvertes en fréquences basses avec 10 MHz, sans une infrastructure dédiée à la couverture, le débit théorique maximum devrait être limité à 8 Mbps en considérant une vitesse de 120 km/h.

En 2020 lors de la procédure d'attribution des bandes de fréquences, une obligation de couvrir les axes routiers est inscrite dans les conditions d'attribution pour les autoroutes et routes principales avec pour débit maximum théorique au moins 100 Mbps par secteur et une latence inférieure à 10 ms d'ici 2027³⁷⁹. Il faudra donc que les opérateurs français attributaires de fréquences 5G déploient des infrastructures dédiées. Ils s'y préparent avec les équipementiers télécoms et les constructeurs automobiles (figure 135). Les premiers résultats ont permis d'atteindre dès 2017 l'objectif de 100 Mbps.

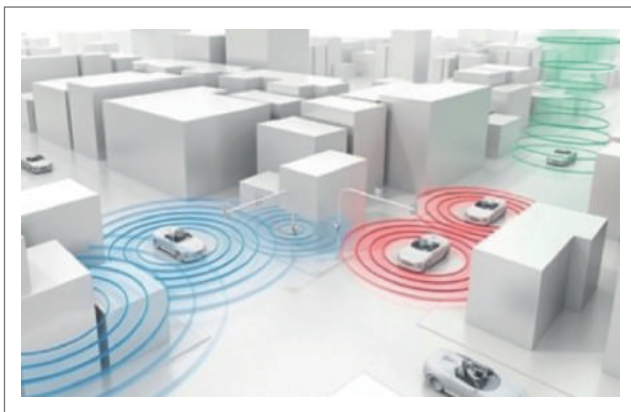


Fig. 135. Infrastructure services mobiles 5G renforcent la sécurité routière³⁸⁰.

Pour délivrer du très haut débit aux trains, il faudra également déployer des infrastructures dédiées. KDDI et Samsung ont réalisé un test grandeur nature en fréquences millimétriques avec deux stations relais distancées de 1,5 km.

À une vitesse de 100 km/h, il a été possible de mesurer en pic un débit de 1,7 Gbps relayé dans les voitures en Wi-Fi sans coupure de connexion au passage de témoin entre les deux antennes.

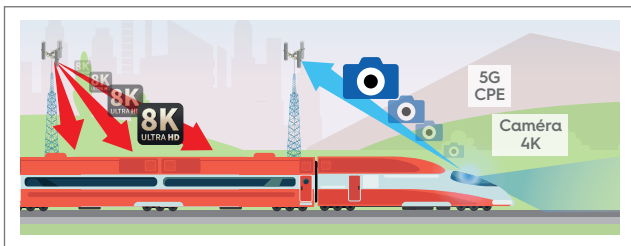


Fig. 136. Test 5G grandeur nature dans un train roulant à 100 km/h³⁸¹.

379. Fréquences 5G : procédure d'attribution de la bande 3,4 - 3,8 GHz en métropole, ARCEP, 4 février 2021.

380. "Audi, BMW und Daimler profitieren von HERE", 8 janvier 2016.

381. "KDDI and Samsung Complete First Successful Demonstration of 5G on a Train Moving at 100 km/hour", 1^{er} septembre 2019.

DoCoMo a réalisé fin septembre 2019 un test avec un train à grande vitesse se déplaçant à 283 km/h avec des pics de débit supérieurs à 1 Gbps³⁸² (figure 137). Le premier train à très grande vitesse avec une couverture complète en 5G est disponible depuis janvier 2020 reliant Guanzou-Shenzhen-Hong-Kong sur plus de 141 km³⁸³.

En mobilité³⁸⁴, on peut tabler sur :

- **Indoor** : 150 Mbps minimums pour 100 MHz de spectre;
- **Zone urbaine dense** : 100 Mbps pour 100 MHz de spectre à une vitesse de 30 km/h;
- **Zone rurale et principaux axes routiers** :
 - 8 Mbps pour 10 MHz de spectre à une vitesse de 120 km/h;
 - 4,5 Mbps pour 10 MHz à une vitesse de 500 km/h;
- **Principaux axes routiers selon les obligations définies par le régulateur** :
 - 50 Mbps avec une antenne intérieure à la vitesse définie par le Code de la route;
 - 100 Mbps avec une antenne extérieure à la vitesse définie par le Code de la route.



Fig. 137. Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong High speed train.

Latence

La latence est une des promesses phares de la 5G avec l'ambition de la diminuer à une milliseconde sachant que la 4G propose 10 ms. Mais finalement, de quoi parlons-nous?

Revenons aux performances attendues telles qu'elles ont été définies par l'ITU-T, qui distingue deux types de latence :

- **«user plane»** correspond au temps de transfert d'un paquet de données entre l'antenne et le terminal et ceci pour les échanges montants et descendants :
 - eMBB : **4 ms**;
 - URLLC : **1 ms**;
- **«control plane»** correspond au temps nécessaire à l'antenne et au terminal pour être prêts à échanger des données. L'objectif a été fixé à 20 ms, même si les équipementiers sont encouragés à cibler 10 ms.

Mais ceci ne concerne que l'interface radio et ne tient donc pas compte de la latence globale entre, par exemple, deux terminaux.

382. "DOCOMO Achieves World's First 5G Communication Between High-speed Bullet Train and Experimental Base Stations", 30 septembre 2019.

383. "China's First 5G-Covered High-Speed Railway Switches On", 13 janvier 2020, Ding Yi.

384. Hors atténuation du signal.

On distingue trois latences :

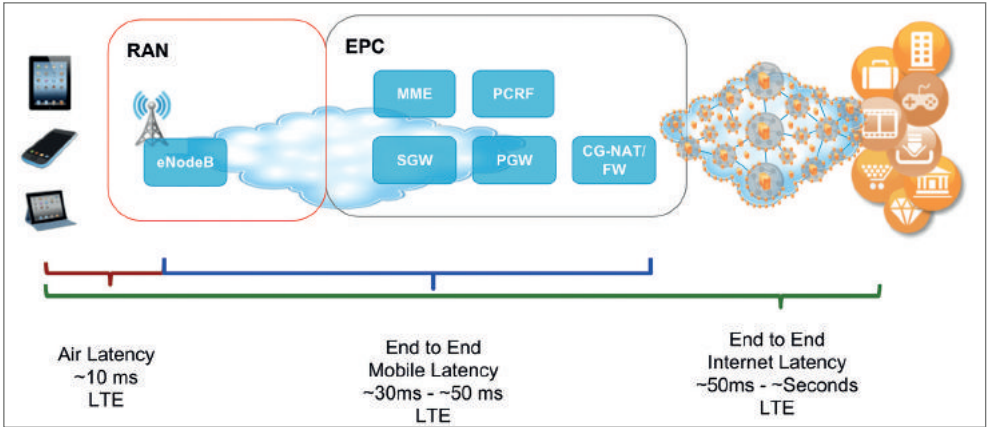


Fig. 138. Les trois latences en communications bout en bout³⁸⁵.

Pour les usages à destination des personnes, le gain de 6 ms sur la «air latency» peut sembler marginal si l'on regarde les temps de réaction des êtres humains à une stimulation visuelle (figure 139).

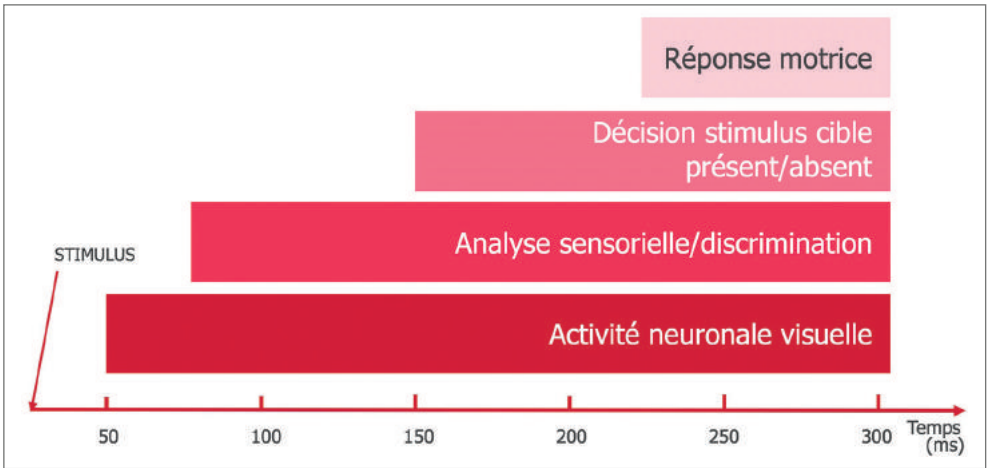


Fig. 139. Le temps de réaction à une stimulation visuelle, étape par étape³⁸⁶.

La perception visuelle du stimulus prend déjà 50 ms. Le temps de contextualiser ce stimulus et de prendre une décision, il faut entre 250 ms et 300 ms pour apporter une réponse motrice (comme interagir avec le terminal). Pour un stimulus auditif, le temps moyen de réaction est d'environ 235 millisecondes. Je vous invite d'ailleurs à tester vos propres temps de réaction sur le site Human Benchmark³⁸⁷. Mon propre score moyen est de 279 ms.

385. "5G Latency - Reality Checks", Barry Greene, 9 décembre 2018.

386. «Le temps de réaction, qu'est-ce que c'est?», Frédérique Cordier, 27 octobre 2011.

387. www.humanbenchmark.com/tests/reactiontime.

Peut-on conclure pour autant que cela n’a donc aucune importance? En fait, il y a des usages où gagner quelques millisecondes est déjà très important. Dans le monde des jeux, les «gamers» se dotent de claviers mécaniques et d’écrans avec des taux de rafraîchissement élevés pour augmenter leurs performances en diminuant la latence.

Une plus faible latence bénéficiera à tous les usages (visuels ou sonores), apportant une plus grande immédiateté qui sera perceptible si le gain n’est pas marginal. À ce propos, les premières mesures permettant de comparer la latence bout en bout de la 5G et de la 4G ne montrent rien de très significatif (figure ci-contre).

En 2019, rien ne permettait de clamer une amélioration d’un facteur 10. En 2021, on constate une amélioration notable de l’ordre de 20 % de la latence chez les opérateurs. Ookla a mesuré des latences moyennes entre 29 et 33 millisecondes avec néanmoins des écarts très significatifs entre opérateurs. À titre d’exemple, RootMetrics a mesuré à Londres des latences pouvant varier de 17 millisecondes chez Three et 45 millisecondes chez EE³⁸⁹.

Pour savoir si les faibles latences auront un impact sur les usages homme-homme ou homme-machine, il faudra patienter encore un peu. Devrons-nous bénéficier d’un slice URLCC pour être en mesure de l’apprécier? Pour répondre à cette question, il faut attendre que les équipements Release 16 soient déployés.

La grande différence de la 5G vis-à-vis des générations précédentes est d’adresser spécifiquement les communications de machines à machines avec deux grands types d’usage, mMTC et URLLC. Pour le premier, l’IoT massif n’exige pas de faibles latences. Par contre, c’est bien avec l’intention de positionner la 5G sur les besoins temps réel de l’industrie que les faibles latences sont adressées. Avec deux usages distincts : en réseau public et en réseau privé. En réseau public, il y a bien évidemment l’usage de l’auto-mobile connectée avec les exigences définies par le 3GPP (figure 141).

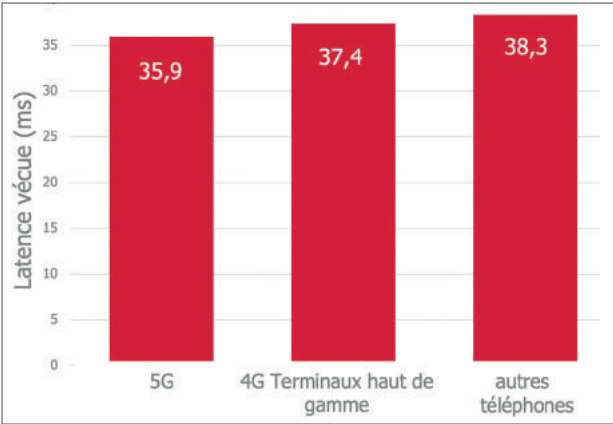


Fig. 140. Comparaison 4G vs 5G sur la latence moyenne en Corée³⁸⁸.

Attribute	Description
Latency	• For V2V/P application – 100 ms max • For V2V Pre-crash sensing application –20 ms max
Message size	50-300 bytes (not including security related components)
Frequency	10 messages per second per UE or per RSU max
Absolute speed	250 km/h

Fig. 141. Exigences V2X de faibles latences³⁹⁰.

388. “5G vs. 4G : Real-World Wireless Speeds Compared”, Caitlin McGarry, 13 juillet 2019.

389. “For 4G and 5G for gaming”, 21 décembre 2021.

390. “3GPP TS 22.185 ‘Service requirements for V2X services’, V14.2.0”, mars 2017.

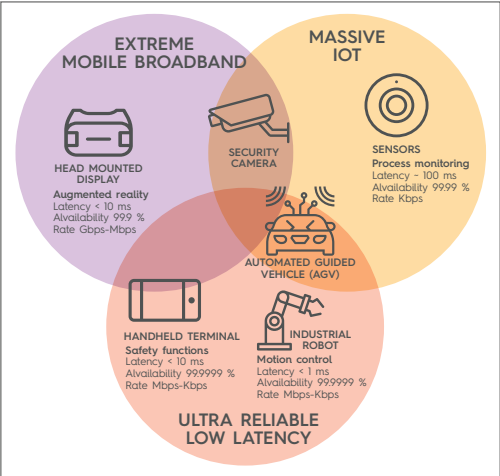


Fig. 142. Quels usages pour l'industrie 4.0 requérant une faible latence ?³⁹¹

Avec des latences bout en bout de 100 ms et 20 ms pour les communications de véhicule à véhicule (V2V), l'amélioration de la latence de l'interface radio de 10 ms à 1 ms n'est pas marginale (figure 142).

Et dans les réseaux privés, l'industrie 4.0 distingue trois grandes familles d'usages illustrées en figure 142. La figure 143 détaille les besoins en cycles de vie pour différents usages URLLC.

À l'exception du cas d'usage «Process automation» qui peut être adressé avec les slices mMTC et eMBB, tous ces usages requièrent un profil de performance URLLC avec une exigence sur la disponibilité, la latence et la gigue.

CAS D'USAGES		DISPONIBILITE	CYCLE DE VIE	TRAFFIC UTILE	EQUIPEMENTS	ZONE DE DESSERTE
Déplacements	Imprimante	>99,9999%	<2ms	20 octets	> 100	100m x 100m x 30m
	Outils connectés	>99,9999%	<0,5ms	50 octets	~20	15m x 15m x 3m
	Conditionnement	>99,9999%	<1ms	40 octets	~50	10m x 5m x 3m
Robots mobiles	Coordination de déplacement de robots	>99,9999%	1ms	40-250 octets	100	<1km²
	Contrôle à distance par vidéo	>99,9999%	10-100ms	15-150 octets	100	<1km²
Panneaux de contrôle mobile avec des fonctions de sécurité	Robots d'assemblage ou fraiseuse	>99,9999%	4-8ms	40-250 octets	4	10m x 10m
	grues mobiles	>99,9999%	12ms	40-250 octets	2	40m x 60m
Automatisation des processus (surveillance des processus)		>99,99%	>50ms	cela varie	10,000 devices per km²	

Fig. 143. Industrie 4.0 - Cas d'usage nécessitant une faible latence³⁹².

Et pour pouvoir justement bénéficier d'une latence faible et prédictible, le mieux est de coupler la faible latence avec le Multi-Access Edge Computing, ce qui permet de localiser les algorithmes en proximité des usages (figure 144 page suivante). Ici, on voit la façon dont Verizon Media fournit de la faible latence en tirant avantage du Multi-Access Edge Computing.

Nous n'avons pas encore, et pour cause, de réseaux 5G permettant d'avoir de premiers retours avec un slice URLLC. Néanmoins, la start-up HAAS Alert, qui avertit les conducteurs de véhicules en cas d'urgence détectée, a réalisé un premier pilote de C-V2X sur le

391. "Ultra-Reliable Low-Latency 5G For Industrial Automation", Gabriel Brown.

392. "Ultra-Reliable Low-Latency 5G For Industrial Automation", Gabriel Brown.

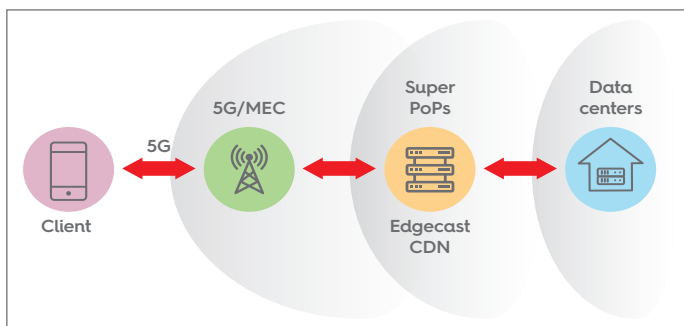


Fig. 144. Usage de l'Edge Computing par Verizon Media pour offrir de faibles latences³⁹³.

réseau 5G de Sprint à Chicago. Les tests ont été réalisés en parallèle sur les réseaux 4G et 5G, à l'avantage du dernier avec des réductions de latence de 40 % (une moyenne de 0,387 seconde avec un écart-type de 0,388 en 4G, contre 0,232 seconde avec un écart-type de 0,082 en 5G).

On appréciera les bénéfices de la latence qu'à la condition de déployer les algorithmes en proximité des usages au moyen du MEC. En ce qui concerne les très faibles latences, il faudra attendre le déploiement de slices URLLC disponibles à partir de la Release 16.

Densité de connexions

La 5G s'est projetée en réseau universel des IoT et avait défini l'objectif de supporter jusqu'à 1 million d'objets connectés au kilomètre carré. Depuis, l'industrie des télécoms a décidé de revisiter sa stratégie en intégrant à la 5G les deux protocoles élaborés avec la 4G, NB-IoT et LTE-M, en prenant l'engagement de la pérennité de ces solutions. Certes, l'objectif initialement fixé est bien atteint, mais ce choix cache en réalité la décision de ne plus adresser le segment des objets à très bas coût en réseau longue portée bien couvert par ailleurs par Sigfox et Lora. Comme le précise Bob Rodriguez, directeur des achats réseaux de Sprint : «[IoT] doesn't need 5G on the radio side», résumant bien l'analyse ayant conduit l'industrie à cette décision³⁹⁴. Celle-ci est aussi le pari du développement d'objets plus intelligents, plus riches, nécessitant des protocoles supportant des débits descendants et montants plus élevés que ceux supportés par Sigfox et Lora. Sprint n'est pas seul dans cette analyse, puisque Alp Basol, directeur de la stratégie et de l'innovation pour l'industrie chez AT&T, renchérit : «Nous passons des dispositifs passifs qui recueillent de petites quantités d'informations [...] à la dernière génération de dispositifs IoT qui sont alimentés électriquement en permanence – par exemple un feu tricolore – et qui sont programmables pour être plus intelligents³⁹⁵».

Pour les usages en 5G privée dédiée aux campus, l'ETSI a enrichi l'offre 5G du tout nouveau protocole DECT-2020 NR permettant de supporter jusqu'à 1 million d'objets connectés³⁹⁶.

La densité d'un million d'objets connectés est d'ores et déjà atteinte, mais avec des protocoles différents et donc des performances différentes, que ce soit en 5G publique ou en 5G privée.

393. "How to manage multiple edges in the age of 5G", Dave Andrews, 19 décembre 2018.

394. "AT&T, Sprint, and Cisco Execs Throw Cold Water on 5G", Matt Kapko, 19 septembre 2019.

395. "We're moving from passive devices that are collecting small amounts of information and then sending that into an analytics engine to the latest generation of IoT devices that are coming out that are permanently power connected – so a traffic light – and they are programmable so they have more intelligence".

396. «DECT-2020 NR, une norme innovante pour l'IOT, décentralisée, sans infrastructure et autonome», Serge Escalé, 27 avril 2022.

Efficacité énergétique

C'est le seul objectif qui n'est pas chiffré par l'IMT-2020. Déjà, la 5G viendra en superposition des précédentes versions. Donc au global, la consommation augmentera nécessairement. Nous avons développé ce sujet dans le premier chapitre : le secteur des télécommunications représente environ 4 % de la consommation mondiale d'électricité³⁹⁷.

Ce qui a été mis en avant n'est pas la consommation globale des infrastructures, mais celle des équipements qui y sont très sensibles : les IoT, avec principalement deux mécanismes pour répondre à cet enjeu.

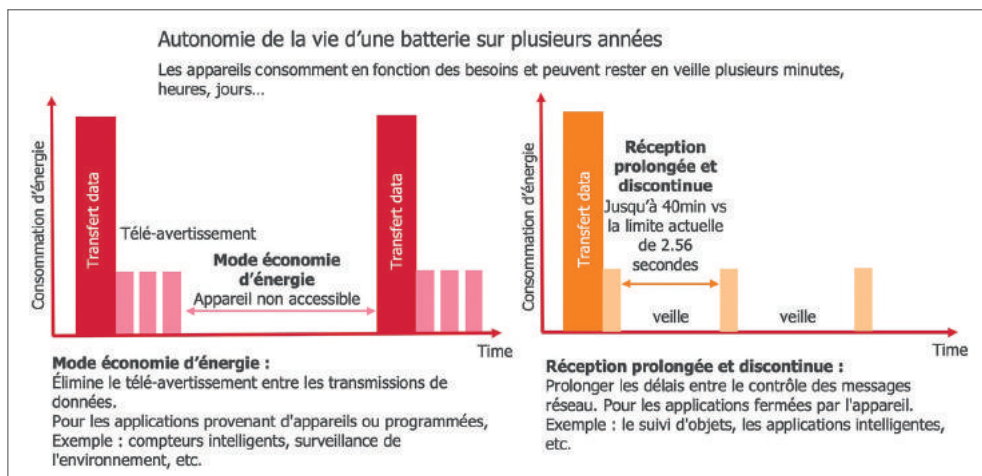


Fig. 145. IoT : deux mécanismes pour allonger la durée de vie des batteries³⁹⁸.

Pour ce qui est des antennes 5G, les améliorations promises portant sur l'interface radio permettent notamment de mettre en veille les équipements. Ericsson a pris l'engagement vis-à-vis de ses clients de diminuer de 37 % la consommation de leurs stations de base en 2022 par rapport à 2016³⁹⁹. Depuis, Telefónica en collaboration avec Nokia, a mené des expérimentations permettant d'espérer une amélioration de l'efficacité énergétique de 90 %⁴⁰⁰.

Quant à ceux qui s'opposent au déploiement de la 5G au prétexte qu'elle augmente nécessairement la consommation préexistante de la 4G, l'ARCEP a conduit une étude démontrant une meilleure efficacité énergétique du couple 4G/5G comparé à la 4G seule dans une hypothèse de croissance tendancielle des usages. À noter que cette amélioration est plus notable en zone dense. À partir du scénario envisagé par l'ARCEP à l'horizon 2028, le déploiement de la 5G permet de réaliser des économies d'énergie jusqu'à dix fois la consommation énergétique réalisée en 2020⁴⁰¹.

397. "Energy efficiency in the telecommunications network", David Schnafer, 20 juillet 2016.

398. "Paving the path to narrowband 5G with LTE Internet of Things (IoT)", Qualcomm, juin 2016.

399. "Breaking the energy curve: why service providers should care about 5G energy efficiency", Bhushan Joshi, 25 février 2019.

400. "Nokia confirms 5G as 90 percent more energy efficient", 2 décembre 2020.

401. «Une étude pour mesurer les impacts de l'introduction de la 5G en bande 3,5 GHz en matière de consommation énergétique des réseaux», ARCEP, 14 janvier 2022.

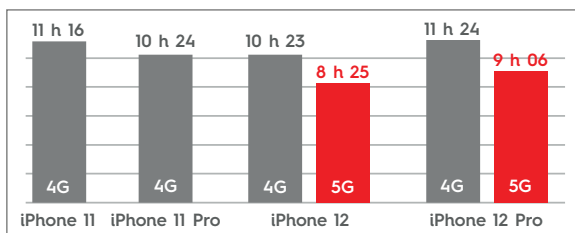


Fig. 146. Autonomie des iPhone 11 et 12 en 4G et 5G.

Comme la consommation du terminal (et en particulier le rétroéclairage de l'écran) a un impact bien supérieur que le modem de transmission sur la charge de la batterie, ce n'est pas fondamentalement significatif⁴⁰³.

Paradoxalement, l'élément structurant de la 5G qui va peser favorablement sur l'efficacité énergétique du numérique est la possibilité de déplacer une partie des processus IT aujourd'hui exécutée sur les équipements terminaux vers des ressources de calcul et de stockage localisés en proximité au sein même des infrastructures télécoms. Ce nouveau paradigme introduit un triple bénéfice. En premier lieu les besoins capacitaires des équipements terminaux diminuent permettant de doter ces derniers de processeurs moins puissants. En second lieu, la durée de vie des terminaux s'en trouve prolongée puisque les évolutions logicielles sont déployées en Edge. Pour finir, les ressources de calcul et stockage mobilisées en Edge sont mutualisées. Le MEC va permettre de rendre éligible une part importante des processus IT au cloud public permettant de diminuer l'empreinte énergétique des équipements terminaux et de mutualiser celle des serveurs.

À titre d'exemple, on peut se référer au tout dernier JioPhone Next réalisé avec Google qui offre les mêmes capacités qu'un smartphone standard, mais à un coût de seulement 50 \$, car l'essentiel des fonctions est exécuté en Edge⁴⁰⁴.

Pour l'instant, l'ambition d'améliorer l'efficacité énergétique des infrastructures n'est pas au rendez-vous. Mais ce sont les premières versions et l'on comprend aisément que ce ne soit pas la priorité. L'apport de la 5G sur l'efficacité énergétique doit se considérer holistiquement en intégrant l'ensemble des ressources mobilisées pour porter l'applicatif. Dans cette perspective la 5G va être un levier majeur dans la maîtrise des enjeux environnementaux induits par le numérique.

402. «Les petites batteries des iPhone 12 n'aiment pas la 5G», Nicolas Furno, 25 octobre 2021.

403. "5G uses less power than 4G at peak bitrates, but more for basic tasks", Jeremy Horwitz, 11 septembre 2019.

404. "JioPhone Next now available for purchase: How to buy the smartphone", 6 novembre 2021.

Débit sur une zone

Cet objectif a été fixé dans un contexte eMBB⁴⁰⁵ et indoor⁴⁰⁶ à un débit descendant de 10 Mbit/s/m².

Ce n'est manifestement pas aujourd'hui la préoccupation, tout du moins dans les publications officielles, ni des équipementiers ni des opérateurs. Ce critère pèsera nécessairement au moment où l'on densifiera la 5G et que celle-ci sera en compétition avec le Wi-Fi.

En synthèse

Le moins que l'on puisse dire, c'est que l'étude détaillée des promesses de la 5G à l'aulne des hypothèses qu'elles sous-tendent, du calendrier de mise à disposition des différentes fonctions et des premiers retours d'expérience, met un peu de relief sur les présentations marketing des sponsors de la 5G. Celle-ci sera très différente selon :

- Que l'on bénéficie ou pas des fréquences millimétriques;
- Que le service soit dans un slice eMMB, URLLC ou mMTC;
- Que l'on soit en indoor, zone dense, rurale, ou sur un axe principal routier;
- De la largeur des bandes de fréquences dont dispose votre opérateur;
- De la densité de déploiement des antennes.

Le deuxième enseignement majeur est relatif à la capacité de prendre des engagements de qualité de service pour un slice donné. À l'analyse de tous les critères, on se rend compte qu'elle ne peut être garantie qu'à la condition que ceux-ci soient circonscrits à une zone bien déterminée. La QoS mobile ne pourra donc être garantie que pour un périmètre donné.

Avec trois critères très interdépendants que sont la latence, le débit et la couverture :

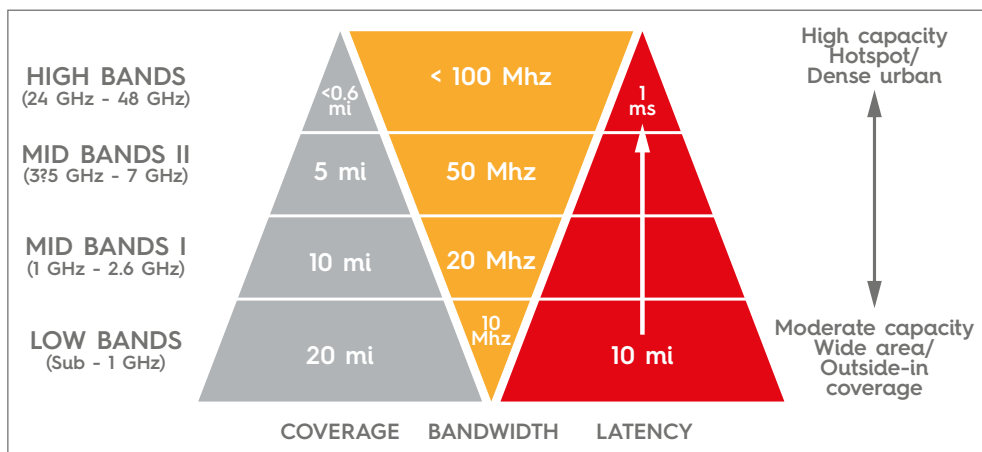


Fig. 147. Interdépendance de la couverture, de la bande passante et de la latence pour la 5G⁴⁰⁷.

405. "This requirement is defined for the purpose of evaluation in the related eMBB test environment".

406. "The target value for Area traffic capacity in downlink is 10 Mbit/s/m2 in the Indoor Hotspot - eMBB test environment".

407. "5G Low Latency Requirements", Ronan McLaughlin, 25 mai 2019.

En zone très dense, à condition que des antennes millimétriques soient déployées, on pourra bénéficier de débits allant jusqu'à 2 Gbps maximum avec une moyenne supérieure à 100 Mbps et une latence pouvant approcher la milliseconde⁴⁰⁸.

En zone urbaine, on pourra bénéficier de débits allant jusqu'à 1 Gbps avec une moyenne supérieure à 100 Mbps et une latence de l'ordre de 4 ms.

En zone rurale, on pourra bénéficier de débits allant jusqu'à 100 Mbps avec une moyenne supérieure à 15 Mbps et une latence de l'ordre de 10 ms.

408. Dans un usage URLLC et entre l'antenne et l'équipement terminal.

Chapitre



Usages émergents

Nous venons de considérer les performances actuelles de la 5G sous le prisme des 8 usages primaires retenus par le 3GPP. Venons-en maintenant aux usages émergents pour lesquels l'exercice reste délicat puisque, comme vu précédemment, la 5G déployée à date est adossée à la 4G et n'inclut donc pas encore les fonctions les plus disruptives de cette nouvelle technologie.

Dans un premier temps il est important de rappeler qu'il est historiquement très difficile d'anticiper les nouveaux usages apportés par une technologie émergente. Comme le rappelle Bernard Miège, professeur émérite à l'université de Grenoble-Alpes, les technologies de l'information et de communication n'y échappent pas : « En dépit des assurances des ingénieurs et des décideurs, les premières études confirmaient ce que l'observation montrait déjà, à savoir que les outils ne suivaient pas les prescriptions des offreurs et que les usages réels étaient loin de correspondre à ce qui était attendu⁴⁰⁹ ». Le processus d'insertion d'une nouvelle technologie, dans la société, dans un secteur économique, dans une organisation privée ou publique, est particulièrement complexe pour différentes raisons :

- Il faut que l'ensemble des parties-prenantes y trouvent un intérêt. Et plus elles sont nombreuses plus le processus sera long à dérouler.
- Le processus requiert des traducteurs capables de comprendre les intuitions des concepteurs et les projeter dans un écosystème donné.
- Nul n'est capable de maîtriser le facteur temps et ce qui fait que la valeur d'un usage soit finalement appréciée bien des années après la capacité technologique à le soutenir. Un très bon exemple est l'usage de la vidéo dans les conférences téléphoniques qui a explosé durant les confinements imposés par la crise COVID alors qu'il était la promesse phare de la 3G.

Pour ceux qui doutent que la 5G ne soit pas une rupture, rappelons-nous que nous étions également sceptiques lors du lancement de la 4G puisque nous disposions alors déjà de la voix, de la data et de la visio. Or la 4G a été une bascule majeure pour les usages tant personnels que professionnels. Auparavant le terminal mobile permettait de maintenir une communication dégradée entre deux connexions avec notre ordinateur personnel. Le Blackberry nous permettait de consulter nos emails en déplacement mais il nous tardait de retrouver un ordinateur pour jouir pleinement des usages numériques. Depuis la 4G, l'essentiel de notre expérience numérique est porté par notre terminal mobile et nous nous connectons à notre ordinateur personnel lorsqu'un usage n'est pas approprié avec notre téléphone. La 4G, même si d'autres technologies y ont contribué, a fortement porté la transition vers le « Mobile Centric ».

Ceci nous amenant à humblement reconnaître qu'il y a deux catégories d'usage : ceux qui sont d'ores et déjà clairement identifiés et ceux qui vous graduellement se révéler. La ligne de flottaison va progressivement baisser révélant les usages les moins aisés à prédire, au fur et à mesure que les fonctionnalités les plus avancées de la 5G se déploieront.

Prenons quelques exemples concrets d'usage de la 5G pour matérialiser ce qu'elle permet déjà.

⁴⁰⁹. *Nouvelles technologies, nouveaux usages ? Bernard Miège, Dans La Communication (2016).*

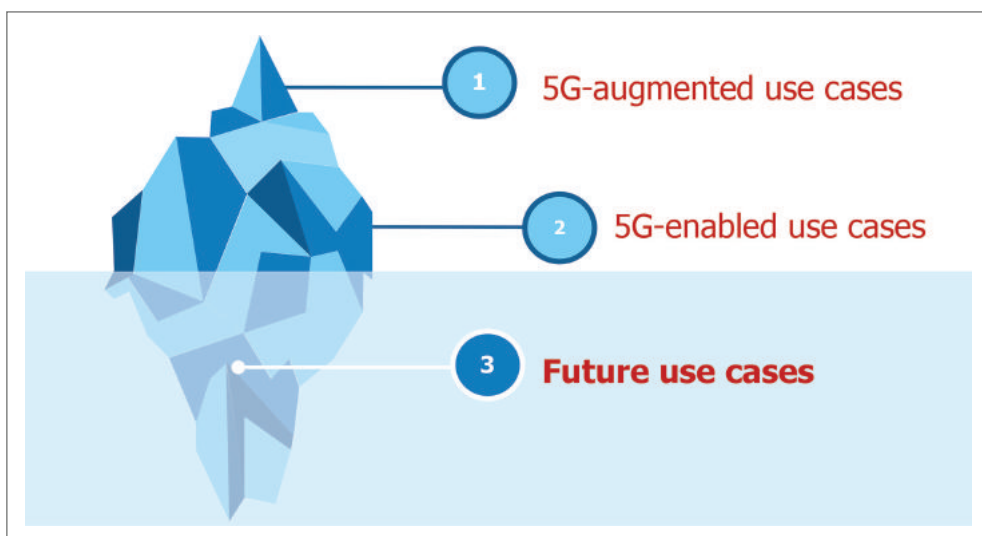


Fig. 148. Les différentes catégories d'usage de la 5G.

Connectivité augmentée

Le premier bénéfice de la 5G est une amélioration de la connectivité. En attribuant de nouvelles fréquences on augmente les capacités qui maillent les territoires quantitativement et qualitativement en combinant fréquences basses (700 MHz), hautes (3,5 MHz) et millimétriques.

Le numérique ayant toujours de l'appétence pour une meilleure connectivité, tous les usages existants en 4G vont s'en trouver améliorés. Prenons en l'occurrence l'exemple des robots serviciel d'Awabot pour lesquels certains clients n'ont pas la capacité à maintenir sur l'ensemble de leurs sites un service Wi-Fi fiable. La 5G permet, en complément de la 4G, de disposer d'une connectivité indoor et outdoor managée par les opérateurs publics et d'apporter par la même un surcroît de débit montant, l'un de ses différenciateurs.

Et la 5G se positionne également en complément du filaire là où le très haut débit fixe n'est pas compétitif que ce soit financièrement, qualitativement ou les deux. Ce développement est initié sur plusieurs géographies. Nous avons déjà évoqué Verizon aux USA en millimétriques et Fastweb en Italie sur la bande 3,5 GHz. Vodafone Spain a annoncé qu'une offre similaire allait être lancée en 2022 pour servir dans un premier temps 63 villes toutes comptant plus de 100000 habitants⁴¹⁰.

Autre exemple illustrant cette famille d'usages, est le support numérique apporté aux intervenants mobiles. 80 % de la main-d'œuvre mondiale est sans bureau pour seulement 5 % des investissements numériques les concernant⁴¹¹. L'amélioration de la connectivité grâce à la 5G va réduire les angles morts au sein desquels les employés nomades ne disposent pas d'une connectivité suffisante (en couverture, en débit, en

410. "Vodafone to launch FWA 5G, issues coverage target, makes Open RAN call", 1^{er} mars 2022.

411. "IT on the go: How remote work is making tech support more challenging", Paola Peralta, 3 février 2022.

latence) pour bénéficier d'un soutien numérique. La société AMA offre des applications de réalité assistée, de gestion dynamique de workflows et de planification en ligne. Ces solutions innovantes permettent aux experts et techniciens sur site de partager des données et connaissances en temps réel en associant l'expertise humaine à des lunettes connectées. Elles renforcent leur efficacité et leur productivité et simplifient le transfert de connaissances tout en limitant les déplacements, pour une empreinte écologique allégée. Celles-ci auto-adaptent les flux vidéo en fonction de la qualité de service du réseau. L'ajout de la 5G aux autres réseaux mobiles va permettre d'élargir le spectre des usages quel que soit, ou presque, le positionnement géographique de l'intervenant⁴¹².



Fig. 149. La téléassistance simplifiée avec AMA.

Private Mobile Network

Le besoin de réseaux mobiles privée est un segment clairement identifié de longues dates et servi par des technologies éprouvées telles la private LTE (4G), Tetra (2G) et quelques autres protocoles propriétaires comme Tetrapol.

Les deux premiers protocoles sont particulièrement utilisés pour servir des besoins de radiocommunication des sites industriels sensibles qu'ils soient privés ou publics. Associated British Ports (ABP), qui possède et exploite 21 ports au Royaume-Uni, a installé un réseau 5G privé, fourni par Verizon, en partenariat avec Nokia, dans son port de Southampton.

412. www.amaxperteye.com/?lang=fr.

413. *Remote assistance made easy with AMA*, Esther Duval, marketing manager, 3 février 2020.



Fig. 150. Déploiement de la 5G au port de Southampton.

Elle a connecté ce réseau à un nouveau logiciel d'exploitation de terminal, qui scanne et suit les importations et exportations de voitures⁴¹⁴. De l'autre côté de la Manche, les Aéroports de Paris ont déployé fin 2021 un réseau privé 4G évolutif en 5G fin 2023 sur la bande de fréquence 2,6 gigahertz TDD (2570 - 2620 MHz) attribuée par l'Arcep⁴¹⁵.



Fig. 151. Déploiement de la 4G évolutive 5G à l'aéroport de Charles de Gaulle.

414. "Industry turns to private 5G to speed digital change", Nick Huber, 7 février 2022.

415. "Hub One, ADP et Air France basculent vers le très haut débit dans les aéroports parisiens », Léo Barnier, 15 octobre 2021.

Autre exemple d'usage de la 5G dans la mise en œuvre de Réseaux Mobiles Privés est l'offre annoncée d'AWS à l'attention de ses clients. L'originalité de l'offre AWS Private 5G tient à son positionnement frontal avec le Wi-Fi professionnel tant sur la mise en œuvre simple et les faibles coûts de déploiement ne nécessitant pas une planification complexe. Le client reçoit les antennes 5G à déployer sur son site qui utiliseront le spectre non licencié CBRS aux USA. Le cœur de réseau est dans le Cloud avec une valorisation sans frais initiaux indépendante du nombre d'objets connectés⁴¹⁶.

Les autres protocoles propriétaires, tel Tetrapol sont également concernés à l'instar du prochain Réseau Radio du Futur (RRF) ayant vocation à remplacer les réseaux radio actuels (INPT et Rubis) utilisés par les acteurs de la sécurité publique et civile sur le territoire métropolitain français que sont la police, la gendarmerie, la douane, le SAMU...⁴¹⁷

Le nouveau service ne s'appuiera plus sur une infrastructure dédiée mais sera porté par deux réseaux radio public (4G/5G) et proposera un service de communication résilient grâce à d'une part des mécanismes de priorisation et préemption et d'autre part des services radio cumulés de deux opérateurs publics. En termes de couverture les réseaux actuels disposent de seulement 2000 antennes (INPT 1500⁴¹⁸ et Rubis 420⁴¹⁹) alors que RFF pourra compter sur presque 2 fois 20000 antennes. Le saut qualitatif va être énorme et permettra de porter de nouveaux usages tels le partage d'image et de vidéo. Contrairement aux réseaux actuels patrimoniaux, le Ministère de l'intérieur n'aura pas à mobiliser de capitaux pour l'infrastructure radio et bénéficiera d'un service de connectivité qui intégrera toutes les innovations apportées par la 5G. Cet exemple illustre la capacité de la 5G à servir un besoin très spécifique mais sur une infrastructure mutualisée. Le service qui sera fourni à horizon 2023 pour l'accueil de la Coupe du Monde de Rugby ne nécessitera pas de mobiliser de lourds investissements et sera dispensé à un coût opérationnel marginal puisque s'appuyant sur une infrastructure d'ores et déjà financée par les besoins grand public.

Il est intéressant de noter que les organisations pourront bénéficier de réseaux mobiles privés soit sur des infrastructures mutualisées telles RFF, soit sur des infrastructures en propre telles le Port de Southampton et soit pourquoi pas hybride tirant avantage des deux options de déploiement physique de la 5G, publique ou privée. L'usage d'un Private Mobile Network est alors décorrélé des infrastructures mobilisées pour le servir.



Fig. 152. Terminal utilisé pour le réseau Antares (INPT)⁴²⁰.

416. « Amazon donne un aperçu de son tout nouveau AWS Private 5G », Joël Gahou, 30 novembre 2021.

417. <https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:507852-2020> : TEXT:FR:HTML&tabId=1

418. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Antares_\(r%C3%A9seau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Antares_(r%C3%A9seau)).

419. <https://psigrevoux1701.skyrock.com/1325437088-RUBIS-de-la-Gendarmerie.html>.

420. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Antares_\(r%C3%A9seau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Antares_(r%C3%A9seau)).

La 5G, en ayant intégré dès sa conception la dimension de la sécurité, permet d'adresser le segment des communications sécurisées en s'appuyant sur une technologie dont les coûts d'investissement s'adosent aux usages grand public. Ainsi un cercle plus large d'acteurs, au-delà des grands industriels et opérateurs d'importance vitale, peuvent bénéficier d'une connectivité sans fil sécurisée à un coût raisonnable. Le groupe d'analyse Berg Insight anticipe d'ailleurs une multiplication par 10 du nombre total de réseaux cellulaires privés (4G et 5G) entre 2022 et 2026 passant de 1200-1300 à 13 500⁴²¹.

Augmenter les solutions existantes

Un autre usage qui émerge est la capacité d'ajouter à une solution existante de nouvelles fonctions hébergées à distance dans le Cloud. La 5G ouvre ce champ des possibles grâce à l'amélioration des débits montants et descendants ainsi que la faible latence permettant d'accéder au Cloud public.

Commençons par une application médicale d'endoscope augmentée mis en œuvre dès 2020 dans un hôpital de Boston réunissant Verizon pour la 5G, AWS pour le MEC et Avesha pour l'application. Celle-ci consiste à capturer le flux vidéo de l'endoscope, le véhiculer grâce à la 5G vers un centre de donnée AWS en proximité de l'usage, l'analyser et l'enrichir grâce au logiciel d'Avesha, pour finalement présenter au praticien en presque temps réel ce même flux incluant les polypes détectés par un carré vert :

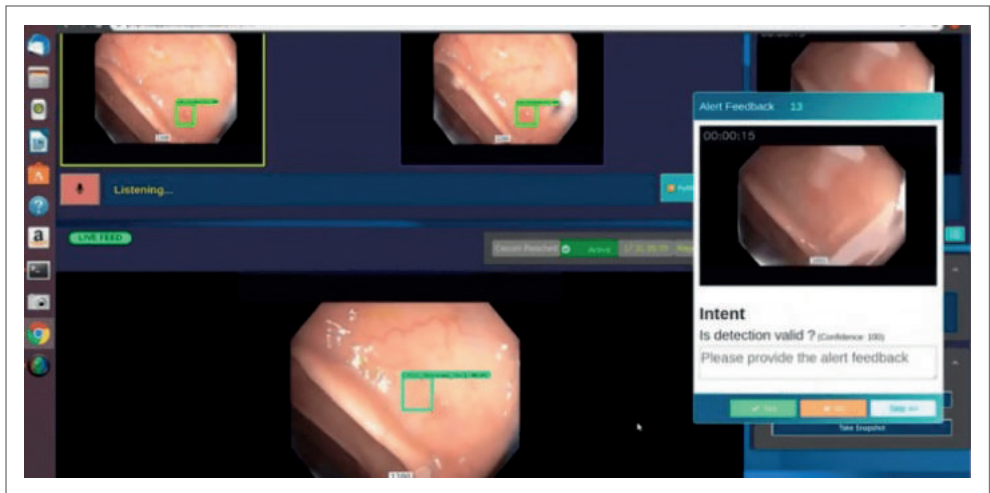


Fig. 153. Usage de la 5G pour un endoscope augmenté par l'intelligence artificielle.

Et ce qui est remarquable dans ce cas d'usage n'est pas tant l'enrichissement d'un flux vidéo par de l'intelligence artificielle, il en existe déjà des milliers. Ce qui est là disruptif est finalement la capacité de mettre en œuvre cette solution sans tirer de nouveaux câbles dans l'hôpital, sans dédier une salle machine pour héberger la solution, sans acquérir de matériel supplémentaire.

421. "Private LTE/5G nets to hit 13,500 in '26, 5G to lead from '24, 5G IoT devices to flow from '23", James Blackman, 18 mars 2022.

La solution s'appuie sur une infrastructure pré-approvisionnée (réseau et informatique) qui ne requiert donc pas d'investissement (CAPEX) et dont le coût est valorisé selon l'usage (Pay-as-you-Go). Armsung, N° 1 aux USA dans la réalisation de coloscopies avec un million d'actes réalisés annuellement, a déployé cette solution au Raleigh Endoscopy Center à Cary, North Carolina⁴²².

Reprenons l'exemple des robots BEAM d'Awabot précédemment évoqués. La 5G va offrir la possibilité d'ajouter de nouvelles fonctions avancées qui seront, grâce à la faible latence, portées par des algorithmes hébergés dans le cloud avec de nombreux bénéfices à la clef :

- Réduction du coût de l'informatique embarquée;
- Ne pas avoir à redimensionner le ventilateur requis par des cartes mères plus puissantes;
- Augmentation de l'autonomie du robot à iso puissance des batteries;
- Enrichissement fonctionnel facilité par le découplage dans le cloud;
- Servicisation de la valeur;
- Pérennité du robot.



Fig. 154. Robot Beam d'Awabot.

La 5G ouvre ce champ des possibles grâce à l'augmentation des débits montants et descendants ainsi qu'à l'accès à des ressources de calcul et de stockage exposées en paiement à l'usage grâce à la faible latence.

La servicisation des objets

Dans la continuité des usages consistant à augmenter un objet existant, on voit émerger, en rupture, de nouveaux objets dont l'essentiel de la valeur est maintenant logé dans le Cloud.

Commençons par une nouvelle famille de casques connectés avec notamment ceux développés à partir de technologies Qualcomm⁴²³ (figure page suivante).

Prenons le modèle Nreal dont le prix est inférieur à 500 dollars. Et si celui-ci est si bas c'est que contrairement aux générations précédentes il n'embarque pas d'unité de calcul. Les traitements d'image sont réalisés dans le cloud public avec une latence suffisamment faible pour que le confort soit acceptable; confort renforcé également par un poids n'excédant pas 90 grammes et permettant donc un usage prolongé. A cela s'ajoute le fait que le logiciel, étant hébergé dans le Cloud, peut être mis à jour en permanence allongeant donc la vie du casque tant que ses capteurs restent satisfaisants et que celui ne tombe pas en panne.

422. "A Breakthrough in Artificial Intelligence Technology in Trial for Detecting Polyps", 9 décembre 2019.

423. « De grands opérateurs s'unissent pour développer la réalité augmentée en 5G », Pierre Boutin, 27 mai 2020.



Fig. 155. Casques à réalité augmentée sur base technologique Qualcomm.

Synthèse

À bas bruit, de nombreux usages émergent qui néanmoins restent encore confidentiels. C'est une caractéristique des usages numériques dépendants d'infrastructure. Tant que le déploiement de la 5G ne couvre pas suffisamment d'utilisateurs les usages ne passent pas à l'échelle.

Ces exemples concrets mettent en exergue les avantages suivants apportés par la 5G :

- « **From Now** » : Ces premiers cas d'usage sont réalisés avec de la 5G adossée à la 4G (Release 15 NSA). C'est donc possible maintenant ! Certes les couvertures nationales sont à date encore parcellaires mais on a vu qu'il faut 3 ans pour couvrir 80 % de la population et 6 ans 99 %;
- « **From anywhere at anytime** » : Le très haut débit va être maintenant disponible partout à l'extérieur (outdoor) mais également dans les bâtiments (indoor) au même titre que le Wi-Fi. Et c'est un changement majeur dans les usages : rappelez-vous lorsque vous êtes passés de l'ADSL à la fibre ! Testez en votre foyer un retour arrière ?
- « **We cut the cord** » : Cette connectivité très haut débit, plus réservée au filaire, donne une liberté incroyable dans les usages. Rappelez-vous l'arrivée du Wi-Fi dans vos maison qui vous a permis de travailler de n'importe quelle pièce;
- « **Availability and Resilience** » : Pour toutes les entreprises qui ont des activités itinérantes, le territoire est couvert par 2 à 4 réseaux selon la zone concernée. Ce qui permet d'envisager, pour les usages critiques, la possibilité d'utiliser plusieurs réseaux maximisant ainsi la disponibilité du service;
- « **Uplink bandwidth** » : Dans ces familles d'usage on met en valeur le très haut débit montant. C'est un apport majeur de la 5G par rapport à ses devancières;
- « **Secured By Designed** » : Ces usages sont par nature sensibles et requiert donc un niveau de protection de la donnée très élevé. Outre la sécurisation applicative, la 5G apporte un saut très significatif par rapport à la 4G et le Wifi sur le volet de la sécurité;
- « **Agility** » : Les ressources en communication, calcul et stockage sont pré-approvisionnées couplées au fait de ne plus avoir à câbler les lieux à opérer (il faut compter 2 mois pour tirer une fibre en extérieur). La 5G apporte une grande agilité au déploiement de nouvelles solutions;

- « **Cost Reduction** » : La 5G permet de supprimer les coûts de câblage (installer une antenne avec fibre et électricité à l'extérieur c'est en moyenne 100 000 €), et de réduire le coût des objets;
- « **Instant Upgradability** » : A partir du moment où la qualité de l'équipement terminal est suffisante, on peut faire évoluer tous les jours la partie intelligente qui elle s'exécute dans le Cloud;
- « **Servitisation** » : à l'instar d'une enceinte connectée la valeur de la solution est transférée du produit vers un service;
- « **Download Bandwidth** » : si cet avantage est principalement envisagé pour le grand public, il n'en n'est pas moins intéressant pour les usages professionnels. On ne boude jamais du débit supplémentaire;
- « **Low Latency** » : on finit par le « graal » puisque la très faible latence entre deux systèmes d'information permet d'envisager la redistribution des traitements numériques et une toute nouvelle génération d'équipements terminaux dont le coût et la durabilité vont croître considérablement.

Si on synthétise les avantages de la 5G par le prisme des usages émergents que nous venons de parcourir, on peut retenir :

- **Une nouvelle connectivité** : sans fils, très haut débit, disponible partout et tout le temps et capable de supporter les spécificités des usages professionnels;
- **Réduction des coûts** : par le transfert des traitements numériques vers des ressources mutualisées faisant réduire le coût total d'acquisition des solutions;
- **Temps réel** : la capacité de baisser les coûts totaux d'acquisition (Total Cost of Ownership) des systèmes d'information temps réel.

A red L-shaped line consisting of a horizontal segment at the top and a vertical segment on the left, forming a corner that frames the chapter title.

Chapitre

7

Verticaux

La 5G se distingue par le souhait de ses promoteurs d'intégrer dans les spécifications mêmes des standards les besoins des différents secteurs économiques. Paradoxalement, chaque pays se projette avec un pool de verticaux prioritaires qui ne sont pas nécessairement les mêmes, reflétant en définitive les points forts des pays (l'industrie 4.0 en Allemagne, le tourisme en Italie, le smart office en France, l'agriculture en Espagne et le transport & logistics en UK). L'enjeu de la 5G n'est donc pas universel, mais contextuel aux géographies concernées.

Je vous propose d'étudier ceux d'entre eux qui font l'objet de premiers déploiements ou a minima d'expérimentations. Ils sont donc les plus à même de se distinguer dans les mois ou années à venir. Et si l'on se réfère à la liste des 258 essais et pilotes 5G conduits en Europe et répertoriés en mars 2021 par l'observatoire 5G de la Communauté européenne, les verticaux les plus concernés sont les Media & Entertainment (39), Transport (34) et Automotive (24), Industrie 4.0 (21) et eHealth (16) :

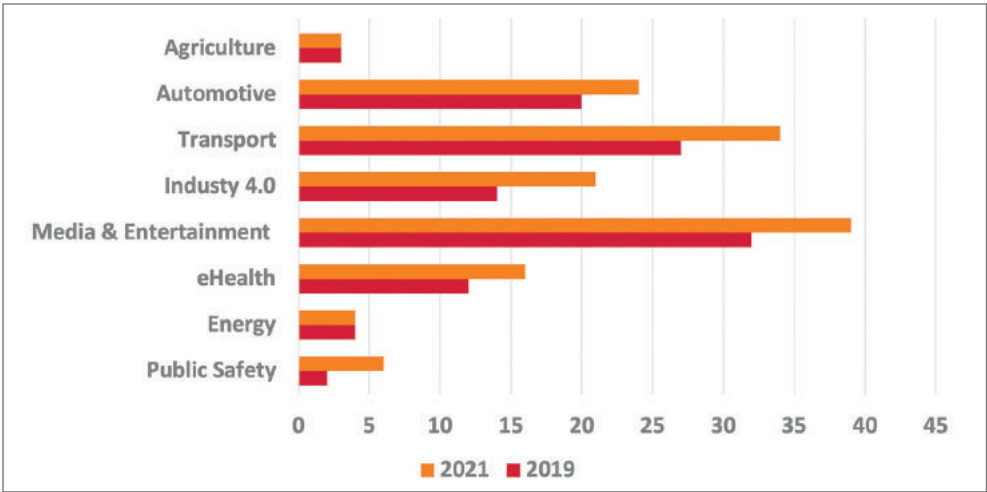


Fig. 156. Nombre de pilotes 5G par verticaux⁴²⁴.

En presque deux ans, le nombre d'expérimentations en Europe a substantiellement augmenté de 40 %. Et paradoxalement, beaucoup de secteurs parlent de 5G, mais peu se projettent concrètement.

Dans le cadre de ces expérimentations, les fréquences hautes sont largement prioritaires (figure 157).

Nous pourrions consacrer une analyse approfondie de chacun d'entre eux, mais un ouvrage seul n'y suffirait pas. Étudions plutôt d'abord les 7 principaux verticaux concernés par ces expérimentations, puis dégageons-en les éventuels enseignements.

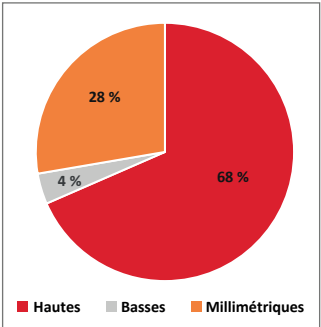


Fig. 157. Quelles bandes de fréquences sont expérimentées en Europe⁴²⁵.

424. "5G Observatory - Quarterly Report 4 - Up to June 2019", Commission européenne.

425. <https://5gobservatory.eu/5g-trial/major-european-5g-trials-and-pilots>.

Media & Entertainment

Media & Entertainment est de loin le vertical qui a montré la plus grande appétence à investir dans des expérimentations 5G, avec pas moins de 39 essais dans 19 pays différents. Ce n'est évidemment pas surprenant compte tenu de la priorisation des usages « enhanced Mobile BroadBand » dans le processus de standardisation.

Sans surprise, les débits et la latence sont au cœur de ces pilotes. L'étude détaillée de ceux-ci permet de détecter quelques tendances :

PAYS	OPERATEUR	Broadcast/Streaming 4K/8K	3D	360°	AR/VR	HOLO	GAMING	TOURISM	TRANSPORT	INDUSTRY	HEALTH	
France	Bouygues Telecom	x	x									
Romania	RCS&RDS (Digi)	x	x									
Italy	TIM				x				x			
Sweden	Telia				x							
Finland	Elisa				x		x		x			
Bulgaria	Mtel	x	x		x					x		
Spain	Telefónica				x							
Switzerland	Salt			x	x							
Italy	TIM	x			x							
Spain	Telefónica							x				
Switzerland	Sunrise	x	x	x	x							
Germany	Deutsche Telekom											
Switzerland	Swisscom											
Greece	Cosmote	x	x	x	x							
Spain	Orange	x	x									
Russia	MTS	x	x		x					x		
Turkey	Turk Telekom				x							
Germany	Airbus								x			
Germany	Vodafone								x			
Lithuania	Tele2	x										
United Kingdom	EE	x										
Russia	MTS	x										
United Kingdom	Vodafone	x	x			x	x				x	
France	France Télévisions	x	x									
Spain	Telefónica	x	x						x			
Portugal	MEO			x								
France	SFR	x	x									
Germany	Vodafone					x						
Ireland	Vodafone					x						
Netherlands	KPN	x	x					x				
Italy	TIM				x		x		x	x		
Portugal	Vodafone			x	x	x						
Greece	Cosmote								x			
Spain	Telefónica	x										
Spain	Cellnex	x										
Russia	Beeline	x	x									
United Kingdom	Vodafone					x						
Estonia	Telia	x										
Belgium	Proximus	x	x									
TOTAL		21	14	2	3	14	4	3	2	7	3	1

Fig. 158. Analyse des expérimentations 5G Media & Entertainment.

Entre 2019 et 2021, on constate une croissance notable de 27 à 39 des expérimentations 5G concernant ce vertical. Initialement, le nombre d'expérimentations streaming 4K, 8K et AR/VR se détachaient, en notant que ces usages sont souvent couplés avec d'autres verticaux. Ce peut-être dans le transport comme l'automobile ou l'aéronautique. Ce peut être également pour tirer avantage de technologies financées pour le secteur Media & Entertainment et réutilisées à des usages professionnels dans l'industrie ou la santé.

Depuis 2019, les expérimentations nouvelles se sont focalisées essentiellement sur la capacité des réseaux 5G à supporter la diffusion de contenus vidéos en broadcast ou en streaming.

Faisons un focus sur le gaming car peu de secteurs démontrent une telle vitalité :

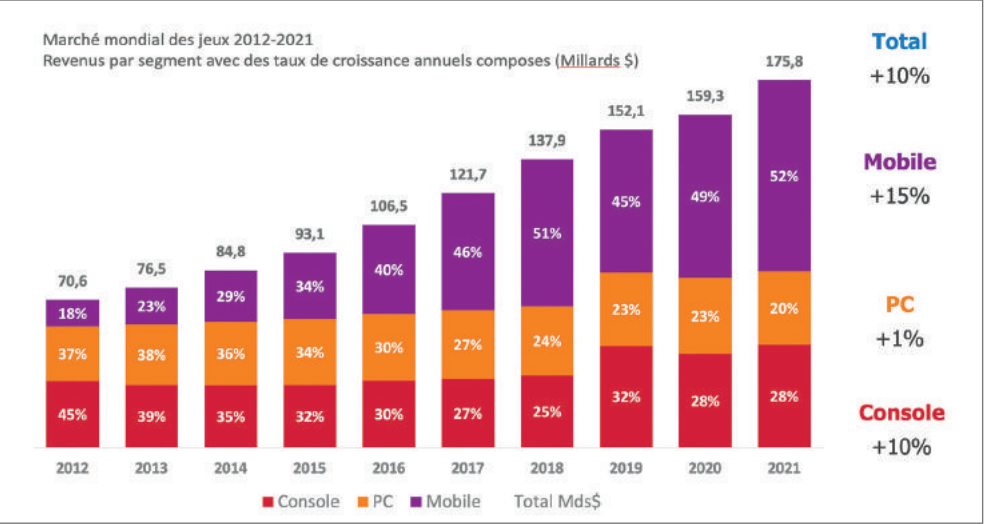


Fig. 159. Évolution du marché du gaming⁴²⁶.

Le gaming est un marché très dynamique qui a vu son chiffre d'affaires multiplié par 2,5 en seulement 10 ans. Dans le même temps, le segment du gaming mobile a été multiplié par 7, représentant maintenant peu ou prou 50 % du volume total. Paradoxalement cela ne se fait pas au détriment des segments PC et Console, toujours en croissance. Le gaming mobile se développe aujourd'hui principalement sur le « casual gaming » (ex. : Candy Crunch). Une étude menée en 2020 sur les premiers réseaux 5G déployés à Los Angeles démontrait que ceux-ci ne remplissaient pas les prérequis du « online » gaming des principales plateformes de jeu que sont Google Stadia, Microsoft xCloud et Steam Remote Play (figure 160). Cela démontre que la radio 5G seule ne peut supporter correctement les cas d'usage nécessitant de la faible latence sans un déploiement en Edge des serveurs applicatifs⁴²⁷.

The "bare minimum" requirements from online cloud gaming platforms						
Latency of 10ms to 30ms		20Mbit/s to 35Mbit/s		Jitter < 10 ms		
	AT&T		Verizon		T-Mobile	
Type	4G LTE	5G	4G LTE	5G	4G LTE	5G
Median Download Speed	35.3 Mbps	37.5 Mbps	36.9 Mbps	254.7 Mbps	16.4 Mbps	24.3 Mbps
Latency	44.0ms	45.5ms	97.5ms	121.0ms	77.3ms	76.5ms
Packet Loss	2.6%	1.7%	1.7%	0.2%	3.2%	0.5%
Jitter	10.0ms	5.0ms	12.0ms	5.0ms	24.0ms	15.0ms

Fig. 160. Cloud gaming et 5G à Los Angeles⁴²⁸.

426. "The Games Market and Beyond in 2021: The Year in Numbers", Tom Wijman, 22 décembre 2021.

427. "RootMetrics finds that early 5G deployments support the speeds, but not necessarily the latency, for intensive 5G gaming", Kelly Hill, 6 Mai 2020.

428. "Mobile cloud gaming: the real-world cloud gaming experience in Los Angeles", RootMetrics, 5 mai 2020.

Et la promesse de la 5G de débits plus importants et de latences plus faibles devrait permettre d'accélérer plus encore son développement, notamment sur le segment du online gaming. C'est le business model de Gamestream qui fournit la plateforme de service et les contenus à Bouygues Telecom pour offrir du online gaming sur Android à ses abonnés 5G. Par ailleurs, la plateforme de jeux de Google Stadia présentée en mars 2019 propose l'accès à des jeux vidéo en 4K et avec un taux de rafraîchissement des images de 60 par secondes dans un simple navigateur Internet⁴²⁹ (figure 161).

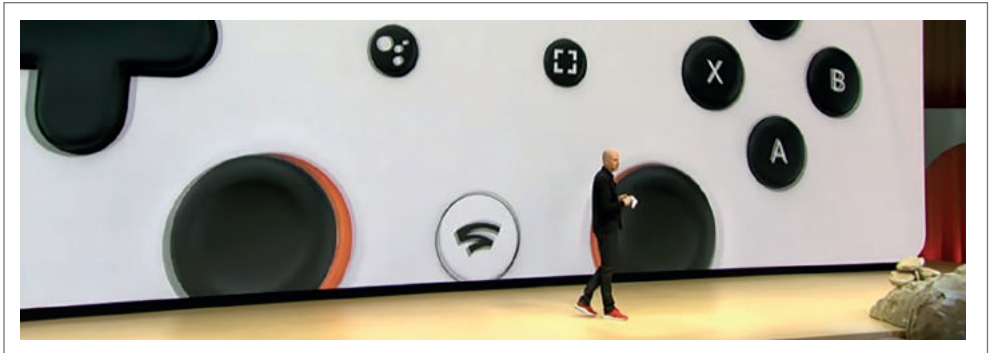


Fig. 161. Présentation de la plateforme de jeux de Google Stadia⁴³⁰.

Celle-ci comptait en deux ans offrir une expérience supérieure à celles des consoles de salon grâce à un nouveau concept, le « negative latency »⁴³¹. Il permet d'anticiper les prochaines actions du joueur et prépare les prochaines images à afficher. Évidemment, il y aura probablement des prédictions erronées et cela ne va donc pas dans le sens de l'efficacité énergétique. Si en 2021, Google Stadia propose clairement le meilleur streaming en terme de latence et définition, l'expérience n'est pas encore à la hauteur des consoles ou PC⁴³². La 5G apportera, elle, une « positive latency » et soutiendra très probablement le développement du cloud gaming. Dans le gaming, « latency really matters », mais « no MEC, no game ».



Fig. 162. HP VR Backpack, le PC portable sac à dos⁴³³.

Sur une autre typologie d'Entertainment, les jeux de réalité virtuelle démontrent la même appétence à une latence très faible, jusqu'à vous équiper d'un PC sac à dos (figure 162). Nul doute que si l'on dispose d'un réseau mobile très haut débit et à faible latence couplé à de l'edge computing, l'utilisateur se passerait volontiers de son sac à dos.

429. "Google Stadia release date UPDATE: Is this when Google will reveal more Stadia news?", Dion Dassanayake, 30 mars 2019.

430. "Google Stadia gaming at GDC 2019 : Everything just announce", Ian Sheer, 19 mars 2019.

431. "Stadia could have games 'running faster and feel more responsive' than a console, says Google", Heather Wald, 10 octobre 2019.

432. "The state of Stadia in 2021: Left behind", Nick Fernandez, 20 novembre 2021.

433. www8.hp.com/us/en/vr/vr-backpack.html

Les usages interactifs expérimentés sont pour 70 % dans la bande 3,4-3,8 GHz et 30 % dans les fréquences millimétriques.

Historiquement, les Médias et l'Entertainment est le secteur manifestant la plus grande appétence aux nouvelles technologies. La prochaine tendance lourde est bien évidemment le métavers. Par l'usage intensif de la 3D et l'interactivité temps réel attendue, la 5G devient un prérequis voir une exigence des éditeurs tel Facebook ou Google. Si les opérateurs en conviennent reste à valider le retour sur investissement⁴³⁴.

À ce propos, lors du Mobile World Congress 2022 à Barcelone, Verizon et Meta (ex Facebook) ont présenté leur nouveau partenariat stratégique qui a pour objectif d'explorer les cas d'usages du métavers ainsi de développer l'infrastructure qui les rendra possibles. Les exigences du métavers telles que la faible latence et les importants débits montants seront adressés par la 5G et notamment le Multi Access Edge Computing (MEC). La 5G a donc trouver avec le métavers un moyen d'exploiter tout son potentiel.

Le marché est encore hésitant, au point que certains opérateurs à l'instar de Verizon prennent l'initiative. En mars 2022 ce dernier s'est associé à l'entreprise de divertissement « 30 Ninjas » pour travailler sur un jeux interactif de type thriller. Celui-ci s'appuie à la fois sur les bandes millimétriques et les bandes hautes(C-Band) de l'opérateur américain. Ce jeux, Helios, se propose aux gamers mobiles en réalité augmentée immersive utilisant la vidéo volumétrique ainsi que des hologrammes 3D⁴³⁵.

Transport

C'est le deuxième vertical en nombre de pilotes avec 27 réalisations en 2019 et 34 en 2021, et cela dans 14 pays européens différents. Il a d'ailleurs été priorisé par la France, l'Italie, l'Espagne et le Royaume-Uni. On le retrouve en relation avec l'ensemble des autres verticaux (figure 163 page suivante).

Tout comme le vertical des Media & Entertainment, le vertical Transport se détache, car il s'inscrit dans la continuité de la 4G et l'ensemble des usages en mobilité. D'autant que l'Union européenne en a fait un axe de déploiement majeur en demandant à ses membres d'assurer la couverture 5G des principaux axes routiers.

Dans un premier temps, les caractéristiques principales se focalisent sur la capacité à maintenir une connectivité très haut débit en déplacement. Dans un second temps, avec l'apport des versions à venir, ces caractéristiques seront étendues par la capacité à servir des usages nécessitant des débits montants importants et/ou de la faible latence. Puis, à partir de la release 17, la 5G permettra de couvrir de vastes géographies tels océans, déserts ou zones très peu denses. À partir de cette connectivité augmentée, le vertical transport expérimente de nombreux usages que l'on regroupe en trois grandes catégories.

En premier lieu, la 5G va permettre d'augmenter la qualité des usages d'infotainment en mobilité regroupant informations temps réel (circulation ou prévisions météorologiques), services de streaming (vidéo, musique) et gaming.

434. Le métavers, un défi à double tranchant pour les opérateurs télécoms, Raphael Balenieri, 2 mars 2022.

435. "Verizon announces interactive AR game for 5G", Catherine Sbeglia Nin, mars 2022.

PAYS	OPERATEUR	VR	Autonomous	Virtual office	Tourism	Port	Agriculture	Public Safety	Energy	eHealth	Smart Buildings	Smart Cities	Media & Ent.	Industry 4.0	Automotive
Spain	Telefónica		●	●				●		●		●	●	●	●
Italy	TIM	●			●	●									
Italy	Fastweb				●										
Spain	Telefónica		●												●
Spain	Telefónica		●											●	●
Norway	Telenor		●												
Estonia	Telia		●			●						●			
Hungary	Magyar Telekom		●												●
Germany			●												●
France	Orange														●
France	Orange									●		●		●	●
Germany													●		
Belgium	Proximus												●		●
United Kingdom	Vodafone														●
Russia	Tele2									●		●			●
Finland	Elisa									●			●	●	●
Lithuania	Tele2								●	●		●	●	●	●
United Kingdom	EE									●			●	●	●
United Kingdom	Vodafone												●	●	●
Spain	Orange	●		●										●	●
Spain	Telefónica						●						●		
Netherlands	KPN		●				●								●
Netherlands	KPN - Vodafone						●	●	●	●	●				
Italy	Fastweb							●		●				●	
Italy	TIM	●											●	●	●
Spain	Telefónica									●				●	●
Sweden	Telia													●	●
Germany	Deutsche Telekom	●												●	●
Spain															●
Germany			●												●
Norway	Telia		●												●
Spain	MasMóvil			●	●							●		●	
Sweden	Telia		●												●
Spain	Telefónica					●									
Germany	Vodafone													●	
Germany	Deutsche Telekom														●
TOTAL		4	11	3	3	3	2	2	2	9	1	6	9	12	25

Fig. 163. Analyse des expérimentations 5G Transport⁴³⁶.

En second lieu, une meilleure connectivité permettra d'augmenter la sécurité des transports en apportant des aides à la navigation. À titre d'exemple, le port d'Anvers, en partenariat avec Orange, interconnecte l'un de ses remorqueurs afin de diffuser en temps réel images et autres données (radar et sonar) vers la salle de contrôle permettant ainsi d'accroître la sécurité du remorquage des navires à travers le port⁴³⁷.

La dernière grande catégorie regroupe les usages augmentant la productivité des transports. Dans le port de Livourne, Ericsson a réalisé des tests grandeur nature afin de démontrer l'apport de la 5G à l'efficacité et la durabilité des opérations logistiques dans l'industrie portuaire. L'expérimentation a permis une amélioration de 25 % de productivité notamment grâce à des portiques et des grues de quai télécommandés. Par ailleurs, ils ont pu observer une baisse de 8,2 % des émissions CO² équivalent⁴³⁸. Dernier exemple, SK Telecom et Samsung Heavy industries expérimentent la navigation à distance des navires marchands⁴³⁹.

436. <https://5gobservatory.eu/5g-trial/major-european-5g-trials-and-pilots>.

437. « Premières innovations 5G proposées par Orange Belgium et ses partenaires industriels dans le port d'Anvers : des opérateurs de terrain augmentés aux remorqueurs connectés », 22 octobre 2020.

438. « Ericsson trace la voie vers des ports plus intelligents grâce aux réseaux privés 5G », 3 mars 2021.

439. "Samsung Heavy Industries Demonstrates 5G-Based Autonomous Ship Navigation", Jung Min-hee, décembre 2019.

Les apports de la 5G concernent également le transport aérien. Historiquement, ce marché est déjà bien structuré autour de quatre leaders que sont Gogo, Viasat, Immarsat et Iridium. Cependant, les avancées technologiques qui permettent d'espérer une forte croissance motivent de nouveaux industriels tels que Global Eagle et Panasonic Avionics à pénétrer ce marché⁴⁴⁰. Celui-ci est segmenté en distinguant l'aviation civile (bizliner) et l'aviation d'affaires (bizjet) qui représentent respectivement un potentiel mondial de 23000 et 31000 avions⁴⁴¹.



Fig. 164. Téléport pour interconnecter les avions⁴⁴².

Techniquement, il existe deux manières d'interconnecter un avion à internet. Soit au moyen d'antennes terrestres dirigées vers le ciel (Air To Ground, ATG), comme celles de Gogo déjà évoquées au chapitre 3. Soit au moyen d'une constellation de satellites assurant l'interconnexion entre les avions et les téléports distribués géographiquement sur les différents continents (figure 165). Par leur conception, ces deux solutions présentent des limites dans leur utilisation. Concernant les antennes terrestres (ATG), la connexion est rendue impossible lors du survol des océans du fait de la distance qui les sépare de l'avion. La connectivité par satellite est quant à elle très sensible aux interférences provoquées par les intempéries et induit également une latence cumulée importante du téléport au satellite puis du satellite à l'aéronef.



Fig. 165. Connectivité en vol par connexion satellitaire⁴⁴³.

Qu'il s'agisse de l'aviation civile ou de l'aviation d'affaires, Gogo est le leader du marché en fournissant une connexion à près de 15 % des avions commerciaux et à 22 % des avions d'affaires. De plus, il propose aux compagnies aériennes les deux technologies qui peuvent d'ailleurs se combiner. Pour l'offre satellitaire Gogo s'appuie sur 28 satellites

440. "The Battle for Business Jet Connectivity Supremacy", Valour Consultancy, 30 janvier 2020.

441. "Annual report 2020", Gogo.

442. <https://nara.getarchive.net/media/view-of-two-satellite-antennas-oe-391-v-in-the-tactical-communications-satellite-c22213>.

443. "The anatomy of inflight connectivity", Gogo.

opérés par SES et Intelsat et dispose de 17 téléports⁴⁴⁴. Parmi les protocoles « In-Flight Connectivity » (IFC) satellitaires proposés par Gogo, 2Ku, le plus avancé, permet de fournir des performances allant jusqu'à 100 Mbps que se partagent les usagers d'un même avion avec une latence de l'ordre de 500 millisecondes. Pour l'offre ATG, Gogo a déployé 150 « ground stations » en Amérique du Nord délivrant un débit moyen entre 2 et 7 Mbps avec une latence relativement faible (non communiquée). En décembre 2021 Gogo a finalisé un premier déploiement 5G sur 7 de ses « ground stations » avec pour ambition de délivrer « In-Flight » un débit moyen de 25 Mbps avec un maximal de l'ordre de 80 Mbps⁴⁴⁵.

Concernant le transport ferroviaire, la 5G est envisagée sous cinq principaux usages : La sécurité en remplacement des réseaux privés 4G dit PMR (cf. chapitre 2), l'infotainment dans les wagons pour des usages précédemment évoqués, la maintenance dans une approche industrie 4.0 développée un peu plus loin, l'aménagement des gares dans une projection smart cities et pour finir la conduite augmentée. Pour ce dernier usage, la SNCF expérimente la conduite à distance d'une motrice⁴⁴⁶.

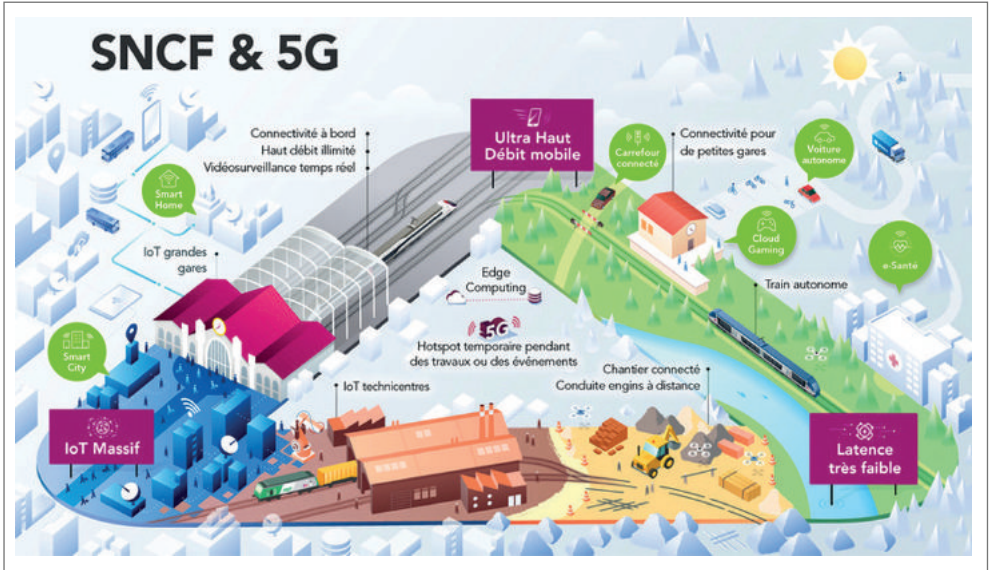


Fig. 166. Cas d'utilisations de la 5G pour la SNCF⁴⁴⁷.

Bien évidemment, l'adhérence la plus forte est avec le vertical Automotive, eu égard à son écosystème spécifique qui mérite donc un focus particulier.

444. "Why does inflight Wi-Fi cut out or slow down?", Mike Arnot, 7 novembre 2020.

445. "Gogo Announces 5G speeds", 27 octobre 2021.

446. "Remote driving takes another step forward", Groupe SNCF, 28 juillet 2021.

447. www.digital.sncf.com/actualites/telecoms-sncf-explore-les-usages-de-la-5g-dans-son-ecosysteme

Automotive

La situation de la 5G sur le vertical Automotive est contrastée. La 5G se positionne sur deux usages : l'infotainment et la voiture autonome.

Sur le premier, on retrouve les usages du vertical Media & Entertainment, pour lesquels les améliorations attendues sur les débits et vitesses de déplacement supportées seront indubitablement un progrès important pour les passagers.

Sur la voiture autonome, la 5G était en Europe en compétition avec le Wi-Fi. Si le Wi-Fi a semblé prendre le dessus lorsque les députés européens avaient voté en sa faveur le 17 avril 2019, vingt et un des vingt-huit pays membres du Conseil se sont opposés le 4 juillet 2019 à la décision du Parlement. C'est donc la 5G qui finalement sera le protocole qui portera les communications V2X en Europe.

Et ceci même si la technologie n'est pas encore disponible, comme le prévenait la commissaire européenne en charge du Transport, Violetta Bulc : « Maintenant, les gens veulent que nous attendions trois ou quatre ans au cas où la nouvelle technologie deviendrait disponible. Nous disposons d'une technologie qui peut être déployée maintenant et qui peut sauver des vies⁴⁴⁸. »

La 5G pour le vertical Automotive est soutenue par l'association 5GAA qui réunit le monde des télécommunications et celui de l'automobile (figure 167).

Ils font la promotion, avec le soutien de ses 188 membres, du protocole Cellular-V2X (C-V2X) qui supporte les communications illustrées en figure 168 ci-contre.

On distingue les communications de véhicules à véhicules (V2V), de véhicules à piétons (V2P), de véhicules ou piétons à réseaux (V2N) et de véhicules à infrastructure (V2I).

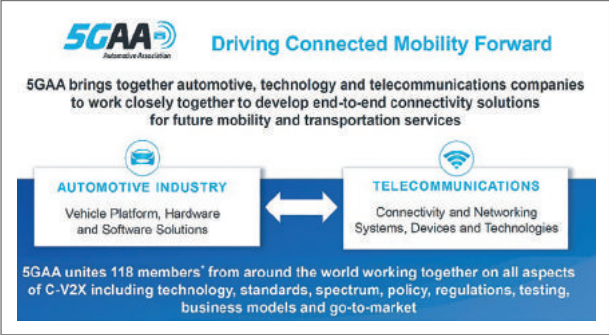


Fig. 167. 5GAA - Association de la promotion de la 5G pour le vertical Automotive⁴⁵⁰.

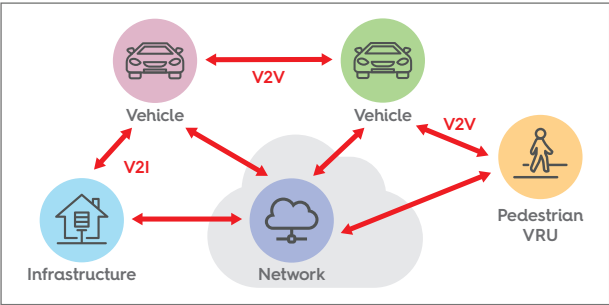


Fig. 168. Différents types de communication 5G «Vehicle 2 X»⁴⁵¹.

448. « Violeta Bulc veut exclure la 5G des voitures connectées », Sam Morgan, 17 avril 2019.

449. « Making connected cars a reality with 5G (and LTE) », Maxime Flament, 23 juin 2019.

450. « Making connected cars a reality with 5G (and LTE) », Maxime Flament, 23 juin 2019.

451. « LTE, 5G and V2X », Zahid Ghadialy, 6 novembre 2016.

La technologie C-V2X couvre l'ensemble de ces communications, avec deux protocoles (figure 169).

Le premier permet une communication directe entre véhicules et piétons sur une bande de fréquence libre sur des distances inférieures à 1 km et une latence très faible. Le second, entre le véhicule et le réseau sur un protocole 3GPP, aujourd'hui sur 4G (LTE) et demain 5G (figure 170).

Le tout avec un engagement de compatibilité arrière permettant de pérenniser les investissements des constructeurs automobiles (figure 171).

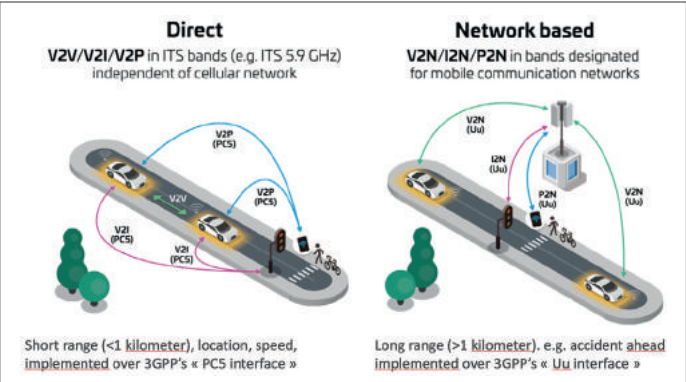


Fig. 169. C-V2X, deux protocoles d'équipements à équipements et d'équipements à réseaux⁴⁵².

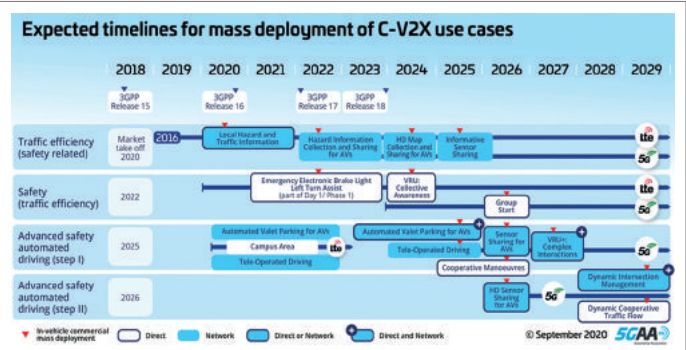


Fig. 170. C-V2X, aujourd'hui en 4G et demain en 5G⁴⁵³.

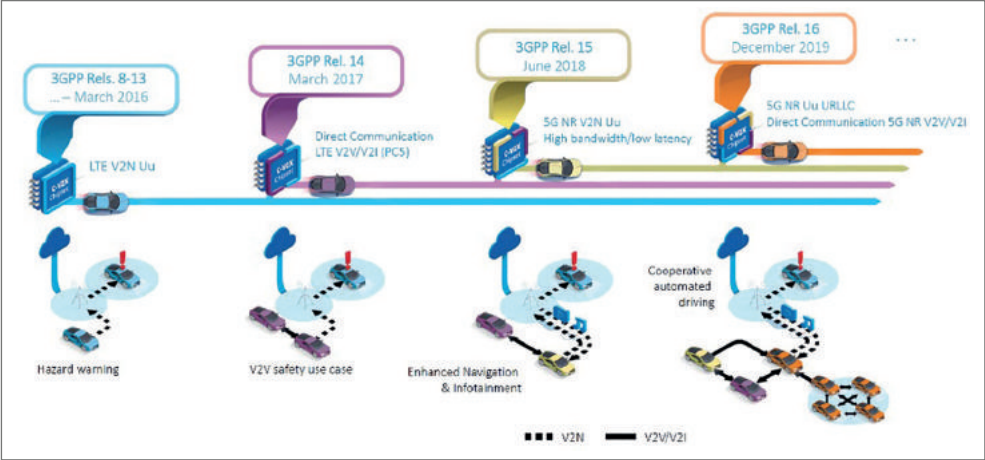


Fig. 171. Compatibilité arrière C-V2X de la 4G à la 5G⁴⁵⁴.

452. "The New 5GAA 2030 Roadmap for Automotive Connectivity", Susan Fourtané, septembre 2020.

453. Maxime Flament, *op. cit.*

454. "Making connected cars a reality with 5G (and LTE)", Maxime Flament, 23 juin 2019.

Les constructeurs s'étaient initialement regroupés au sein de consortiums pour adresser ensemble la phase de preuves de concept :

- **ConVex** : consortium Qualcomm (chef de file), Audi, Ericsson, Swarco Traffic Systems, université de Kaiserslautern pour un banc d'essai terrain de la version Cellular V2X (C-V2X) 3GPP LTE version 14 pour plusieurs cas d'utilisation⁴⁵⁵;
- **Wuxi Internet of Vehicle (C-V2X)** : Huawei a déployé un Réseau C-V2X dans la ville de Wuxi pour tester de multiples cas d'utilisation⁴⁵⁶.

Il y a d'autres preuves de concept, mais qui testaient des solutions hybrides Wi-Fi et 4G⁴⁵⁷.

Au niveau industrialisation, Qualcomm⁴⁵⁸, Huawei⁴⁵⁹, Autotalks⁴⁶⁰ proposent des modules de communication à destination des véhicules. Quant aux infrastructures les équipementiers proposent des modules de Multi access Edge Computing (MEC) qui pourront être déployés au plus près des usages en bordure de route⁴⁶¹ ».

Maintenant les constructeurs sont passés en phase d'industrialisation graduelle en fonction des gammes de véhicules et des géographies :

- **General Motors** : équippa ses véhicules en 5G à partir de 2024 en association avec AT&T pour le service de connectivité et Microsoft pour l'infrastructure Cloud⁴⁶².
- **Nissan** : réalise en partenariat avec Verizon des tests sur des voitures disposant de la 5G afin de prévenir en temps réel les conducteurs de dangers qui se situent en dehors de leurs champs de vision⁴⁶³.
- **Audi** : courant 2022, le constructeur allemand va équiper ses modèles A7 L et A6 L à destination du marché chinois d'un module 5G assurant l'infotainment ainsi que la technologie C-V2X⁴⁶⁴.
- **BMW** : en septembre 2021, son modèle haut de gamme iX proposera de la connectivité 5G en association avec T-Mobile⁴⁶⁵.
- **Volvo Cars** : développe avec China Telecom des applications Vehicule-To-Infrastructure (V2I) afin d'améliorer « la sécurité, la durabilité, le confort du client et la conduite autonome⁴⁶⁶ ».
- **Renault Groupe** : s'est associé avec le leader technologique Qualcomm pour augmenter la connectivité des véhicules par la 5G, tant sur l'infotainment que le V2X. Le premier modèle embarquant cette technologie sera la Megane E-TECH Électrique⁴⁶⁷.

455. www.eit.uni-kl.de/wicon-tmp/convex/

456. www.huawei.com/en/industry-insights/outlook/mobile-broadband/lte/use-cases/wuxi-internet-of-vehiclec-project-use-cases

457. « Groupe de travail : choix technologiques pour les C-ITS », 25 avril 2019.

458. www.qualcomm.com/news/releases/2017/09/01/qualcomm-announces-groundbreaking-cellular-v2x-solution-support-automotive

459. www.huawei.com/en/press-events/news/2018/6/Huawei-v2x-strategy-RSU-launch

460. www.auto-talks.com/product/craton2/

461. How HARMAN Savari Mecwave Edge Computing Connects V2V, 5G, Smart Cities and Safety, Lynn Walford, février 2022.

462. General Motors and AT&T Team Up for 5G Connectivity, août 2021.

463. "Nissan, Verizon Complete a Successful 5G-Powered Connected Vehicle Proof-of-Concept to Warn Drivers of Hazards Outside Their Line-of-Sight", Eric Waltz, octobre 2021.

464. "Why we are now equipping our vehicle with the new 5G mobile communication standard", août 2021.

465. « BMW Group et Vodafone intègrent pour la première fois la 5G et le réseau eSIM personnel dans un véhicule », septembre 2021.

466. « Volvo Cars et China Unicom collaborent au développement de la technologie de communication 5G en Chine », janvier 2020.

467. « Qualcomm et Renault Group étendent leur collaboration et équippent les véhicules de future génération avec les dernières avancées numériques grâce au châssis numérique Snapdragon », 7 janvier 2022.

- **Stellantis** : s'associe à AWS dans un modèle numérique où le véhicule est augmenté par l'apport de services hébergés dans le Cloud au moyen d'une connectivité 5G dans une démarche de servitisation des produits⁴⁶⁸.
- **Sony** : souhaite, à l'instar de Tesla, se lancer sur le marché du véhicule électrique. Sony Mobility qui portera dès 2022 cette activité sera le premier constructeur à ne proposer que des véhicules dotés de la 5G. Dans les expérimentations menées, la 5G participe grandement à l'autonomie de la voiture⁴⁶⁹.

L'année 2022 est le Day-0 pour la 5G dans l'automobile. Il est à noter que le premier terrain de jeu est la Chine et les constructeurs européens sont d'ailleurs à pieds d'œuvre pour prendre la voiture de tête. Il a fallu près de treize ans⁴⁷⁰ pour rendre opérationnelle l'offre C-ITS sur Wi-Fi puisque Volkswagen était prêt prêt depuis 2019 à déployer cette solution. En seulement trois ans l'industrie automobile s'est pleinement mobilisée pour intégrer la 5G à l'instar de GM qui la proposera sur ses segments haut de gamme à partir de 2024.

Industrie 4.0

La 5G devrait pleinement servir l'Industrie 4.0 qu'à partir de la Release 16 standardisée en 2020 et dont les premiers équipements seront disponibles en 2022. Les premiers déploiements se satisfont de la Release 15 n'incluant pas les fonctions spécifiquement développées pour l'industrie. On estime que la 5G puisse accroître de 4 % l'activité manufacturière mondiale, soit plus de 700 milliards de dollars d'ici 2030. Malgré l'absence d'équipements disponibles en version Release 16 de nombreux pilotes ont été lancés à partir des premières versions de la 5G. Ceci montre une véritable appétence de ce vertical à une connectivité mobile industrielle. Même si parfois ces expérimentations ne dépassent pas les problématiques de débit et de latence, certaines adressent des services très spécifiques comme le projet mené par ASTI et le laboratoire d'innovation 5TONIC (figure 172).



Fig. 172. Expérimentation de véhicules à guidage automatique grâce à la 5G⁴⁷¹.

Ce pilote met en œuvre un « Automated Guided Vehicles » (AGV) connecté en 5G et répondant aux exigences d'une latence maximale de bout en bout de 10-20 millisecondes et d'une fiabilité de 99,999 %. Il embarque de l'intelligence artificielle s'exécutant en Edge Computing pour des temps de cycles courts et fiables.

468. « Automobile : Stellantis s'allie à Amazon pour connecter ses véhicules », 5 janvier 2022.

469. « Sony veut s'attaquer à Tesla et dévoile la Vision-S 02, son premier SUV électrique », Florian Bayard, janvier 2022.

470. www.cvisproject.org/en/public_documents/cvis_in_press/workshop_on_radio_spectrum.htm.

471. Ericsson activates 5G NSA technology at 5TONIC open innovation lab, 21 juin 2019.

L'industrie 4.0 se distingue par un large spectre de cas d'usages exploitant tout à la fois les profils eMBB, mMTC et bien évidemment URLLC⁴⁷² :

- **AGV** : la 5G peut prendre en charge un plus grand nombre d'AGV par zone de service que le Wi-Fi ou la 4G et s'envisage sur des applications avancées telles que la télécommande vidéo pour véhiculer des charges dangereuses dans le pétrole, extraction minière ou la chimie;
- **Casque de réalité étendue** (« extended reality headsets ») : il s'agit d'une nouvelle catégorie d'appareils qui progresse rapidement. L'un des cas d'utilisation industrielle est l'expertise à distance des ingénieurs de maintenance travaillant sur des équipements complexes. Les scénarios de formation industrielle offrent également de nombreuses possibilités;

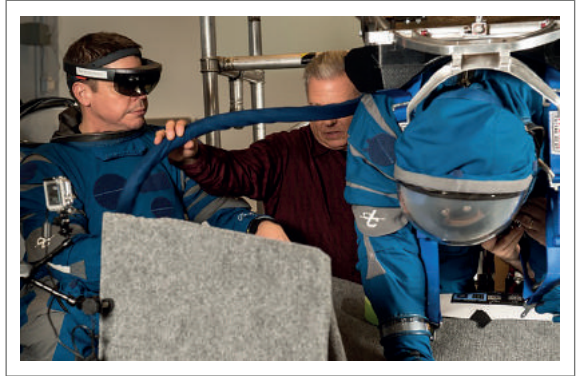


Fig. 173. Casque de réalité étendue⁴⁷².

- **Caméras ultra HD et vision industrielle** : l'utilisation de l'imagerie, en combinaison avec l'apprentissage profond, est appliquée à un large éventail d'applications. Un exemple d'Internet des objets (IoT) industriel est la maintenance prédictive par exemple pour anticiper la fatigue des métaux ou les défauts de fabrication pour réduire les pannes. La 5G offre la capacité d'absorber de larges volumes de données avec une latence très faible;
- **IoT massif** : il existe une myriade de dispositifs d'IoT utilisés dans des contextes industriels. Ils ne requièrent pas nécessairement de faibles latences et de débits élevés. Dans un contexte 5G pure, ils peuvent être pris en charge par les protocoles NB-IoT, LTE-M ou DECT-2020 NR qui, nous l'avons précédemment vu, font partie intégrante de la 5G;
- **Commande à distance** : de machines outils ou de robots dont l'intelligence est transférée en Edge grâce à la faible latence permise par la 5G.

La 5G, à partir de la Release 16, apporte de nombreux avantages pour l'industrie 4.0 :

- **Fiabilité des communications temps réel** : la nouvelle interface radio de la 5G R16 supportera des disponibilités très élevées et des latences très faibles (voir la section dédiée à la latence);
- **Cloud** : grâce aux communications « industrial grade » et le Multi-Access Edge Computing, les capacités de calcul et de stockage sont déportées en proximité, offrant ainsi les nombreux avantages du cloud : mutualisation des ressources amenant réductions des OPEX et CAPEX et pérennité des outils et robots connectés pour lesquels l'upgrade IT n'est plus un sujet;
- **Mobilité** : c'est une des promesses majeures des réseaux mobiles et donc de la 5G. Celle-ci va permettre, avec une même interface réseau, d'avoir des usages en mobilité sans coutures indoor et outdoor. Attention, tous les robots ne sont pas mobiles et ont souvent en fil à la patte, l'électricité (figure 175 page suivante);

472. "Private 5G Mobile Networks for Industrial IoT", Gabriel Brown, 25 juillet 2019.

473. "NASA's Commercial Crew Program astronauts, wearing spacesuits and augmented reality headsets, rehearse returning to Earth from the International Space Station during recent testing at Boeing's Extended Reality Laboratory in Philadelphia", flickr.

- **Géolocalisation** : en lien direct avec l'avantage précédent, les réseaux 5G peuvent, selon la configuration, fournir une précision de positionnement jusqu'à 20 cm⁴⁷⁴;
- **Public ou privé** : la 5G Industrie 4.0 pourra être mise en œuvre soit sur du spectre licencié avec un opérateur qui fournira un service de réseau managé soit sur du spectre libre permettant aux industriels de déployer eux-mêmes des réseaux privés 5G à l'instar de l'offre AWS private 5G sur la bande de fréquence non licenciée CBRS⁴⁷⁶.

Les premiers déploiements Industrie 4.0 de la 5G sont fonctionnellement contraints par les limites de la Release 15. D'ailleurs seuls 21 pilotes sont référencés en mars 2021 pour 14 en 2019 sur le périmètre étudié par 5G Observatory. C'est très peu au regard du nombre d'usines présentes dans l'Union européenne. Il est probable que l'industrie patiente jusqu'à la disponibilité de la Release 16 attendue au deuxième semestre 2022.

Plus largement au niveau mondial, les entreprises prennent conscience que la 5G privée sera une opportunité de développer plus encore leur activité. Une étude réalisée par Economist Impact et NTT estime que plus de la moitié des entreprises mondiales dont le chiffre d'affaires annuel excède 250 millions de dollars prévoient de déployer un réseau 5G privé dans les 6 à 24 prochains mois.

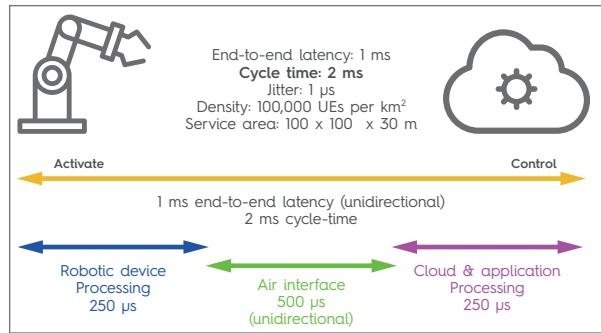


Fig. 174. Illustration de l'Industrial Edge Computing⁴⁷⁵.

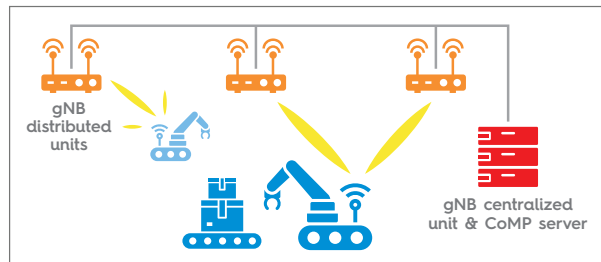


Fig. 175. La 5G pour la mobilité industrielle⁴⁷⁷.

474. "Private 5G Mobile Networks for Industrial IoT", Gabriel Brown, 25 juillet 2019.

475. "Ultra-Reliable Low-Latency 5G For Industrial Automation", Gabriel Brown..

476. "AWS launches service to simplify CBRS private 5G for enterprises", Donny Jackson, 3 decembre 2021.

477. "Ultra-Reliable Low-Latency 5G For Industrial Automation", Gabriel Brown.

eHealth

Le vertical de la santé a été dès les premières publications mis en avant comme l'un de ceux qui allaient tirer le maximum d'avantages de la 5G. Le cas d'usage positionné en tête de gondole par le marketing est l'opération chirurgicale à distance. La Chine a réalisé en août 2019 une opération du cerveau pour laquelle 1800 miles distançaient le chirurgien de son patient grâce à de la 5G disposant d'une latence de 2 millisecondes⁴⁷⁸. Sachant que la promesse de la latence en 5G est de l'ordre de 1 ms entre l'équipement et l'antenne et cela aux deux bouts de la communication. Cela voudrait donc dire que la latence entre les deux hôpitaux distants de 1800 miles était approximativement de... 0 milliseconde. Or, la lumière elle-même requiert presque 10 ms pour parcourir cette distance⁴⁷⁹.

Comme le note très pertinemment dans le même article le docteur Michael Kranzfelder, médecin confirmé à l'Université technique de Munich, cette vitesse s'apparente à celle d'une intervention chirurgicale à l'aide de câbles traditionnels. Or la 5G après l'antenne, c'est au mieux de la fibre traditionnelle. Tout cela pour dire que la 5G ne viendra « disrupter » que les cas d'usage pour lesquels les infrastructures actuelles sont insuffisantes.

Se dégagent alors 3 typologies d'usage :

- En mobilité, lorsque la 5G apporte une amélioration notable à la 4G sur les débits, la résilience de la communication et la latence;
- En résidentiel, lorsque la zone géographique est très mal desservie, mais au même titre que les autres usages Internet.
- Sur la servitisation du matériel médical embarquant de l'informatique pour lequel la 5G permet grâce à la faible latence d'exécuter les processus numériques dans le Cloud à l'instar de l'endoscope augmenté présenté précédemment dans le chapitre des usages émergents.



Fig. 176. Comment la 5G transforme la médecine d'urgence⁴⁸⁰.

Le cas d'usage mis en avant par BT est celui de l'ambulance connectée (figure 176). Cela reste un prototype qui embarque une solution d'échographie hébergée dans le cloud. La douchette est manipulée localement par l'ambulancier paramédical sous la direction à distance du clinicien. Le médecin à distance peut, également avec l'aide de l'ambulancier, réaliser des palpations grâce à un gant robotique ou « haptique ». Le dispositif est couplé avec une caméra qui transmet en haute définition une vue de l'intérieur de l'ambulance permettant au clinicien de suivre l'avancée des soins.

478. "5G is being used to perform remote surgery from thousands of miles away, and it could transform the healthcare industry", Caroline Frost, 16 août 2019.

479. 1800 Miles équivalent à 2896 km qui parcourus à 300000 km/seconde requiert 9,66 millisecondes.

480. "5G testbed demonstrates the ambulance of the future, today", SmartCitiesWorld, 24 juin 2019.

La 5G est extrêmement prometteuse à plusieurs titres. L'usage le plus évident est bien évidemment la capacité à prodiguer des soins hors structure médicale. Viens ensuite la possibilité de mutualiser l'informatique embarqué des équipements médicaux. Moins évident, la suppression des câbles informatiques dans les structures médicales permet de mieux se prémunir contre les maladies nosocomiales.

Agriculture

Comme pour de nombreux pans de l'économie, le vertical Agriculture a amorcé sa transformation digitale et n'a évidemment pas attendu la 5G pour développer de nombreux cas d'usages basés sur les technologies de communication. Aujourd'hui, en France, plus de 30 % des tracteurs sont équipés de GPS, 20 % de caméras, et 19 % des exploitations sont équipées de stations météo connectées⁴⁸¹. Les technologies LPWAN sont aujourd'hui largement plébiscitées pour connecter les IoT utilisés dans l'industrie agricole. Celles-ci permettent à la fois de servir de larges étendues, en requérant une faible consommation d'énergie et le tout pour un coût total d'acquisition très concurrentiel. D'ores et déjà, une grande majorité du matériel vendu embarque un dispositif de communication. À titre d'illustration, la gamme de matériel grandes cultures de John Deere est composé à 70 % d'engins connectés⁴⁸².

Par pression économique les territoires ruraux ne sont pas la priorité des opérateurs. Par chance les protocoles LPWAN permettent de couvrir de larges étendues avec un petit nombre de points hauts. L'enjeu pour les usages se satisfaisant des LPWAN est qu'ils soient portés par des réseaux pérennes. Les récents déboires de Sigfox et LoRa illustrent parfaitement l'importance de ce choix. Les réseaux NB-IoT et LTE-M adossés à la 4G et la 5G offrent à date la meilleure garantie de pérennité.

En termes de connectivité, il faut distinguer les espaces agricoles des corps de fermes. Pour les premiers, il est économiquement compliqué pour une exploitation de déployer son propre réseau privé. L'agriculteur utilisera les différents réseaux disponibles sur sa propriété en fonction des usages et des exigences sous-jacentes de communication. Concernant les bâtiments agricoles, la 5G est une alternative intéressante par rapport au Wi-Fi offrant notamment la capacité de mieux traverser les murs et ainsi couvrir de larges superficies sans avoir à déployer de multiples antennes. Un des enjeux majeurs d'une bonne connectivité pour une exploitation agricole est de progresser vers une agriculture de précision conciliant plusieurs dimensions :

- Agronomique avec l'optimisation des cultures et des élevages en exploitant des métriques corrélées aux conditions météorologiques;
- Économique avec une meilleure allocation des ressources tant humaines que matérielles;
- Environnementale en contrôlant la gestion de l'eau et des intrants pour en minimiser les impacts.

Les objets connectés adressant ces trois axes prennent différentes formes dans les exploitations agricoles (liste non exhaustive) :

- Stations météorologiques locales pour optimiser les plages d'intervention;
- Pièges connectés avec des capteurs optiques pour protéger les récoltes;

481. « Les défis et opportunités des nouvelles technologies dans l'agriculture à l'horizon 2024 », Xerfi, 2020.

482. « La 5G et l'IoT prennent racine chez John Deere », Célia Garcia-Montero, novembre 2019.

- Boîtiers de monitoring de troupeaux;
- Véhicules connectés afin d'effectuer un travail de précision permettant l'autoguidage grâce à la correction RTK;
- Robots de traite, d'élevage, ou de culture;
- Capteurs connectés pour contrôler l'irrigation des terres;
- Serres connectées munies de capteurs sensoriels qui permettent de contrôler à distance les conditions météorologiques ainsi que les débits d'irrigation limitant ainsi le besoin de main-d'œuvre.

Pour la majorité de ces cas d'usage, la 5G n'est pas indispensable. Elle le devient lorsque des débits importants, la faible latence ou la sécurité sont nécessaires. Ces usages sont bien évidemment conditionnés à un gain économique qui peut soit se matérialiser par un apport de valeur (qualitatif ou quantitatif) soit par une meilleure efficacité opérationnelle.

Une première catégorie d'usages regroupe ceux pour lesquels la 5G vient augmenter du matériel agricole déjà existant. On y retrouve notamment les tracteurs téléguidés et autonomes. L'entreprise Valtra, en partenariat avec le Finlandais Elisa a dévoilé en mai 2020 un tracteur télécommandé grâce à une caméra 360° fixée sur le toit de l'engin⁴⁸³. Celle-ci renvoie l'image jusqu'à un casque de réalité augmentée proposant une vision 4K de l'environnement du tracteur.

La faible latence de la 5G et les débits montants importants permettent une immersion presque temps réel dans une connectivité sécurisée. L'utilisation de la télécommande est une première étape vers la conduite entièrement autonome.



Fig. 177. Commande à distance d'un tracteur Valtra avec la 5G d'Elisa⁴⁸⁴.

Une deuxième famille d'usages regroupe des équipements agricoles pour lesquels le dispositif informatique embarqué pourrait être allégé en transférant tout ou partie des processus numériques vers le Cloud. Cette servitisation du matériel permet d'une part d'en diminuer le coût d'acquisition et de l'autre d'en augmenter la pérennité.

Les zones rurales vont pouvoir à minima tirer avantage de la 5G pour les cas d'usage ne nécessitant pas du très haut débit et de la faible latence en utilisant NB-IoT et LTE-M. Pour ceux exigeant de la 5G en fréquences hautes les opérateurs vont requérir l'aide de la puissance publique pour couvrir les territoires agricoles.

483. « Valtra et Elisa présentent le pilotage de tracteurs à distance », Valtra, 20 mai 2020.

484. "Valtra und Elisa stellen ferngesteuerten Traktor", Agrartechnik, 28 mai 2020.

Utilities

Les Utilities s'appuient historiquement sur des réseaux pour opérer l'ensemble des sites qui participent à leur production. Par nature, il y a des besoins Indoor pour les sites de production et des besoins Outdoor pour les sites de distribution. La 5G par sa capacité à augmenter et sécuriser la connectivité intéresse naturellement cette famille d'industriels bien souvent classifiés d'importance vitale.

Le premier usage évident est de déployer la 5G afin de disposer d'une connectivité sécurisée sans fil sur les sites de production. Bien souvent, ceux-ci disposent déjà soit d'un réseau « Private Mobile Radio » de technologie Tetra ou Private LTE pour lequel la 5G vient pour le premier remplacer, et pour le second apporter une amélioration substantielle. Paradoxalement les déploiements récents sur 2021-2022 se font, à l'instar d'EDF, sur de la Private LTE, évolutive à terme plutôt lointain vers de la 5G⁴⁸⁵.



Fig. 178. Centrale nucléaire de Civaux⁴⁸⁶.

Le deuxième intérêt naturel est de tirer avantage de la 5G publique pour apporter un meilleur support numérique aux intervenants itinérants. C'est par exemple ce que cherche à faire Enedis en nouant un partenariat avec Orange, Nokia et Xperteye afin d'assurer une meilleure sécurité aux techniciens. Lors d'interventions sensibles les techniciens sont alors équipés de lunettes connectées avec une commande vocale leur permettant d'échanger avec un expert guidant leurs opérations⁴⁸⁷.

Historiquement, les Utilities ont déployé des réseaux techniques en propre pour contrôler, maîtriser, opérer leurs infrastructures. Les technologies encore en usages sont parfois extrêmement âgées et à la limite de l'obsolescence : PDH, TDM, SDH. À ce jour, la technologie privilégiée pour les remplacer est le couple IP/MPLS⁴⁸⁸. Il y a néanmoins quelques exemples où des Utilities tirent avantage de réseaux 4G/5G pour opérer leurs infrastructures Outdoor : Investor Owned Utilities (IOUs), Southern Company (Southern Linc), Consolidated Edison Company, et Newport Utilities⁴⁸⁹.

Le Smart Grid, en réunissant plusieurs cas d'usages 5G, apparaît comme le domaine prioritaire, car au cœur de la transition énergétique. La 5G permet d'adresser des exigences élevées de connectivité tant en termes de disponibilité, résilience, et latence. Le US Department of Energy recommande une latence comprise entre 20 millisecondes et 15 secondes pour rendre efficaces les productions d'énergie décentralisée aussi

485. "Private LTE for all nuclear power plants in France - EDF sets Thales, Ericsson to work", James Blackman, 21 avril 2021.

486. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vue_a%C3%A9rienne_de_la_centrale_de_Civaux.jpg.

487. « Enedis branche ses métiers sur la 5G », Célia Garcia-Montero, décembre 2021.

488. "Network Modernization: a TDM to IP Solution", Jim O'Leary, septembre 2018.

489. "Anterix and Ericsson connect utilities over 4G and 5G across North America with FCC-certified radios", Ericsson, juin 2021.

appelée « Distributed Energy Ressources » (DER⁴⁹⁰). Au-delà de la conformité aux exigences de connectivité, la 5G se distingue également par sa capacité à servir un usage professionnel spécifique sur une infrastructure mutualisée. Elle permet donc par la même d'interconnecter à moindre coût un très grand nombre de sites de production, de stockage et de consommation⁴⁹¹. En Italie, Enel utilise la 5G pour connecter des millions d'IoT en utilisant la plateforme d'AWS⁴⁹².

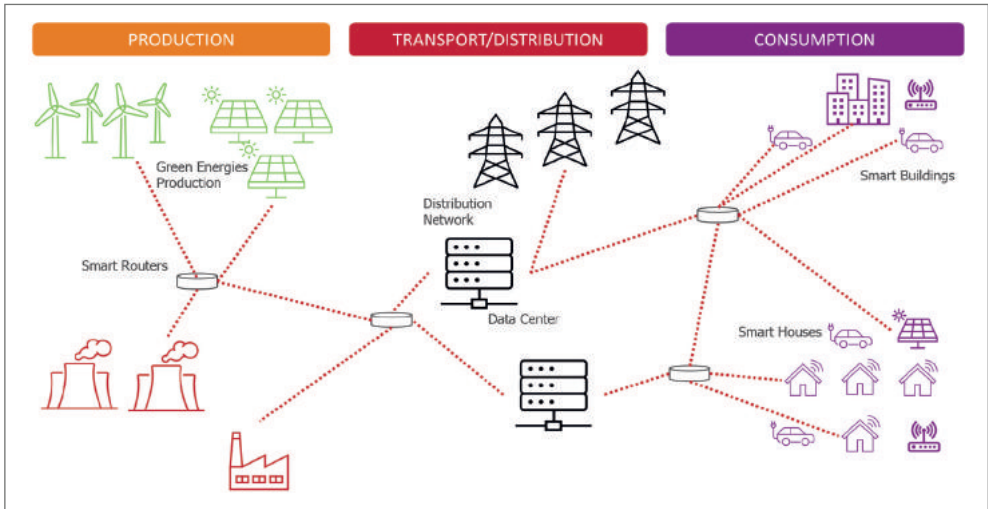


Fig. 179. Smart Grid et 5G.

Plusieurs initiatives expérimentent la 5G dans la mise en œuvre des Smart Grid. L'Union européenne a lancé en janvier 2021 le projet Smart5Grid permettant de couvrir 4 cas d'usage⁴⁹³ :

- « **Automatic Power Distribution Grid Fault Detection** » : Pour améliorer le processus de détection automatique des défauts du réseau distribution en isolant plus rapidement les pannes détectées.
- « **Remote Inspection of Automatically Delimited Working Areas at Distribution Level** » : Afin d'améliorer les procédures de sécurité pour les agents de maintenance, grâce à la transmission des informations temps réel à partir de cameras et de capteurs. L'intervenant n'accèdera plus à des zones de travail dangereuses pour y recueillir des informations nécessaires à la maintenance.
- « **Millisecond Level Precise Distribution Generation Control** » : Pour contrôler avec une précision (de l'ordre de la milliseconde) de très nombreux paramètres collectés sur des sites de production d'électricité décentralisée (DER) afin de mieux équilibrer l'offre et la demande.
- « **Real-time Wide Area Monitoring** » : Permet de mieux adresser la supervision de l'interconnexion de deux systèmes nationaux de production d'électricité. La 5G permet de développer de nouveaux équipements électriques tels les virtual Phasor Data Concentrator (vPDC). L'objectif est de multiplier les points de contrôle électrique afin fournir l'analyse approfondie des phaseurs positifs, négatifs et homopolaires de la tension et du courant, à une fréquence de 50 à 60 fois par seconde.

490. "How AWS and 5G enable tomorrow's digital electric grid", Amazon, 10 septembre 2020.

491. "Learn what 5G will bring to the energy sector and how you can benefit from it in your everyday work", Intellias, octobre 2019.

492. "How AWS and 5G enable tomorrow's digital electric grid", Amazon, 10 septembre 2020.

493. <https://smart5grid.eu>

Enel, deuxième plus grand distributeur d'électricité au Brésil, met en œuvre grandeur nature le premier cas d'usage afin de rationaliser la remédiation des pannes de courant⁴⁹⁴.

Dans le prolongement de ces cas d'usage, UK Power Networks en partenariat avec Vodafone a réalisé un essai grandeur nature visant à optimiser la distribution d'électricité. Cette expérimentation met en œuvre à la fois un slice dédié et le Multi Access Edge Computing (MEC). Ceci garantit la qualité de service tant en termes de sécurité, débit, et faible latence.

La distribution de l'eau est également concernée avec des problématiques moins complexes et similaires à celles des Smart Cities. A titre d'exemple Olea, au Texas, propose d'équiper les réseaux de distribution des villes afin de maîtriser les fuites pouvant aller jusqu'à 40 % des volumes, et d'éviter tant pour les collectivités que pour les usagers finaux les indésirables « bill shock »⁴⁹⁵.



Fig. 180. Réseau public d'eau et d'assainissement⁴⁹⁶.

Eu égard au potentiel de la 5G sur le vertical Utilities on pourrait paradoxalement s'étonner de la prudence des opérateurs. Ceci est à mettre en regard des longs cycles d'investissement qui se comptent en décennies. Les usages de la 5G qui vont en priorité se déployer seront sur les activités annexes à la production et à la distribution de l'énergie telles la maintenance ou la connectivité des sites.

494. "The connected Grid: Is 5G technology the next digital disrupter or is it an enabler?", Gene Wolf, 10 mars 2022.

495. "Edge computing and IoT sensors help cities plug a leak in water bills", Veronica Combs, 30 octobre 2020.

496. « Distribution d'eau : 20 % de fuites dans les réseaux depuis 2012 », Anne Lenormand, 13 décembre 2019.

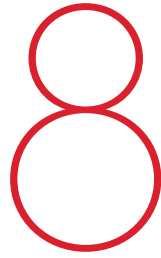
En synthèse

La verticalisation tient plus des priorités politiques des géographies concernées que des aptitudes réelles et spécifiques de la 5G. Les verticaux concernés et priorisés ont néanmoins pour dénominateur commun d'avoir le numérique en levier majeur de leur transformation. À l'instar de la 4G qui a été une réelle disruption par rapport à la 3G, il est fort possible que les usages qui émergeront n'aient pas encore été identifiés.

L'approche verticale est vertueuse en ce sens où la constitution de l'écosystème concerné par le secteur permet, dans l'hypothèse où des usages émergent, d'accélérer l'adoption de la 5G. Elle tient lieu là de catalyseur pour progresser dans la numérisation, même si son bénéfice reste marginal ou à démontrer.

L'écrasante majorité des expérimentations Media & Entertainment, et pour partie les verticaux Transport et Automotive, traduit bien la priorisation de l'industrie sur les usages eMBB. Viennent ensuite les verticaux pour lesquels le profil URLCC, avec la faible latence, la résilience et le MEC, permet d'adresser les usages industriels. Sans surprise, nous avons peu de pilotes sur le massive IoT, les parties prenantes ayant intégré que finalement c'étaient les LPWAN 4G NB-IoT et LTE-M qui étaient positionnés sur le slice mMTC.

Chapitre



Mise en œuvre

La complexité de la 5G, sa disponibilité graduelle, la façon dont elle vient accoster le numérique, rend infini la combinatoire des options pour toute organisation s'estimant devoir en tirer parti. L'objectif de ce chapitre est de vous proposer une démarche bout-en-bout permettant de mettre en œuvre la 5G. Celle-ci se décompose en sept étapes du cadrage stratégique à l'exploitabilité. Commençons par nous interroger en quoi la 5G peut infléchir la stratégie d'une entreprise ou d'une entité publique.

Cadrage stratégique

La première question que tout décisionnaire doit se poser quant à la 5G est en quoi peut-elle influencer le secteur économique sur lequel nous opérons et, si c'est le cas, comment tactiquement la mettre en œuvre.

Pour rappel, lorsque l'on regarde les verticaux prioritaires définis par quelques pays européens qui ont fait de la 5G un vecteur essentiel de développement, on constate une variété de secteurs comme si la 5G n'était pas identique d'un pays voisin à l'autre :

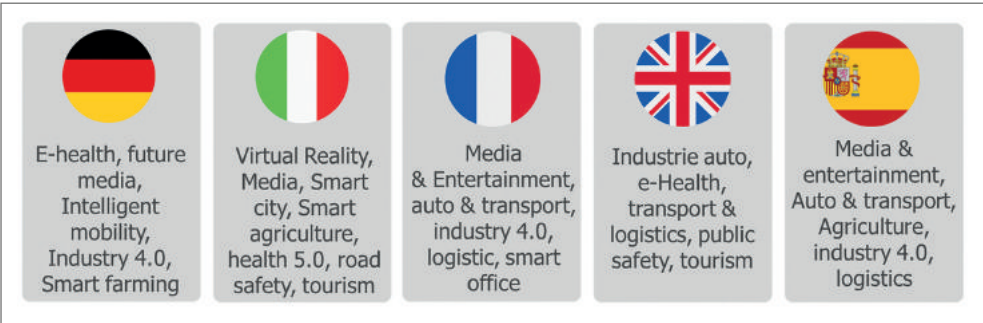


Fig. 181. : Verticaux prioritaires en Europe⁴⁹⁷.

Les choix de l'Allemagne pour l'Industrie 4.0, de l'Italie pour le tourisme, de la France pour le Smart Office, de la Grande-Bretagne pour le transport et la logistique et de l'Espagne pour l'agriculture tiennent en définitive plus compte des priorités sectorielles des différents pays que des capacités technologiques de la 5G. A contrario, tous les secteurs sélectionnés sur les différents territoires ont tous pour point commun de considérer le numérique comme un levier majeur de leur transformation. Finalement le seul dénominateur commun à l'ensemble de ces secteurs identifiés et priorisés est la part prépondérante du Digital dans leurs enjeux de développement.

Force est de constater que finalement le premier secteur impacté par la 5G n'est pas un vertical, mais un horizontal, le numérique. Et par conséquent tout vertical dont le digital est un carburant essentiel à sa transformation est concerné par la 5G. Celle-ci vient s'ajouter au socle numérique qui soutient déjà les activités de l'organisation, qu'elle concerne les produits, les services et les opérations :

497. www.itsocial.fr/enjeux/strategie-enjeux-dsi/business/deploiement-de-5g-monde

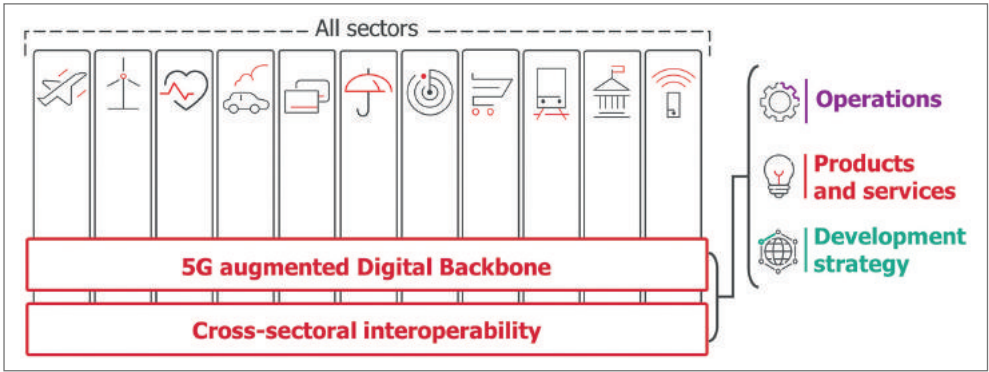


Fig. 182. : Impacts de la 5G sur les verticaux.

Verticalement, la 5G vient augmenter le « Digital Backbone » qui soutient numériquement le développement de l'entreprise, quel que soit le secteur sur lequel elle opère. Et ceci pour servir l'entreprise dans toutes ses dimensions, que ce soient ses opérations, ses produits ou ses services.

Au-delà de l'enrichissement du socle technologique permettant de servir la transformation, la 5G peut participer à reconsidérer la stratégie de développement d'une organisation soit sur son cœur de métier, verticalement, soit en envisageant horizontalement des adjacences ou diversifications.

Le cadrage stratégique s'initie par l'identification des cas d'usages. On distingue deux grandes familles : ceux existants pouvant être améliorés incrémentalement par l'adjonction de la 5G et ceux qui sans la 5G ne sont pas viables économiquement.

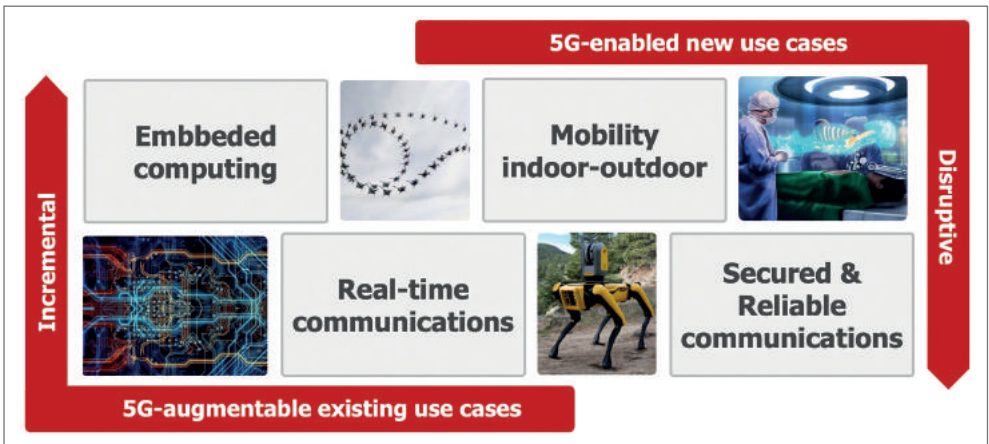


Fig. 183. : Méthodologie pour identifier les cas d'usage de la 5G.

Pour les deux catégories d'usage, on investigate selon quatre axes de recherche :

- Utilisons-nous ou produisons-nous des équipements embarquant de l'informatique ?
- Utilisons-nous ou supportons-nous des processus qui requièrent des communications temps-réel ?
- Avons-nous ou supportons-nous des opérations nécessitant de la mobilité à l'intérieur ou l'extérieur des bâtiments ?
- Avons-nous des enjeux de sécurité ou de fiabilité sur la connectivité ?

Il ne s'agit pas d'inventer de nouveaux cas d'usage, mais soit d'augmenter des usages existants soit de ressortir des usages qui ont été remisés, dans nos greniers ou garages selon la longitude où nous nous trouvons, pour absence de retour sur investissement.

Prenons l'exemple de l'automobile pour être concret :

- La 5G peut être utilisée pour ses usines de production comme la toute récente usine 56 de Mercedes⁴⁹⁸ : mes opérations;
- La 5G peut être embarquée pour améliorer l'autonomie et la sécurité des véhicules⁴⁹⁹ : mes produits;
- Mais également offrir de nouveaux services transformant le véhicule en nouveau médium⁵⁰⁰ : mes services.

À l'instar du secteur automobile, tout vertical pour lequel le numérique est prépondérant se doit de considérer l'impact de la 5G en 360°. À chaque entreprise de se positionner en innovateur, en « early adopter » ou en pragmatique. Quelle que soit l'option retenue, chaque entreprise se doit de les évaluer.

Reprenons synthétiquement les apports de la 5G :

- 1. La capacité à avoir une connexion sécurisée et totalement continue.** Aucune interruption en tout lieu tant à l'extérieur qu'à l'intérieur. On peut presque parler d'un vecteur numérique spatio-temporel ! (sourire) : « Anywhere at anytime ». Ceci permettant de refermer tous les angles morts de la chaîne de valeur durant laquelle celle-ci ne dispose pas encore d'une connectivité satisfaisante; de l'approvisionnement au client final permettant ainsi une fluidification extrême. On adresse, en presque temps réel, toute scorie venant perturber le processus : par exemple on peut télé diagnostiquer en temps réel une anomalie survenant à un outil de production quel que soit son positionnement en « indoor » ou « outdoor ».
- 2. Un Potentiel de digitalisation démultiplié.** Que ce soit pour l'informatique de gestion, l'informatique industrielle ou le digital, la 5G permet d'adresser l'ensemble des usages en Cloud et notamment les plus exigeants avec un même socle technologique réseau et IT créant ainsi un continuum de technologie cohérent pour l'IT et OT et permettant ainsi l'accélération de la plateformes de l'entreprise. Prenons l'exemple d'une nouvelle génération d'IoT industriel dont l'intelligence est hébergée dans le Cloud permettant un double passage à l'échelle : horizontalement quant au nombre d'IoT dont les coûts unitaires ont été diminués et verticalement quant à l'enrichissement incrémental de la valeur servicielle.
- 3. Une disruption sur le modèle économique.** On généralise le Cloud public à l'ensemble des processus IT (informatique de gestion) et OT (informatique industrielle) qui permet de mutualiser les ressources de connectivité, de calcul et de stockage des données en ne requérant plus d'investissement (CAPEX puisque l'infrastructure est préapprovisionnée) avec à la clef une facturation graduelle à l'usage (full OPEX). Par exemple si vous avez des caméras de sécurité, la partie intelligente est déportée dans le Cloud et si elles n'enregistrent qu'en cas de mouvement, vous ne paierez les ressources que lorsqu'elles s'activent.

498. "Official opening of Factory 56 and start of production of the new Mercedes-Benz S-Class: With its Factory 56, Mercedes-Benz is presenting the future of production", 2 septembre 2020

499. "Verizon and Nissan harness C-V2X and 5G Edge to improve highway safety", Ryan Daws, 26 octobre 2021.

500. "4 Vehicle Infotainment Trends to Watch in 2022", Tim Harding, 25 mars 2022.

Ce cadrage stratégique doit couvrir les points suivants :

- Les usages et tendances du secteur concerné;
- Les impacts anticipés sur les opérations, les produits et les services de l'organisation concernée;
- Une mise en perspective de ceux-ci selon calendrier de la 5G;
- Calcul du ROI des cas d'usage;
- Une priorisation des domaines et des cas d'usage;
- Les écosystèmes auxquels adhérer ou celui que l'organisation doit se constituer;
- La stratégie de Make or Buy de l'entreprise;
- Les partenariats à nouer.

Stratégie numérique

Le second volet peut se mener en parallèle de tous les autres. Il consiste à étudier l'évolution du socle technologique qui porte une entreprise au sein de son écosystème. Nous l'avons déjà développé longuement au long de cet ouvrage, la 5G est un cheval de Troie permettant au Cloud public d'adresser le numérique temps réel et de ne plus être cantonnée, même avec succès, à l'informatique de gestion.

Le Gartner estime qu'en 2020 seuls 10 % des processus IT étaient exécutés en Edge et que ce chiffre représentera 75 % à horizon 2025.

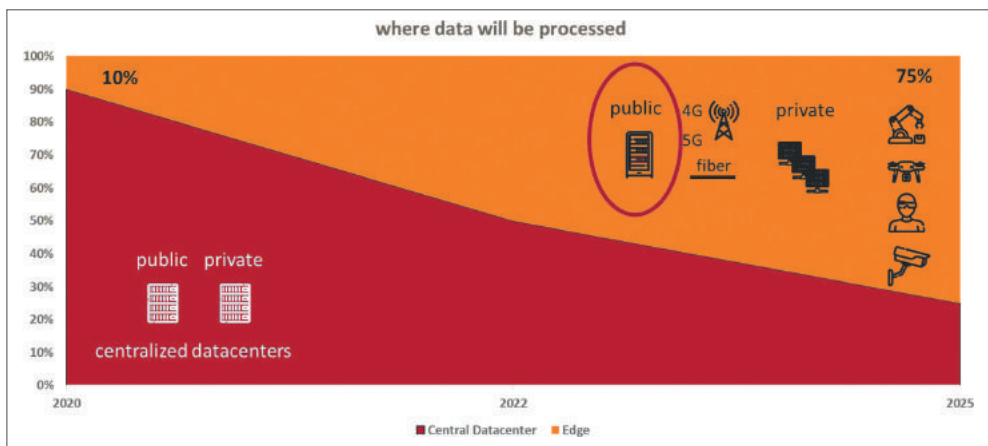


Fig. 184. : La MEC en complément du Cloud profond.

Il y a autant de définitions d'Edge qu'il y a de parties prenantes. Pour les fabricants d'équipements terminaux (tablettes, robots, drones, caméras...), l'Edge est le terminal. Pour les fabricants d'ordinateurs, l'Edge sont les serveurs installés dans les locaux des clients. La disruption introduite par la 5G est la capacité de disposer de ressources de calcul et de stockage juste derrière les réseaux d'accès que ce soit de la 4G, de la 5G, de la fibre ou encore du Wi-Fi. Le MEC permet de porter les processus IT en proximité dans un modèle économique de paiement à l'usage. Ce n'est donc pas une surprise à ce que les plus grands opérateurs de Cloud publics soient les premiers promoteurs de la 5G : AWS, Google Cloud, Microsoft Azure.

Si l'on se projette à cinq ans, voici ce que devrait être le paysage IT d'une entreprise :

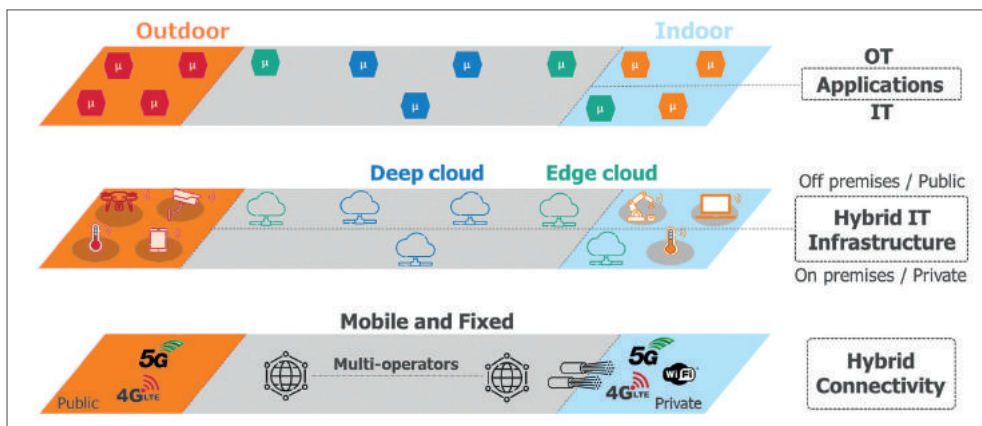


Fig. 185. Paysage IT intégrant l'apport de la 5G.

Le premier élément structurant de cette vision est une non-adhérence totale entre la connectivité, l'infrastructure IT et les applications. C'est une généralisation du « hour glass pattern » qui fit le succès d'Internet en découplant totalement les clients et les serveurs applicatifs. Cette généralisation, que je dénomme pour la circonstance « double hour glasses pattern » se décompose en trois couches :

- 1. Connectivité** : on pose en premier lieu une connectivité hybride combinant à l'extérieur la 5G et la 4G et à l'intérieur des édifices la fibre, la 4G, la 5G et le Wi-Fi. À charge aux organisations de combiner les services de connectivité des opérateurs selon les enjeux et les territoires.
- 2. Infrastructure IT** : une fois la connectivité établie, l'organisation va définir l'infrastructure IT au travers de laquelle les processus applicatifs seront portés. Nous retrouvons du Cloud profond public (« off premises ») et privée (« on premises »). Pour les usages « outdoor », on pourra s'appuyer sur du Cloud public en Edge. Pour les usages « indoor » on pourra combiner du Edge public « off premises » à du Edge privé « on premises ». Le Cloud profond et le Cloud en Edge peuvent combiner de multiples fournisseurs permettant ainsi de bénéficier du « best of breed⁵⁰¹ ». Pour ce qui est des équipements terminaux, l'idéal serait qu'ils supportent la conteneurisation afin de permettre la mise à jour instantanée.
- 3. Applications** : les applications sont développées en microservices containerisés, pouvant ainsi être déployées selon les besoins en trois tiers : Cloud profond, Edge et équipement terminal.

Cette architecture permet de reconsidérer le socle technologique sur lequel l'organisation privée ou publique va s'appuyer. En premier lieu elle permet de définir une stratégie d'approvisionnement évitant toute dépendance. En second lieu, en s'appuyant sur de multiples fournisseurs que ce soit pour la connectivité ou pour l'infrastructure, elle permet d'en augmenter la résilience. Pour finir, elle additionne les apports technologiques et capacitaires des fournisseurs.

⁵⁰¹. La traduction littérale « meilleur de la race » n'est pas très heureuse et « le meilleur des mondes » à une connotation dystopique. Gardons l'expression anglo-saxonne.

Cette architecture est également une triple opportunité :

1. **Décloisonner les silos informatiques** qui pourront à présent être portés par le même socle technologique, les mêmes API et les mêmes développeurs.
2. **Optimiser dynamiquement les coûts d'infrastructure** en privilégiant les ressources les moins coûteuses à la condition que la QoE soit respectée.
3. **Augmenter le temps réel au dépend des traitements par lots** puisque la 5G va améliorer quantitativement et qualitativement la connectivité.

Formation

Le moins que l'on puisse dire, c'est que les promoteurs de la 5G n'ont pas facilité la tâche de ceux qui allaient devoir la mettre en œuvre.

Pêle-mêle : Comment se projeter avec une technologie dont l'essentiel des fonctions avancées n'est pas disponible dans la première version déployée (R15 NSA) ? Comment intégrer les capacités de la 5G millimétrique sachant qu'elle sera très peu utilisée ? Comment distinguer les fonctions qui seront disponibles seulement à l'intérieur des bâtiments en « indoor » ? Comment anticiper les choix des opérateurs compte tenu des multiples options ? De l'incertitude dans le « quoi » et de l'incertitude dans le « quand ».

Avant de pouvoir envisager des cas d'usage, il est essentiel que l'ensemble des parties prenantes aux phases d'idéation et de conception maîtrisent d'une part les basiques de la 5G et de l'autre en comprenant les bénéfices métiers qu'ils peuvent en tirer.

Prenons l'exemple de la latence. Comme vu précédemment le temps de réaction médian à un stimulus visuel est de 273 millisecondes⁵⁰². Devons-nous en conclure que la latence n'a pas d'intérêt pour l'interface homme-machine. C'est évidemment faux. Pour les applications de réalité augmentée et de réalité virtuelle, le temps qui sépare le mouvement et sa répercussion sur l'image⁵⁰³ est contraint par la coordination de notre cerveau avec nos différents sens. Pour la réalité virtuelle, il faut que la latence soit inférieure à 20 ms entre le mouvement et la mise à jour de l'image pour ne pas perturber le système vestibulaire de l'oreille interne au risque d'avoir le mal de mer. En réalité augmentée cette latence ne doit pas excéder 5 ms pour que la superposition des informations soit perçue comme instantanée⁵⁰⁴.

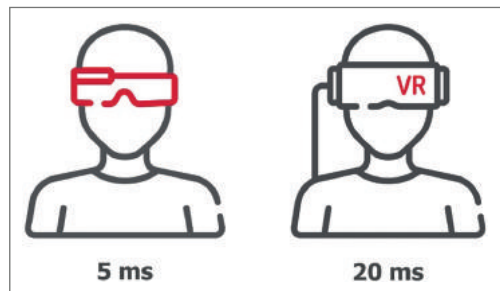


Fig. 186. différence d'exigence de latence entre le mouvement et l'image entre AR et VR.

Nous avons par ailleurs déjà évoqué les exigences en termes de latence pour les différents usages de l'industrie 4.0, des jeux vidéo ou encore des véhicules connectés.

502. <https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime/statistics>.

503. Motion to photon latency.

504. "Motion to photon latency in mobile AR and VR", Daniel Wagner, 20 août 2018.

Pour illustrer la nécessité de partager une compréhension commune des apports de la 5G, prenons en deuxième exemple les IoT. Quelle sera la disponibilité de la 5G sur les trois grandes familles d'usage que sont eMBB, URLLC et mMTC ?

Commençons par la 5G privée :

Les usages nécessitant du très haut débit (eMBB) sont couverts à partir du moment où les équipements 5G sont disponibles en Release 15.

Pour ceux nécessitant une communication fiable, sécurisée et à très faible latence (URLLC), il faudra attendre que l'installation soit mise à jour avec la Release 16.

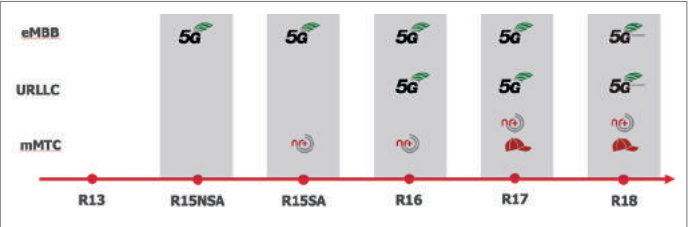


Fig. 187. disponibilité de la connectivité 5G privée selon les usages.

Et c'est seulement à partir de la Release 17 que l'on pourra connecter en 5G privée des IoT requérant une très faible consommation électrique avec le tout nouveau protocole RedCap (ou NR Light). Depuis octobre 2021, l'ETSI a labellisé 5G le protocole DECT-2020 NR permettant d'adresser cette famille d'usages dès maintenant.

L'entreprise a alors 3 grandes options :

- Déployer les cas d'usage que lorsque la connectivité RedCap est disponible;
- Déployer les cas d'usages au moyen de DECT-2020 NR;
- Déployer un réseau hybride mixant 5G et d'autres réseaux complémentaires. Du filaire en Internet industriel pour adresser les usages URLCC. Éventuellement des réseaux publics LPWAN (NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN, SigFox) ou des réseaux privés tels (Wi-Fi, Bluetooth ou ZigBee). Pour les premiers c'est à la condition qu'ils soient disponibles là où les usages le requièrent. Pour les deux options, c'est également à la condition qu'ils satisfassent les exigences de sécurité.

Les dates de disponibilités varient selon les équipementiers.

Concernant la 5G public :

Les usages massifs d'IoT sont couverts par les deux protocoles NB-IoT et LTE-M nés sous étendard 4G et battant maintenant pavillon 5G. S'y ajoutera RedCap à partir de la Release 17 probablement disponible en extérieur à partir d'un équipement terminal eMBB servant de passerelle.

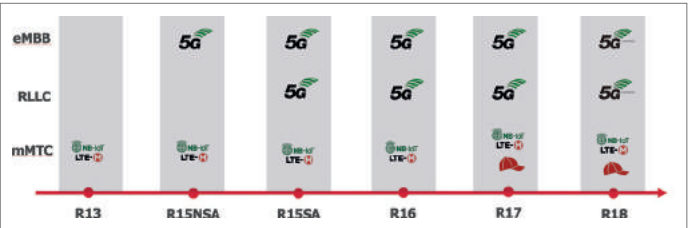


Fig. 188. disponibilité de la connectivité 5G public selon les usages.

Les usages nécessitant de la résilience et de la faible latence (RLCC où j'ai volontairement retiré l'Ultra qui ne devrait être possible qu'en 5G privée), ils seront déployables à partir de la release 15 StandAlone. Le slicing permettra de proposer des mécanismes de priorisation et de préemption. Les clients pourront additionner les réseaux pour en augmenter la résilience.

Les dates varient selon la disponibilité des équipements et du temps de déploiement de chaque opérateur.

Avec ces deux exemples, on perçoit la nécessité que toutes les parties prenantes s'approprient l'essentiel des apports de la 5G sans nécessairement en comprendre les sous-jacents techniques. Une fois ces basiques appropriés, ils peuvent participer à l'étape suivante de conception.

Conception

L'étape de conception s'initie par une phase d'idéation s'appuyant sur la même double méthodologie utilisée pour le cadrage stratégique : identifier d'une part des usages existants pour lesquels la 5G permet d'en augmenter la valeur et d'autre part les usages pour lesquels la 5G permet de diminuer le coût total d'acquisition et de dégager un retour sur investissement. Celle-ci requiert de nombreuses exigences :

- **Exigences métiers** : permettant de proposer des solutions qui adhèrent au mieux aux besoins des usagers;
- **Contraintes réglementaires** : les activités et opérations de chaque vertical économique sont encadrées par des règlements et des lois régissant les secteurs;
- **Engagements sociétaux et environnementaux** : les futurs usages doivent intégrer les engagements du client dans le cadre de sa politique RSE venant compléter les exigences réglementaires;
- **Technologies** : les usages 5G peuvent mobiliser de nombreuses technologies complémentaires (réseaux, Cloud, IoT, AR/VR);
- **Veille business** : comme pour toute technologie émergente et en rupture, il est particulièrement intéressant de s'intéresser aux usages qui émergent sur l'ensemble des territoires, quels que soient les secteurs économiques concernés.

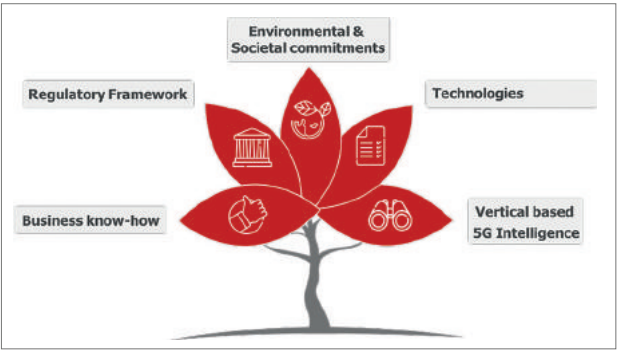


Fig. 189. exigences aux développements des cas d'usage 5G.

Pour chaque cas d'usage, il est nécessaire de traduire son apport en incrément business permettant d'en objectiver la valeur. Ces incréments sont au nombre de six :

- **Time To Deliver** : une meilleure connectivité sert à gommer les aspérités qui font que la chaîne de valeur bout en bout n'est pas assez fluide. Évidemment, si l'on est seul à produire sans interdépendances, nul besoin d'être connecté. Mais si des milliers de parties prenantes participent à une



Fig. 190. les 6 facteurs business de la 5G.

même production (fournisseurs, entités, partenaires, employés, clients), la probabilité que des aléas viennent perturber la chaîne de valeur est exponentielle. L'amélioration du support numérique de l'approvisionnement et de la production, de vente et de l'après-vente augmente la transparence, permet de gérer en temps réel les anomalies et incidents afin d'augmenter l'efficacité.

- **Time To Market** : la 5G prédéploie des infrastructures de connectivité, de calcul et de stockage réduisant par la même le coût et le temps de déploiement de celles-ci. On peut lancer plus rapidement de nouveaux produits ou services.
- **Innovation** : à partir du moment où les ressources de connectivité, de calcul et de stockage sont facturées à l'usage, on lève le principal frein à l'innovation qui est de mobiliser des capitaux avec des incertitudes permettant par la même d'accélérer sur du « test & learn ». Avec un coût proportionnel aux usages, on limite la prise de risque à l'entrée.
- **Servicisation** : la fiabilité de la connexion 5G permet de transférer une part de la valeur d'un produit vers des services numériques hébergés dans le Cloud.
- **Coût des produits** : cet avantage découle de l'incrément précédent. On transfère une partie des traitements de l'équipement terminal vers le Cloud. En découlent des produits moins complexes et donc moins chers puisque l'essentiel du produit a été externalisé dans le Cloud.
- **Productivité** : tous les points précédents mettent en exergue l'augmentation de la productivité comme la possibilité d'utiliser l'IoT industriel pour prévenir et anticiper tout problème sur la chaîne de valeur.

Bien évidemment, envisager des usages 5G suppose que la connectivité couvre en qualité les lieux où ceux-ci se tiendront que ce soit en extérieur ou à l'intérieur des immeubles. Pour ce faire, des entreprises telles Mozark peuvent émuler les usages et tester quels opérateurs peuvent, ou pas, supporter ces futurs usages.



Fig. 191. capacités de Mozark à tester la connectivité 5G.

Les campagnes de test peuvent être réalisées au moyen soit de véhicules spécifiquement équipés, soit de mallettes, soit de sondes installées sur les sites de production. Une dernière option intéressante est d'utiliser une App sur des téléphones mobiles.

De nombreux usages peuvent être émülés afin de s’assurer que la connectivité nécessaire et suffisante est bien délivrée :

	Description	Android	iOS	CLI		Description	Android	iOS	CLI
Location	Reverse Geocoding Geographical enrichment (Zipcode, City, Administrative Area)	x	x		Cellular	MCC+MNC from the network	x		
Location	Localisation accuracy in meter	x	x		Cellular	MCCMNC from the SIM	x	x	
Location	Average speed in kilometer by hour	x	x		Cellular	Technology : (NR, LTE, HSPA, UMTS, WiFi, Ethernet...)	x	x	x
Location	ISO-3166 country code	x	x		Cellular	Access Point Name of the network	x		
Location	Latitude in WGS84	x	x		Cellular	Internet Service Provider (based on ip)	x	x	
Location	Longitude in WGS84	x	x		Cellular	Site LAC + Cell-ID	x		
Location	GPS location provider	x	x		Cellular	Signal Information (RSSI, RSRP, RSRQ, RSSNR,...)	x		
Metrics	Date/time of the test	x	x	x	Cellular	Roaming, local carrier	x	x	
Metrics	Status of the test	x	x		Cellular	ARFCN			
Metrics	Status comment especially when the test isn't a success	x	x		Wifi	SSID/Hotspot	x	x	x
Metrics	Bitrate based on real file's throughput (kbps).	x	x	x	Wifi	WiFi BSSID	x		
Metrics	Bitrate based on OS Traffic stats (kbps)	x	x		Wifi	Capacity Bandwidth	x		
Metrics	Delay from start to 1st byte/loading/play in ms.	x	x		Wifi	Frequency	x		
Metrics	Total Time while video paused (after launched) in ms.	x	x		Wifi	Channel frequency	x		
Metrics	User reference & comment	x	x		Wifi	Wifi APN Macadress	x		
Device	Battery level (percentage)	x			Wifi	Wifi Status	x		
Device	Brand of the terminal	x	x		Wifi	Hidden SSID	x		
Device	Operating System : Android / iOS / Web + Version	x	x		Wifi	Link speed	x	x	
Device	Unique identifier id of the terminal	x	x	x	Wifi	Wifi network id	x		
Device	Device Macadress	x			Wifi	Wifi router mac adress	x		
Device	IP (External / Internal)	x	x	x					

Fig. 192. liste des services émülés par l’offre Mozark.

Eut égard aux enjeux de durabilité du numérique, il est nécessaire dans le cadre de la conception de calculer l’impact CO²E de la solution envisagée avec et sans 5G. Pour ce faire, il est nécessaire de prendre en compte le cycle de vie complet des solutions incluant les équipements, leurs approvisionnements, leurs consommations jusqu’à la mise au rebut.



Fig. 193. capture d’écran de l’application G4it de Sopra Steria.

Pour finir, il est important de prioriser la mise en œuvre des cas d’usage. De nombreux critères peuvent être combinés afin de produire in fine une matrice permettant de les classer en fonction d’une part de l’apport de valeur et de l’autre de la complexité de mise en œuvre.

Les développements peuvent alors être initiés, au cas par cas ou en parallèle.

Développement

La spécificité majeure de développement d'un cas d'usage 5G est le prérequis de la connectivité et parfois du Cloud en Edge. Avant de déployer en grandeur nature une solution qui engage un investissement conséquent, le cas d'usage peut être prototypé afin d'en valider la pertinence. Une option consiste à développer un « Minimum Viable Prototype » permettant de le tester en situation presque réelle. Pour ce faire, nous utilisons un écran 270° immersif de la société « The Lab in the bag ».

À l'aide d'un moteur de jeu tel Unity, un décor reproduit à l'aide de photographies l'environnement de l'usage. Une fois réalisé, un intervenant teste le prototype en immersion en ajoutant, à la capacité de se déplacer dans le décor, du son, du vent, de la lumière.

Cette validation permet d'ajuster le prototype pour en finaliser le développement. À ce jour, nous disposons de trois accélérateurs permettant de développer trois grandes familles d'usage :

- Collaborateur augmenté : où la 5G permet d'interconnecter des intervenants itinérants avec des collègues, des partenaires ou des clients;
- Smart vision : où la 5G, couplée au Cloud en Edge et l'intelligence artificielle, permet d'exploiter des flux vidéos, d'en automatiser l'analyse et éventuellement déclencher des actions;
- Machine to Machine : consistant à faire dialoguer en presque temps réel des systèmes d'information distants interconnectés par de la 5G.

Cette approche a plusieurs vertus : d'une part de réduire les coûts et les délais de développement et de l'autre de rationaliser et partager le même socle technologique pour ces familles d'usage.

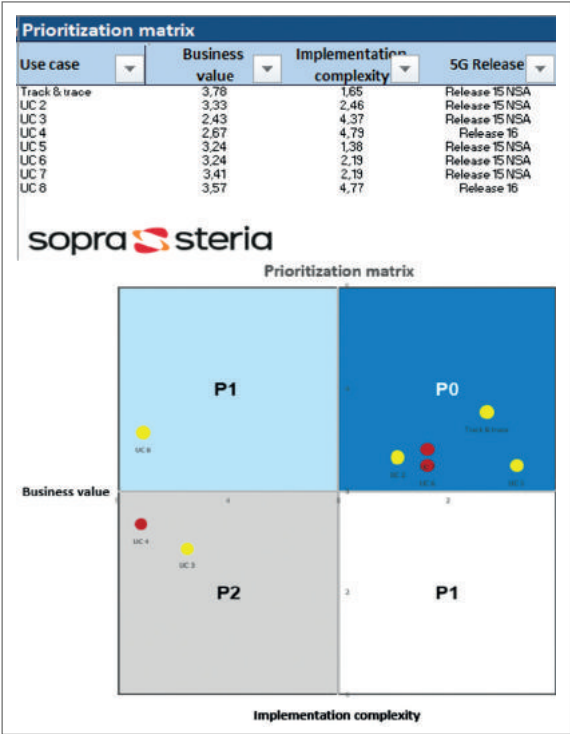


Fig. 194. matrice de priorisation des usages 5G.



Fig. 195. écran 270° immersif « The Lab in the bag ».

Déploiement

Le déploiement est paradoxalement la phase la plus délicate, car d'une part il doit s'inscrire dans un existant où l'on doit prendre en compte organisations, processus et infrastructures technologiques et de l'autre ce sont nécessairement des projets complexes, longs, pour lesquels les défis sont nombreux.

Un projet 5G ne diffère pas d'un projet IoT et les retours d'expérience de projets ambitieux menés avec de grands industriels ont mis en exergue les clefs de succès suivantes :

- Un soutien de la Direction Générale dont un membre est le sponsor (pas original, mais indispensable);
- Une vision long terme puisque nous nous appuyons sur des infrastructures dont la pérennité se compte en décennies (déjà 30 ans pour la 2G);
- Une gouvernance technologique et de sourcing essentielle avec des enjeux de cohérence et de « Product Lifecycle Management » de la conception jusqu'à la fin de vie en incluant le maintien en condition opérationnelle;
- La mobilisation et l'alignement des parties prenantes dès les phases d'idéation pour s'assurer de la compréhension et de l'adhésion de chacun;
- Un séquençement rythmé du projet de telle sorte à produire régulièrement des incréments tangibles;
- L'optimisation des ressources mobilisées sur les nombreux cas d'usages à mettre en œuvre;
- Un accompagnement à l'appropriation des nouveaux outils et des nouveaux processus;
- L'animation de l'écosystème avec partenaires, fournisseurs et clients;
- Une politique de communication pour valoriser régulièrement l'investissement.

Dès les premiers usages déployés se pose la problématique de l'opérabilité des solutions les portant.

Exploitableté

Intégrer la 5G à son socle technologique accentue la complexité de ce dernier et par là même introduit de nouveaux défis de :

- Cybersécurité par une augmentation considérable de la surface d'attaque;
- Distribution des processus sur l'infrastructure IT, Cloud profond, Edge Cloud, équipements terminaux;
- Maîtrise de la QoE.

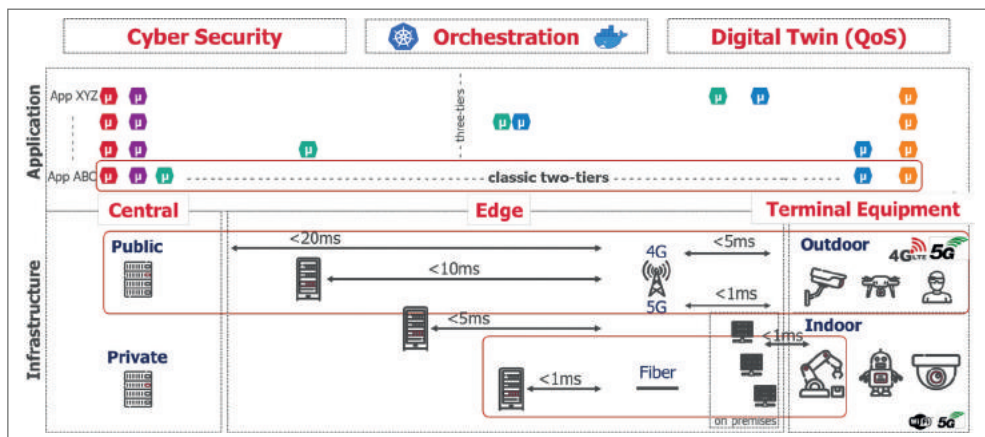


Fig. 196. enjeux d'exploitableté de la 5G.

Pour l'enjeu de cybersécurité, la supervision doit intégrer ces nouveaux IoT, chacun pouvant être une nouvelle porte dérobée potentielle. Dans une projection où tout système d'information est containerisé jusqu'aux équipements terminaux, cela simplifierait grandement la surveillance par une meilleure homogénéité des environnements et par la capacité de mettre à jour rapidement tous les nœuds du réseau applicatif.

Concernant la distribution des processus IT, on peut imaginer que celle-ci soit dotée d'une intelligence artificielle permettant de tirer parti de toutes les capacités publiques disponibles sur les territoires au sein desquels on opère. Cela offre les possibilités d'une part d'optimiser les coûts dans les respects de la qualité d'expérience et d'autre part d'éviter toute dépendance envers un fournisseur de Cloud.

La 5G couplée au Cloud public va augmenter la complexité du socle technologique portant l'entreprise qui va devoir en confier partiellement l'administration à des tiers que ce soit pour la connectivité ou pour les ressources de calcul et de stockage. L'enjeu alors est de garder la maîtrise de bout en bout, d'avoir la capacité de surveiller la qualité de l'expérience et in fine d'être en mesure d'identifier la cause originelle d'une défaillance d'où qu'elle vienne.

Il existe de nombreuses solutions pouvant répondre à ces trois enjeux. Les adresser est un prérequis essentiel au déploiement d'usage 5G.

Conclusion

Eu égard à l'explosion des données et usages en mobilité, le déploiement de la 5G est absolument nécessaire afin, d'une part, de disposer de nouvelles bandes de fréquences et, d'autre part, d'un nouveau protocole triplant le volume de données qui peuvent être échangées sur la même quantité de spectres.

La 5G permettra, au moyen d'un assemblage complexe de technologies, d'améliorer l'irrigation numérique des territoires, d'augmenter très notablement la connectivité tant sur les débits et la latence que sur la couverture, et de rapprocher le traitement des données au plus proche des usages. Pour autant, la 5G ne défie pas les lois de la physique : elle n'augmentera pas les débits par 20 tout en réduisant l'efficacité énergétique par 100.

Il serait de plus trompeur de laisser croire que toutes les fonctions 5G seront disponibles aux premiers déploiements. Ceux-ci seront graduels sur une dizaine d'années avec un focus clair dans un premier temps sur les usages grand public puis sur ceux industriels à partir de 2023.

De même, la 5G ne sera pas la même pour tous, que vous soyez un citoyen des villes ou un citoyen des champs, une grande entreprise ou une PME. C'est là où les puissances publiques des États peuvent peser positivement sur un meilleur aménagement du territoire, tant sur les fréquences sous licences que celles à usage libre.

Pour finir, la 5G ne sera pas l'unique réseau d'accès permettant de se connecter à Internet. Elle sera certes en coopération avec d'autres technologies comme le Wi-Fi ou les LPWAN, mais dispose d'une fenêtre d'opportunités pour se positionner en réseau de réseaux, apportant ainsi un service de bout en bout « indoor » et « outdoor » valorisant l'ensemble des ressources déployées.

Personne ne sait la place qu'elle prendra *in fine* dans nos vies, car c'est une vraie disruption qui va bien au-delà d'un nouveau protocole. Depuis trois ans, de nombreux usages se développent à bas bruit pour lesquels la faible latence et la sécurité de la 5G s'avèrent d'ores et déjà indispensables. Les versions à venir donneront le véritable coup d'envoi des usages les plus avancés et les plus disruptifs et impactera nécessairement tous les verticaux. La décennie à venir sera marquée par la 5G et c'est pour ma part avec enthousiasme que j'envisage son avenir.

Table des figures

Fig. 1	This is the future of 5G - 5G-PPP	16
Fig. 2	Verticals - 5G-PPP4	17
Fig. 3	GSMA - Example of vertical industries enabled by 5G	18
Fig. 4	5G deployments and roll-outs IDATE/Digiworld	18
Fig. 5	Performances espérées de la 5G versus la 4G	19
Fig. 6	Configuration des slices eMBB, URLLC et mMTC	21
Fig. 7	Cas d'usage pour les slices eMBB, URLLC et mMTC	22
Fig. 8	Exemple de trois autres slices	22
Fig. 9	Proposition de slices pour les verticaux du 5G-PPP	23
Fig. 10	Proposition de slices pour 5 verticaux	23
Fig. 11	Organisation du spectre des fréquences en France	24
Fig. 12	Positionnement des antennes millimétriques dans le terminal	25
Fig. 13	Trois gammes de fréquences et l'introduction des bandes millimétriques	25
Fig. 14	Illustration d'agrégation de porteuse	26
Fig. 15	Illustration de MIMO massif	26
Fig. 16	MIMO massif - comparaison 4G-5G	27
Fig. 17	Fonctionnement de la formation de faisceaux ou beamforming	27
Fig. 18	Comparaison de fonctionnement MIMO en 4G et 5G	28
Fig. 19	Antennes massive MIMO	28
Fig. 20	Comparaison des techniques de duplexage	29
Fig. 21	Encodage QAM256	29
Fig. 22	Faciliter la configuration réseau, telle est l'ambition du SDN	30
Fig. 23	Le NFV propose de nouveaux standards pour la réalisation d'infrastructures réseaux	31
Fig. 24	Les temps de latence entre un dispositif communicant et un cloud public selon la localisation	32
Fig. 25	Positionnement des ressources cloud à la périphérie du réseau	33
Fig. 26	5G as the centre of a heterogeneous network environment - GSMA	34
Fig. 27	5G - Licensed and Unlicensed Carrier aggregation - ARM	34
Fig. 28	Exemples de véhicules aéroportés ou spatiaux utilisés pour des réseaux non terrestres	35
Fig. 29	Train Siemens Velaro	36
Fig. 30	La 5G V2X en approche globale de la mobilité	36
Fig. 31	Les deux principaux modes de cohabitation 4G-5G	36
Fig. 32	Illustration de cohabitation d'usages mMTC et URLLC	37
Fig. 33	Private 5G	38
Fig. 34	DSS : Dynamic Spectrum Sharing	38
Fig. 35	Classification des attaques sur les réseaux 4G et 5G	39
Fig. 36	Éléments d'architecture du futur réseau 5G	39
Fig. 37	Isolation des ressources par slice pour une meilleure sécurité	40
Fig. 38	Consolidated view on threat category by threat actor	40
Fig. 39	Assessment criteria per categories of elements and functions	41
Fig. 40	Risk categories and scenarios	41
Fig. 41	Toolbox measures and supporting actions	42
Fig. 42	Énergie électromagnétique des babyphones et micro-ondes supérieure à celle de la 5G	42
Fig. 43	Calendrier des publications 3GPP ..	46
Fig. 44	Vue d'ensemble des releases 5G, 3GPP	47
Fig. 45	LTE-M et NB-IoT pour adresser le marché de l'IoT massif	47
Fig. 46	Calendrier de déploiement de la 5G pour les trois principaux usages	48
Fig. 47	Opérabilité de LTE-M et NB-IoT avec la 4G et 5G	48
Fig. 48	Support des usages eMBB par la Release 15	49
Fig. 49	Planning détaillé de la Release 15 (en vert)	50
Fig. 50	Apparition des usages URLLC avec la Release 16	50
Fig. 51	Détail des éléments relatifs à la release 16	51
Fig. 52	Planning Release 16	52
Fig. 53	Détail des éléments relatifs à la release 17	52
Fig. 54	Planning détaillé de la Release 17 ..	53
Fig. 55	Détail des éléments relatifs à la release 18	54
Fig. 56	Portail d'accès aux travaux préliminaires à une nouvelle spécification	54
Fig. 57	Synthèse du planning de standardisation	55
Fig. 58	Les caractéristiques de la technologie 6G	56
Fig. 59	Architecture simplifiée de la 5G	57
Fig. 60	Situation en mars 2021 des principaux fournisseurs d'infrastructure 5G	58

Fig. 61	Modem 5G Exynos de Samsung.....	59
Fig. 62	Fournisseurs de modems 5G en pourcentage.....	60
Fig. 63	Annnonce du JioPhone Next lors de la 44 ^e assemblée générale annuelle de Reliance Industries.....	60
Fig. 64	Évolution du cycle de renouvellement des terminaux.....	61
Fig. 65	Synthèse du planning des équipements 5G.....	62
Fig. 66	Situation de l'allocation des fréquences dans le monde, mars 2021.....	62
Fig. 67	Situation de l'allocation des fréquences en Europe, mars 2021.....	63
Fig. 68	Les bandes de fréquences envisagées pour les déploiements de la 5G en France.....	63
Fig. 69	Nombre de supports 700 MHz mis en service en métropole au 1 ^{er} janvier 2020.....	64
Fig. 70	Bandes de fréquences synchronisées et non synchronisées.....	65
Fig. 71	Les obligations des opérateurs en 4G en France.....	65
Fig. 72	Évolution du nombre d'antennes 4G en France par opérateur.....	66
Fig. 73	Déploiement du réseau 4G d'Orange.....	67
Fig. 74	Projection de calendrier d'activation des sites 5G.....	67
Fig. 75	LTE-M et NB-IoT : « 5G Ready » pour de nombreux cas d'usage.....	68
Fig. 76	LTE-M et NB-IoT : « 5G Ready » pour de nombreux cas d'usage.....	68
Fig. 77	Illustration de déploiement de petites cellules.....	69
Fig. 78	Illustration de réseau de collecte intégré 5G.....	69
Fig. 79	La 5G vient augmenter la couverture numérique du territoire.....	70
Fig. 80	Offre de Vodafone UK en data illimitée incluant la 5G.....	73
Fig. 81	Offre 5G de LG Uplus intégrant des services de RA/RV.....	75
Fig. 82	Architectures des Réseaux Privés 5G.....	76
Fig. 83	Nombre de cartes actives sur les réseaux 4G.....	80
Fig. 84	Calendrier du pourcentage de la population française en 5G.....	80
Fig. 85	Refarming de bandes de fréquences 1800 de la 2G à la 4G et 2100 de la 3G à la 4G, Next Impact.....	81
Fig. 86	Attribution des fréquences basses aux opérateurs français.....	81
Fig. 87	Active 5G Markets.....	83
Fig. 88	Offre FWA de Verizon - Supprimons le fil.....	84
Fig. 89	Offre FWA de Fastweb Italie.....	85
Fig. 90	Modem HTC 5G Hub proposé par Sprint, Telstra, Three UK, Deutsche Telekom, Magenta Telekom, Sunrise, and Elisa.....	85
Fig. 91	Personnalisation d'un slice.....	86
Fig. 92	Réseau 5G subdivisé en sous-réseaux virtuels configurés selon les usages.....	86
Fig. 93	Nombre de slices anticipés par les fournisseurs de services de communication.....	87
Fig. 94	Scénarios d'instanciation de slices pour le roaming international.....	87
Fig. 95	Modèles de partage d'infrastructure.....	88
Fig. 96	Carte de RAN Sharing Bouygues Telecom-SFR.....	89
Fig. 97	Le mobilier urbain pourra héberger des antennes de communications.....	90
Fig. 98	Exemples d'agrégation de porteuses en LAA.....	91
Fig. 99	Exemples d'usages de 5G Stand-alone NR-U.....	91
Fig. 100	FCC vote en faveur de l'ouverture de nouvelles bandes Wi-Fi pour les USA.....	92
Fig. 101	2 options de 5G MEC proposées par SK Telecom.....	93
Fig. 102	Hierarchie des points de concentration d'un réseau mobile.....	93
Fig. 103	Carte de déploiement des zones AWS Wavelengths, septembre 2021.....	94
Fig. 104	Accords Edge Computing entre opérateurs 5G et hyperscalers.....	94
Fig. 105	Offre 4G 5G NB-IoT d'Optus grâce aux nanosatellites de Myriota.....	95
Fig. 106	Exemple d'avion solaire pouvant relayer les communications 5G.....	96
Fig. 107	Exemple d'utilisation de drone de surveillance.....	96
Fig. 108	Antenne de communication installée sous l'appareil.....	97
Fig. 109	Calendrier prévisionnel de la 5G en France.....	98
Fig. 110	Trafic IP par technologie d'accès.....	100
Fig. 111	Prévision de débordement du trafic data vers le Wi-Fi.....	101
Fig. 112	Répartition 2021 de la distribution des terminaux Wi-Fi 6 vs 5G.....	101
Fig. 113	Introduction de l'OFDMA.....	101
Fig. 114	Wi-Fi 6 : MIMO et agrégation de porteuses combinés.....	102
Fig. 115	Apple iPhone 11 intègre le Wi-Fi 6.....	102
Fig. 116	Terragraph de Facebook.....	103
Fig. 117	Initiative OpenRoaming pour faciliter l'authentification et améliorer la sécurité.....	104
Fig. 118	La 5G et le Wi-Fi en coopération.....	104
Fig. 119	Prévision du nombre de dispositifs connectés par types de réseaux en milliards.....	105

Fig. 120 Comparatif des caractéristiques techniques Sigfox, LoraWAN et NB-IoT.....	106	Fig. 147 Interdépendance de la couverture, de la bande passante et de la latence pour la 5G.....	125
Fig. 121 Comparatif des performances Sigfox, LoraWAN et NB-IoT.....	106	Fig. 148 Les différentes catégories d'usage de la 5G.....	129
Fig. 122 Comparatif des différents réseaux Ethernet.....	107	Fig. 149 La téléassistance simplifiée avec AMA.....	130
Fig. 123 Variété des usages industriels en termes de latence.....	107	Fig. 150 Déploiement de la 5G au port de Southampton.....	131
Fig. 124 Exigences de performances pour la 5G industrielle.....	108	Fig. 151 Déploiement de la 4G évolutive 5G à l'aéroport de Charles de Gaulle.....	131
Fig. 125 Performances espérées de la 5G versus la 4G.....	110	Fig. 152 Terminal utilisé pour le réseau Antares (INPT).....	132
Fig. 126 Débits maximums descendants selon les fréquences utilisées avec de l'agrégation de porteuses.....	111	Fig. 153 Usage de la 5G pour un endoscope augmenté par l'intelligence artificielle.....	133
Fig. 127 Quels débits descendants avec quelles technologies.....	111	Fig. 154 Robot Beam d'Awabot.....	134
Fig. 128 Test du réseau 5G de Verizon : "But damn is it fast".....	112	Fig. 155 Casques à réalité augmentée sur base technologique Qualcomm.....	135
Fig. 129 Débits descendants maximums mesurés sur les réseaux 5G ouverts en 2019.....	113	Fig. 156 Nombre de pilotes 5G par verticaux.....	138
Fig. 130 Comparaison 4G vs 5G sur les débits descendants moyens en juillet 2019.....	113	Fig. 157 Quelles bandes de fréquences sont expérimentées en Europe.....	138
Fig. 131 Comparaison 4G vs 5G sur les débits descendants moyens en Corée.....	114	Fig. 158 Analyse des expérimentations 5G Media & Entertainment.....	139
Fig. 132 5G vs. 4G download speed improvement (ratio).....	114	Fig. 159 Évolution du marché du gaming.....	140
Fig. 133 Comparaison de l'efficacité spectrale moyenne selon les bandes de fréquences utilisées.....	115	Fig. 160 Cloud gaming et 5G à Los Angeles.....	140
Fig. 134 Tentative de records mondiaux en matière d'efficacité spectrale 5G grâce à l'utilisation massive de MIMO.....	116	Fig. 161 Présentation de la plateforme de jeux de Google Stadia.....	141
Fig. 135 Infrastructure services mobiles 5G renforcent la sécurité routière.....	117	Fig. 162 HP VR Backpack, le PC portable sac à dos.....	141
Fig. 136 Test 5G grandeur nature dans un train roulant à 100 km/h.....	117	Fig. 163 Analyse des expérimentations 5G Transport.....	143
Fig. 137 Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong High speed train.....	118	Fig. 164 Téléport pour interconnecter les avions.....	144
Fig. 138 Les trois latences en communications bout en bout.....	119	Fig. 165 Connectivité en vol par connexion satellitaire.....	144
Fig. 139 Le temps de réaction à une stimulation visuelle, étape par étape.....	119	Fig. 166 Cas d'utilisations de la 5G pour la SNCF.....	145
Fig. 140 Comparaison 4G vs 5G sur la latence moyenne en Corée.....	120	Fig. 167 5GAA - Association de la promotion de la 5G pour le vertical Automotive.....	146
Fig. 141 Exigences V2X de faibles latences.....	120	Fig. 168 Différents types de communication 5G «Vehicle 2 X».....	146
Fig. 142 Quels usages pour l'industrie 4.0 requérant une faible latence?.....	121	Fig. 169 C-V2X, deux protocoles d'équipements à équipements et d'équipements à réseaux.....	147
Fig. 143 Industrie 4.0 - Cas d'usage nécessitant une faible latence.....	121	Fig. 170 C-V2X, aujourd'hui en 4G et demain en 5G.....	147
Fig. 144 Usage de l'Edge Computing par Verizon Media pour offrir de faibles latences.....	122	Fig. 171 Compatibilité arrière C-V2X de la 4G à la 5G.....	147
Fig. 145 IoT : deux mécanismes pour allonger la durée de vie des batteries.....	123	Fig. 172 Expérimentation de véhicules à guidage automatique grâce à la 5G.....	149
Fig. 146 Autonomie des iPhone 11 et 12 en 4G et 5G.....	124	Fig. 173 Casque de réalité étendue.....	150
		Fig. 174 Illustration de l'Industrial Edge Computing.....	151
		Fig. 175 La 5G pour la mobilité industrielle.....	151
		Fig. 176 Comment la 5G transforme la médecine d'urgence.....	152

Fig. 177 Commande à distance d'un tracteur Valtra avec la 5G d'Elisa	154
Fig. 178 Centrale nucléaire de Civaux.....	155
Fig. 179 Smart Grid et 5G	156
Fig. 180 Réseau public d'eau et d'assainissement.....	157
Fig. 181 Verticaux prioritaires en Europe.....	160
Fig. 182 Impacts de la 5G sur les verticaux.....	161
Fig. 183 Méthodologie pour identifier les cas d'usage de la 5G.....	161
Fig. 184 Le MEC en complément du Cloud profond.....	163
Fig. 185 Paysage IT intégrant l'apport de la 5G	164
Fig. 186 Différence d'exigence de latence entre le mouvement et l'image entre AR et VR.....	165
Fig. 187 Disponibilité de la connectivité 5G privée selon les usages.....	166
Fig. 188 Disponibilité de la connectivité 5G public selon les usages	166
Fig. 189 Exigences aux développements des cas d'usage 5G	167
Fig. 190 Les 6 facteurs business de la 5G.....	167
Fig. 191 Capacités de Mozark à tester la connectivité 5G	168
Fig. 192 Liste des services émulsés par l'offre Mozark.....	169
Fig. 193 Capture d'écran de l'application G4lt de Sopra Steria.....	169
Fig. 194 Matrice de priorisation des usages 5G	170
Fig. 195 Écran 270° immersif «The Lab in the bag».....	170
Fig. 196 Enjeux d'exploitabilité de la 5G.....	171

Ouvrage édité par Sopra Steria

6, avenue Kléber – 75116 Paris
www.soprasteria.fr
soprasteria@soprasteria.com

ISBN 978-2-9583081-1-7
Dépot légal : juillet 2022
Imprimé en France SPRINT

Droits réservés © Sopra Steria et Charles Praud, 2022

Toute reproduction des textes publiés dans cet ouvrage
est interdite sans autorisation explicite de Sopra Steria.

La 5G fait régulièrement la une des journaux que cela soit pour nous annoncer une nouvelle prouesse technique, un nouveau déploiement dans le monde, ou éventuellement une menace géopolitique imminente.

On peut dire que l'attente était juste considérable :

- 2200 milliards de dollars dans le monde entre 2020 et 2034, soit 5,3 % de la croissance du PIB mondial sur cette même période¹;
- Des performances 10 fois supérieures à celles de la 4G, quitte à défier d'ailleurs les lois de la physique;
- La digitalisation de tous les secteurs quelles que soient les spécificités de leurs besoins;
- Un levier de compétitivité pour les territoires, les organisations et les entreprises, qui en feront le meilleur usage.

Après trois ans, les bénéfices perçus sont encore bien éloignés des promesses. Pour autant, le meilleur reste à venir et va profondément transformer le paysage numérique de notre société.

Qui aujourd'hui peut élaborer un business plan ou reconsidérer sa stratégie sans en tenir compte ?

Cet ouvrage a pour ambition de comprendre concrètement ce dont nous disposerons, où et quand ce que nous pourrons en faire, afin d'anticiper l'impact que la 5G aura sur notre société, nos métiers, nos produits et nos services.

¹ New GSMA Study: 5G to Account for 15% of Global Mobile Industry by 2025 as 5G Network Launches Accelerate - 25 février 2019.

À propos de Sopra Steria

Sopra Steria, l'un des leaders européens de la Tech reconnu pour ses activités de conseil, de services numériques et d'édition de logiciels, aide ses clients à mener leur transformation digitale et à obtenir des bénéfices concrets et durables. Il apporte une réponse globale aux enjeux de compétitivité des grandes entreprises et organisations, combinant une connaissance approfondie des secteurs d'activité et des technologies innovantes à une approche résolument collaborative. Sopra Steria place l'humain au centre de son action et s'engage auprès de ses clients à tirer le meilleur parti du digital pour construire un avenir positif. Fort de 47000 collaborateurs dans près de 30 pays, le Groupe a réalisé un chiffre d'affaires de 4,7 milliards d'euros en 2021.

The world is how we shape it*