

Comité Stratégique de Filière - Infrastructures Numériques

5G : Stratégie et Enjeux

Livre Blanc

Septembre 2020

Editeurs : Pierre Dubois (Orange), Thierry Evanno (Nokia SA)

Contributeurs : Olivier Audouin, Thierry Evanno, Didier Bourse (Nokia SA), Emmanuel Dotaro (Thales), Guillaume Vivier (Sequans), Gérard Le Bihan (Images et Réseaux), Pierre Dubois, Dominique Nussbaum, Hatefi Atoosa, Rodolphe Legouable, Quentin Fousson et Steve Tsang Kwong U (Orange), Michel Corriou (B-COM), Nadjib Aitsaadi (UVSQ Paris-Saclay)

Relecteurs : Sabrina Saudai (Orange), Thierry Evanno (Nokia SA), Gerard Le Bihan (Images et Réseaux), Nadjib Aitsaadi (UVSQ Paris-Saclay)

Résumé : La 5G n'a jamais été autant au cœur des préoccupations françaises. Les opérateurs mobiles testent actuellement cette nouvelle technologie dans plusieurs grandes villes au travers d'essais grandeur nature avec des équipements prêts pour les déploiements commerciaux. Toutefois, si le déploiement est proche, les enjeux et opportunités restent nombreux : évolution des équipements et déploiement du cœur de réseau autonome « Stand Alone » (SA), tests des solutions de « slicing » avec les « verticaux » de l'énergie, de la santé ou de l'automobile, enjeux nationaux autour de la cybersécurité, effort de recherche autour des évolutions de la 5G et de l'Intelligence Artificielle (IA), inclusion numérique, sobriété énergétique, etc... Ce document évoque, sans se vouloir exhaustif, ces enjeux jugés prioritaires autour de la 5G en France en proposant des éléments de discussions et d'actions ainsi que des recommandations pour les années à venir. La filière infrastructure numérique devra ainsi aider à l'émergence voire à la fiabilisation de ces éléments, comme cela a pu être le cas avec le plan souveraineté télécom.

Contents

1	Introduction.....	3
2	Le slicing et les offres différenciées.....	8
3	Financement de la Recherche et développement	10
3.1	Déploiement de pilotes expérimentaux.....	11
3.2	Le soutien à la R&D 5G et au-delà.....	11
4	La Cyber sécurité	13
4.1	Nouveaux risques, nouvelles exigences : une situation inédite.....	13
4.2	Une question d'intérêt national, européen	14
4.3	Un ensemble de défis.....	15
5	Le déploiement : entre enjeux et contraintes.....	16
5.1	La 5G, une architecture de transition doit être déployée.....	16
5.2	Interface multi vendeurs et interfonctionnement 4G-5G.....	16
5.3	L'introduction d'un nouveau cœur et d'infrastructure virtualisées.....	17
5.4	De nouvelles fréquences et une synchronisation européenne.....	18
5.5	L'introduction des antennes massive MiMo	19
5.6	L'enjeu de la consommation énergétique.....	20
5.7	De nouvelles obligations pour une connectivité renforcée sur le territoire.....	20
6	L'émergence de la bande 26 GHz.....	22
6.1	Un besoin en capacité et l'opportunité des ondes millimétriques	22
6.2	Entre opportunité et contraintes techniques	22
6.3	Des scénarios de déploiements spécifiques.....	23
6.4	Un écosystème déjà mature et une nouvelle opportunité pour les usages verticaux	23
7	Conclusion	24

1 Introduction

La 5G n'a jamais été autant au cœur des préoccupations françaises. Les opérateurs mobiles testent actuellement cette nouvelle technologie dans plusieurs grandes villes (Lille, Marseille, Bordeaux, Paris, ...)⁽¹⁾ au travers d'essais grandeur nature avec des équipements prêts pour les déploiements commerciaux. Dans le même temps, l'Arcep a, tout d'abord, lancé une nouvelle consultation publique ⁽²⁾, puis en novembre 2019, publié les modalités d'attribution de la bande « pionnière » de la 5G (la bande 3,4GHz-3,8GHz) et les obligations pour les futurs candidats. Quatre candidats, Bouygues Telecom, Free Mobile, Orange et SFR ont été qualifiés pour l'attribution de ces fréquences dont les enchères ont été reportées à Septembre 2020, ce report faisant suite à la crise sanitaire COVID19. Les premiers déploiements en France, initialement attendus en 2020, comme le stipulait la décision de l'Arcep (n° 2019 1386) (décision supprimée depuis suite à la crise sanitaire), comme l'a demandé la commission européenne et enfin, comme l'ont annoncé plusieurs opérateurs français ⁽³⁾, pourraient également subir ce décalage. Outre le calendrier de déploiement technologique et ses défis associés, l'arrivée de la 5G pose également de nombreuses questions économiques, sociétales et de cohésion territoriale, notamment autour des usages ⁽⁴⁾.

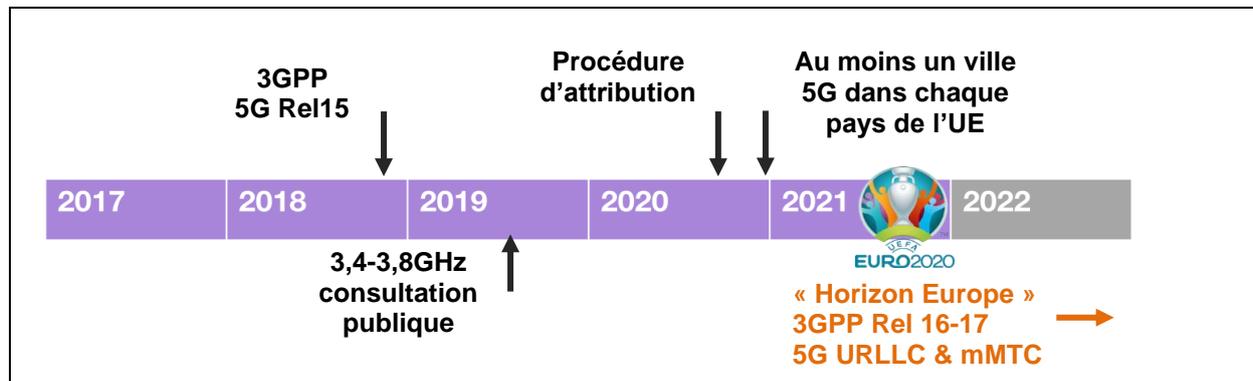


Figure 1: Agenda de la 5G

Si nous sommes proches des premiers déploiements commerciaux, la 5G, telle qu'imaginée et promise pour les dix prochaines années, va encore évoluer pour révolutionner nos quotidiens.

Cette nouvelle génération mobile est destinée, depuis les origines de sa conception jusqu'à la définition de ses capacités attendues par l'UIT dans le cadre de l'IMT 2020, à révolutionner nos usages et notre vie en général. Ses promesses se sont cristallisées autour de 3 classes de services :

- Le très haut débit mobile dans la continuité de la 4G (eMBB - enhanced Mobile Broadband)
- La capacité de supporter un nombre massif d'objets connectés (mMTC - massive Machine Type Communications)
- Les communications critiques à très faible latence et très haute fiabilité (URLLC - Ultra Reliable Low Latency Communications)

¹ <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/experimentations-5g-en-france/tableau-deploiements-5g.html#c17574>

² <https://www.arcep.fr/actualites/les-communiqués-de-presse/detail/n/5g-4.html>

³ <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/experimentations-5g-en-france/tableau-deploiements-5g.html>

⁴ http://www.senat.fr/rap/r18-188/r18-188_mono.html

Derrières ces trois classes de services, se cachent les nouvelles capacités du réseau 5G en devenir. Un réseau 5G qui pourrait ainsi grâce à ses capacités étendues permettre non seulement aux usagers de bénéficier d'un confort d'expérience inégalé (ubiquité - une connectivité performante permanente et en tous lieux) mais aussi de moderniser notre industrie au sens large, (santé, transport, énergie, villes intelligentes, etc.) allant des usines du futur et connectées aux véhicules autonomes ou encore par la chirurgie assistée. La crise sanitaire que nous venons de traverser ainsi que le confinement de 50% de la population mondiale ont montré l'importance de s'appuyer sur des réseaux de télécommunications fiables et performants et ont révélé une aspiration forte à voir émerger une 5G capable de porter l'économie de l'expérience virtuelle ⁽⁵⁾. En décembre 2018, le 3GPP a célébré la finalisation de la release 15, et donc une première version stable de la 5G avec l'introduction d'une nouvelle couche d'accès radio (NR pour « New Radio ») et le pendant dans le réseau cœur : l'introduction du 5GCN (« 5G Core Network ») ou NGCN (« Next Generation Core Network »). Des trois classes de services supposées répondre à toutes les ambitions initiales de la 5G, cette première version se concentre sur le cas d'usage eMBB. La release 16 est en cours de définition depuis 2019 et sera publiée durant le 4^{ème} trimestre 2020 pour apporter véritablement le support des communications critiques (URLLC), tandis que l'aspect mMTC continuera d'être couvert par les évolutions du LTE-M et du NB-IoT, technologies 4G définies dès la release 13.

Ainsi, la « 5G » est loin d'être finalisée : la release 15 se concentre sur l'eMBB, la release 16 traite en priorité les communications critiques, la release 17 (Décembre 2021) apportera de nouvelles fonctionnalités dédiées aux « verticaux ». Des efforts significatifs sont donc encore attendus dans les 5-10 prochaines années en standardisation pour définir une 5G complète, ambitieuse et universelle.

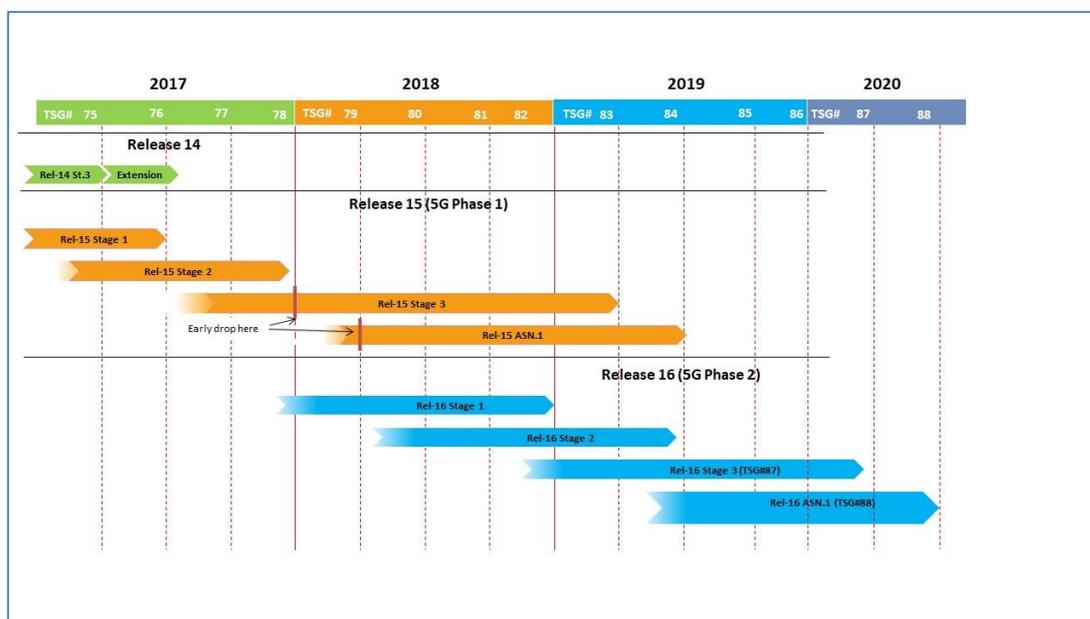


Figure 2: Agenda des versions 5G du 3GPP (6)

⁵ <https://www.ericsson.com/49d4b7/assets/local/reports-papers/consumerlab/reports/2020/global-report-keeping-consumers-connected-16062020.pdf>

⁶ <https://www.3gpp.org/specifications/67-releases>

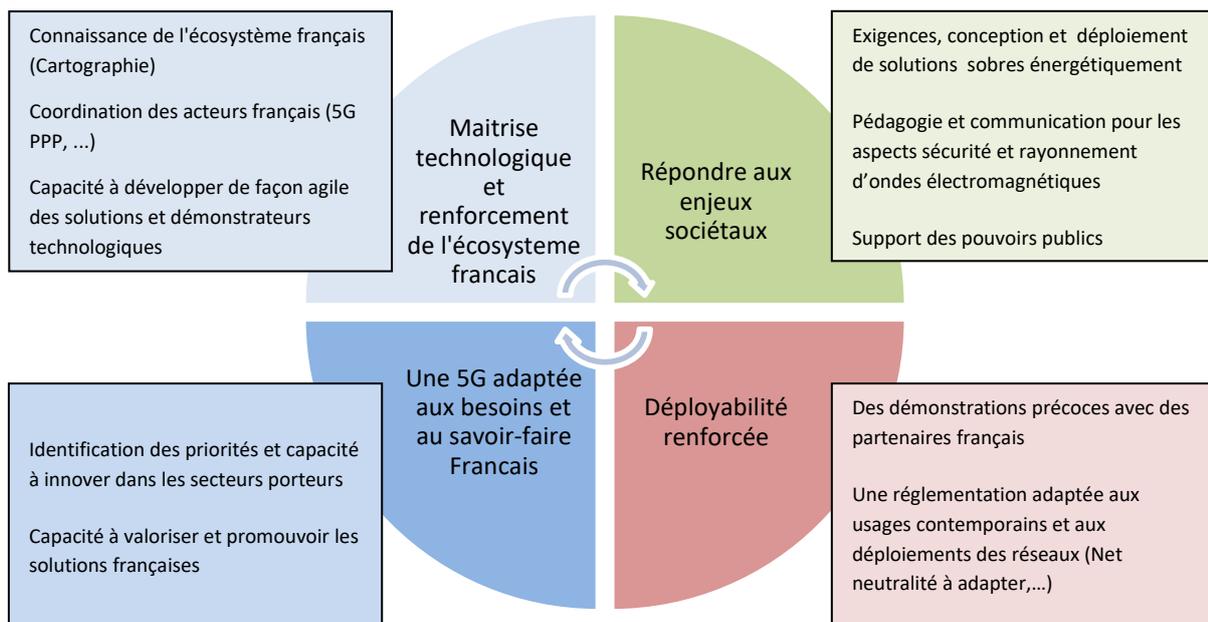
Outre les efforts de standardisation, c'est toute la chaîne d'industrialisation et de valeur (recherche, standard, production des infrastructures, tests, déploiements, nouveaux services, etc.) qui sera mise à contribution autour de la longue conception d'une 5G répondant aux ambitions initiales. La section 3 de ce document reviendra sur les besoins de maintenir, voire de renforcer, les efforts de financements de l'innovation pour continuer à inventer, tester, et déployer la 5G.

Afin de favoriser une France innovante et pionnière de la 5G, à l'instar de ce qu'elle fut pour la 2G, le gouvernement français a lancé en 2013 « La nouvelle France industrielle », dont l'action « recherche 5G » du plan souveraineté télécom, opérationnelle à partir de 2014, a permis une contribution forte d'acteurs industriels et académiques dans la phase de définition de la 5G.

Dans ce contexte, un ensemble de priorités, d'enjeux et d'actions avait été identifié pour faire de la France un haut lieu de la 5G, que ce soit en termes d'innovation et d'usage. Les priorités suivantes avaient alors été évoquées pour la France en termes de compétences à développer, d'opportunités de croissance et de leviers d'innovation :

- **Un réseau devant pouvoir répondre à une multiplicité de besoins incluant les objets et de nouveaux services**
- **Un réseau agile et efficace tirant partie des technologies de virtualisation et de réseaux logiciels (SDN/NFV)**
- **Un réseau offrant une qualité de service améliorée partout et en toute circonstance sous la couverture du réseau.**
- **Un réseau « vert » à faible émission en CO2, à faible coût énergétique et à faible impact sur l'environnement**
- **Une infrastructure sécurisée dans un contexte de virtualisation des fonctions réseaux**
- **Un réseau de transport et de distribution optique capable de supporter les promesses de la 5G**
- **Un réseau mutualisé et convergeant pouvant intégrer les technologies existantes 3GPP (2G/3G/4G) et non 3GPP (WiFi, SigFox, LoRa, etc.) dont l'architecture devra être englobante, mobilisant des technologies fixes/mobiles, réseau/cloud pour arriver à des solutions unifiées**

À partir de ces éléments prioritaires, certains enjeux pour la France ont été identifiés et ont été présentés comme clés.

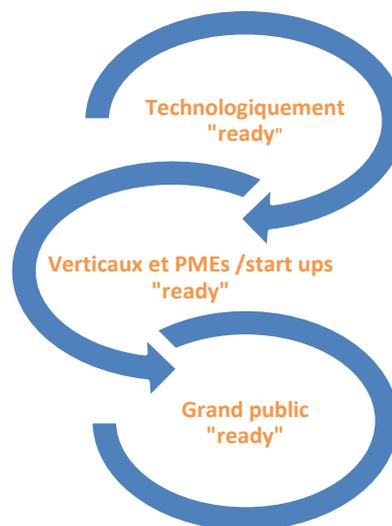


Découlant de ces priorités et enjeux, plusieurs actions initiées par les partenaires de l' « action 5G recherche » ont jalonné ces cinq dernières années :

- Le livre blanc « Analyse, enjeux et recommandations pour la 5G en France » a permis de collecter puis synthétiser les enjeux majeurs pour la France en terme d'enjeux. De ce document plusieurs actions ont pu être initiées.
- Plusieurs journées d'information ont permis d'aborder plusieurs sujets de fonds au sein d'un écosystème riche et concerné : investissement, convergence mobile-satellite, projets ICT 5GPPP, véhicule connectée, évolution du standard 5G, etc.
- Un accompagnement des PME et start-ups françaises lors des appels à projets de la phase 3 du 5GPPP (Horizon Europe) avec un taux de succès national renforcé.
- Plusieurs participations à des consultations publiques : IoT et fréquences 5G.
- L'édition d'une Lettre d'information nationale sur les événements de la 5G pour maintenir le lien au sein de l'écosystème et pour informer.

Ces actions ont permis de rassembler l'écosystème autour d'un projet et d'enjeux communs pendant ces dernières années. Si la 5G est en phase de pré-déploiement l'effort de recherche et d'innovation plus généralement, requiert d'être poursuivi, car la 5G ne remplira pas dans l'immédiat les hautes attentes placées en elle, que ce soit technologiquement ou que ce soit au niveau de son adhésion auprès des verticaux, des PME et startups ou encore auprès du grand public.

Dans un horizon plus court, la France se doit d'accompagner le déploiement de la 5G, haute priorité évoquée il y a déjà 5 ans par les acteurs de la filière, afin de maintenir la France dans les pays leaders maîtrisant cette technologie clef pour l'avenir des réseaux de communication. Cela permettra ainsi de favoriser son usage progressif auprès d'acteurs toujours plus nombreux : villes, industriels, entreprises, transporteurs, sportifs, services de santé,



Pour un déploiement viable de la 5G en France et en Europe, il faut réunir les éléments suivants :

- Un cadre réglementaire favorable
- Des fréquences disponibles, à des coûts raisonnables et un accès facilité à des fréquences pour les expérimentations.
- Des équipements disponibles, que ce soit en termes d'infrastructure, de terminaux ou de composants, mais aussi en termes de solutions logicielles, de slicing et de cyber sécurité.
- Une adhésion auprès des verticaux, start-ups et PME ainsi que du grand public avec l'introduction de nouveaux services et usages.
- De modèles économiques viables avec l'introduction de nouveaux services à valeur ajoutée.
- Un effort de recherche renforcé pour préparer le futur et expérimenter les nouveaux usages et infrastructures.
- Une ambition nationale forte qui visera à répondre à la fois à des enjeux sociétaux telle que l'inclusion numérique et à une volonté de modernisation de l'industrie au sens large.

Dans ce document, sans être exhaustif, nous proposons ainsi de discuter de plusieurs priorités et enjeux qui permettront de poursuivre le travail entrepris et de faire de la France un acteur majeur de la 5G en Europe et dans le monde.

- « Slicing » et opportunités économiques
- Financement de l'innovation
- La cyber sécurité
- Le déploiement : ses enjeux et contraintes, aussi bien sociétaux que technologiques
- Les fréquences
- L'émergence de la bande 26GHz

La filière infrastructure numérique peut et doit aider à l'émergence voire à la fiabilisation de ces éléments, en coordination avec d'autre CSF (par exemple mobilité, sécurité, électronique, etc.) dès lors qu'il y a une volonté de la puissance publique d'avancer ensemble comme cela a pu être le cas avec le plan souveraineté télécom.

Rappelons-le, si la 5G doit répondre aux exigences et espoirs placés en elle concernant la modernisation de l'industrie au sens large (B2B) ainsi que de nos quotidiens (B2C), elle doit aussi faciliter la réponse aux défis de nos sociétés actuelles, tels qu'ils ont pu être énoncés par la commission européenne ⁽⁷⁾, ou tels ceux que nous avons rencontrés lors de la crise sanitaire mondiale du COVID19.

Ce document se focalise principalement sur les nombreux enjeux technologiques qui demeurent pour que la 5G soit au niveau des attentes placées en elle. Il n'en demeure pas moins que les enjeux de nature plus sociétale comme l'inclusion numérique, la question de la sobriété énergétique ou encore de l'acceptabilité, évoquées ici, devront être traitées de manière approfondie par la filière. Les questions environnementales de la 5G sont traitées spécifiquement dans le document « Contribution et éclairage du CSF Infrastructures numériques sur la question environnementale associée au numérique et à la 5G » publié par le CSF infrastructures numériques.

2 Le « slicing » et les offres différenciées

Le « slicing », le fait de réaliser et d'instancier des tranches (des « slices » en l'occurrence), consiste à offrir, d'un point de vue réseau, des ressources quantitatives et qualitatives à la demande pour un utilisateur, un groupe d'utilisateurs ou pour un type de service donné. Un slice ou une tranche pourrait être schématiquement vu comme un sous ensemble d'un réseau ayant une conception, un paramétrage, des règles de fonctionnement (de cyber-sécurité par exemple), et des ressources (y compris spectrales) propres à lui-même. À cela on pourrait bien évidemment ajouter la notion de modèle économique (« business model ») et de monétisation propre à chaque slice ou groupe de slices.

La réalisation et la gestion de ces slices est perçue comme une opportunité de modernisation de l'industrie au sens large en lui permettant d'accéder à des services sur mesure (gestion de flottes de robots dans les usines, gestion des réseaux de transports d'énergie, etc.), mais aussi comme la possibilité de créer des offres sur mesure à forte valeur ajoutée pour l'ensemble des utilisateurs, qu'ils soient des entreprises ou non. Avec le découpage en slices, les opérateurs et les entreprises seront en mesure de répondre précisément aux besoins spécifiques de différents segments de clients.

La fonctionnalité de « network slicing » ou « découpage en tranches » du réseau, va ainsi permettre aux opérateurs de réseaux mobiles d'offrir des ressources dédiées à la demande grâce à l'utilisation de réseaux virtuels sur une ou plusieurs infrastructures de réseau physique.

Le nombre de slices et la durée de vie de ces instances de réseau vont augmenter de manière très significative dans les prochaines années, nécessitant ainsi une réponse à des enjeux de cohabitation.

Ce mécanisme est clé pour la monétisation de la 5G, permettant de rentabiliser les investissements des opérateurs pour l'obtention des fréquences et pour le déploiement des nouvelles infrastructures, et pour la création de valeur de manière générale pour l'ensemble des filières industrielles. Selon une récente étude réalisée par ABI Research 2019 ⁽⁸⁾, le découpage de réseau et les offres sur mesure

⁷ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blog/speech-roberto-viola-director-general-dg-connect-european-commission>

⁸ <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1032422-wireless-connectivity-technology-segmentat/>

généreront une valeur d'environ 26 milliards de dollars pour les secteurs verticaux de l'entreprise, notamment la fabrication, la logistique et le transport, d'ici 2026. Par exemple, grâce au découpage du réseau en tranches, les opérateurs pourraient monétiser une partie de la bande passante spectrale accessible par une solution d'accès fixe 5G à la maison sur certaines zones en permettant aux télédiffuseurs d'offrir la diffusion en direct de programmes TV sur un accès 5G. Cette même ressource spectrale pourrait être dédiée pour des utilisations sur mesure dans des usines entièrement connectées. De manière générale, cette vision du réseau en tranche de service pourrait permettre l'émergence de nouveaux modèles économiques et acteurs.

Trois types de slices (tranches) peuvent être considérés : eMBB (enhanced Mobile Broadband), mMTC (massive Machine type of Communications) et URLLC (Ultra Reliable Low Latency communications). La disponibilité pour des usages commerciaux dépendra de la stratégie des fournisseurs de services ainsi que des fréquences et largeurs de bande qu'ils auront acquises pour la 5G. Par exemple, un usage URLLC comme la conduite de véhicules assistée demandera une conception et un paramétrage sur mesure du sous-réseau (slice/tranche) pour couvrir les canyons urbains ou les autoroutes. Les usages Internet des Objets mMTC dépendent de la transition des réseaux alternatifs vers la 5G avec l'essaimage d'objets connectés 5G. Les capacités et usages de l'ultra haut débit eMBB dépendra de la bande passante allouée à chaque opérateur.

Les slices doivent être vus également comme des ensembles et sous-ensembles. Par exemple le slice eMBB peut être composé lui-même de plusieurs sous slices pour des services particuliers comme la vidéo surveillance en direct et de haute qualité qui nécessite des ressources spécifiques (débit dans la voie montante important et sécurisé). À la manière des poupées russes, le champ des possibles est infini tant que la capacité des réseaux virtuels et physiques le permet. Alors qu'un réseau unique sera capable d'opérer simultanément ces slices, il faut préciser qu'au niveau des terminaux, il y a aura toujours plusieurs types de récepteur : en effet un modem conçu pour le haut débit (eMBB) ne pourra pas offrir les caractéristiques par exemple en consommation d'un modem conçu pour un objet connecté (eMTC).

Comment proposer ces offres différenciées ?

Les réseaux 5G seront, à terme, en mesure de prendre en charge des exigences diverses et extrêmes en matière de latence, de débit, de capacité et de disponibilité. Le « slicing » 5G, permettra une multitude de services irréalisables avec les technologies sans fil antérieures. Mais pour libérer tout ce potentiel, et pour pouvoir l'offrir de manière dynamique et contrôlée, les opérateurs de connectivité et les fournisseurs de services doivent adopter une approche de bout-en-bout dans la transformation des réseaux.

En effet, outre la maîtrise technique des compétences réseaux dites classiques (débit, latence, couverture, etc.), il faudra être capable d'instancier les services, de réserver les ressources réseaux, de contrôler, puis de facturer ces services d'un point de vue bout-en-bout et de manière très dynamique. Cette seconde partie ne peut se faire qu'au travers de systèmes complexes virtualisés dans les organismes 3GPP ou ETSI. La maîtrise des systèmes de gestion (hyperviseurs, gestionnaires d'infrastructures virtualisées, orchestrateurs, etc.), des environnements d'intégration continue et des outils de déploiements automatisés devient donc un enjeu technologique pour les acteurs du numérique (académiques et industriels) mais également un enjeu de souveraineté pour la France et

l'Europe. Il est à noter que la mise en place d'offres de slicing de bout-en-bout dans les réseaux 5G ne pourra se faire sans le déploiement de réseaux cœur 5G qui ne seront probablement pas déployés immédiatement du fait du décalage des spécifications 3GPP (5G Standalone). La maîtrise technologique de la 5G et du slicing de bout en bout est donc un enjeu national fort, d'autant plus si l'on considère que certains services de type PMR (Professional Mobile Radio) (services dédiés pour la police, gendarmerie, etc.) pourraient être supportés par la 5G et le slicing.

Si la mise en place d'offres de service et de réseaux sur mesure repose sur plusieurs enjeux technologiques majeurs, il ne faut pas négliger ceux liés à l'adoption de ces services par l'industrie et par le grand public. En effet, le cercle vertueux qui permettra l'émergence et la démocratisation des services innovants, repose sur la prise en compte des besoins actuels de l'industrie au sens large (santé, usines 4.0, énergie, media, mobilité, économie virtuelle, etc.), sur la capacité des opérateurs à proposer et à anticiper des services (et des modèles d'abonnement) adéquats en phase avec ces besoins et enfin une adhérence de l'industrie à ces services.

Le slicing tel qu'envisagé comme outils au service de l'industrie et du grand public est en cours de développement. Les premières solutions standardisées arrivent alors que d'autres sont en cours d'étude. Avant une adoption par l'industrie de nouveaux services différenciés et sur mesure via le slicing, plusieurs étapes sont encore à franchir :

- **Déploiement et maîtrise par les opérateurs de solutions de bout-en-bout virtualisées**
- **Déploiement du nouveau réseau cœur 5G**
- **Standardisation des classes de services URLLC, voire mMTC et le développement des produits**
- **Définition d'un cadre réglementaire pour la mise en place de services spécifiques dit « critiques » (médecine à distance, véhicule connecté, etc.)**
- **Adoption par l'écosystème de ces nouvelles capacités réseau et développement de nouveaux services à valeurs ajoutées.**

L'enjeu pour l'écosystème français est donc de préparer au mieux la mise en place de solution de slicing de bout-en-bout au travers de plateformes et d'expérimentations en France avec des acteurs variés (opérateurs, équipementiers, start-up et PME, académiques, groupes industriels de filières différentes) pour tester des services innovants de 5^{ème} génération ⁽⁹⁾ comme c'est le cas à Rennes et Lannion avec le projet SENDATE⁽¹⁰⁾ et 5G EVE ⁽¹¹⁾ ou à Le Vaudreuil avec Schneider Electric, Orange et Nokia.

3 Financement de la Recherche et Développement

Concernant la R&D deux priorités de financement sont essentielles pour supporter les acteurs nationaux en leaders des technologies et des offres commerciales 5G :

- Le déploiement de pilotes expérimentaux permettant de tester les nouveaux usages sur les plans tant technique qu'opérationnel,
- Le soutien à la R&D pour continuer d'améliorer équipements, fonctionnalités et performances de la 5G dont tous les objectifs ne sont pas encore atteints dans les versions standardisées aujourd'hui, et, sur le long terme, pour préparer le futur après la 5G.

⁹ <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/experimentations-5g-en-france/tableau-deploiements-5g.html#c17577>

¹⁰ <https://www.celticnext.eu/project-sendate/>

¹¹ <https://5g-ppp.eu/5g-eve/>

3.1 Déploiement de pilotes expérimentaux

Ces pilotes ont vocation à accélérer le développement des usages de la 5G dans divers secteurs verticaux : transport connectés, industrie 4.0, énergie, santé, agriculture, etc. Ils doivent permettre la validation des solutions techniques, de l'interopérabilité, des performances. Ils doivent également aider les acteurs à appréhender les modes de partage de l'infrastructure entre une pluralité d'opérateurs de services ; à expérimenter le « slicing », et la virtualisation du réseau de bout-en-bout ; enfin ces pilotes permettront de valider les possibles modèles d'administration et les modèles économiques associés. Ces plateformes doivent être ouvertes, permettant par exemple à des PME de venir expérimenter de nouveaux usages, ou de proposer leurs briques technologiques aux utilisateurs. Des slices spécifiques pourraient être réservés à des expérimentations à caractère plus exploratoire utilisant des prototypes de recherche. Des enjeux clefs doivent être cependant résolus, pour lesquels les pouvoirs publics ont un rôle déterminant.

En premier lieu celui du modèle économique des plateformes, qui nécessitera de trouver le bon équilibre entre un financement public qui soit incitatif, une part privée en provenance à la fois des acteurs déployant la plateforme et les acteurs l'utilisant. Les investissements nationaux doivent venir compléter ceux déjà initiés au niveau européen dans le cadre des futurs programmes Horizon Europe à la suite du programme H2020 5G PPP dans le but de consolider et pérenniser ces plateformes pour la 5G et au-delà. Le CSF infrastructure numérique en définissant des priorités pourra aider en ce sens.

Le second enjeu est celui des fréquences, avec le besoin de disposer de fréquences pour les expérimentations s'inscrivant dans la durée, avec une visibilité sur leur pérennité. En outre une souplesse d'allocation des fréquences expérimentales est souhaitable, pour permettre de s'adapter aux besoins des différents usages qui se présenteront (par exemple les contraintes de localisation de l'expérimentation ne sont pas les mêmes entre une expérimentation de véhicules connectés sur route ouverte et une expérimentation sur un site industriel, ou le déploiement temporaire de « bulles » 4G/5G sur des zones sans infrastructures, suite par exemple à un événement climatique d'envergure). Enfin, pour les plateformes se basant sur des équipements pré-commerciaux, il sera essentiel de prévoir l'évolution des équipements déployés à l'issue des expérimentations, en établissant par exemple un plan de transfert vers des opérateurs commerciaux.

3.2 Le soutien à la R&D 5G et au-delà

Alors que le programme Européen H2020 5G PPP a vu ses derniers appels se clôturer en juin 2020, un programme « smart network and services » devrait faire partie du programme successeur Horizon Europe (2021-2027), supportant la poursuite de la R&I pour des infrastructures de communication « 5G et au-delà 6G » dont les performances, la fiabilité et la flexibilité sera à même de favoriser l'émergence d'applications dans de nombreux secteurs verticaux ⁽¹²⁾. La plateforme Technologique Européenne networkd 2020 a défini son agenda stratégique 2021-2027 en matière de recherche et innovation ⁽¹³⁾. Les réseaux intelligents du futur feront massivement appel aux technologies du logiciel et de l'intelligence artificielle et proposeront des services allant bien au-delà de la connectivité. Le

¹² https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/02/5G-IA-Position-Paper-Smart-Networks-and-Services_Horizon-Europe.pdf

¹³ https://bscw.5g-ppp.eu/pub/bscw.cgi/d356802/Smart-Networks-in-the-context-of-NGI_SRIA-public-1.1.pdf

document décrit les nombreux défis restant à résoudre pour une infrastructure combinant connectivité intelligente, analyse de données exploitant intelligence artificielle et apprentissage, traitement distribué haute performance et cyber-sécurité afin de répondre aux exigences des différents secteurs économiques et sociétaux. Les domaines de recherches nécessaires couvrent l'architecture et le contrôle des réseaux, les technologies radio et le traitement de signal, les réseaux optiques, le edge computing, la sécurité, les communications satellites, etc. Les associations 5G Infrastructure Association (5G IA) et Alliance for Internet of Things Innovation Association (AIOTI) ont publié un document identifiant les sujets de recherche et innovation dans la perspective d'Horizon Europe ⁽¹⁴⁾, en partant d'un point de vue sur les usages et applications.

Il est indispensable que les acteurs français se saisissent de ces sujets, le CSF infrastructure numérique y contribuera en organisant sessions d'informations, de réseautage et d'émergence de projets.

L'ampleur des sujets d'investigation milite pour la mobilisation de cadres de recherche collaborative complémentaires à H2020. Le cluster EUREKA CELTIC permet la mise en place de projets flagship structurants multi nationaux, avec en particulier un fort axe collaboratif Franco-Allemand, qui ont fait la preuve de leur capacité d'impacts industriels (confère les projets 100GET, SASER, SENDATE). **Le CSF Infrastructures Numériques préconise la mise en place d'un projet flagship sur l'enjeu clef de l'automatisation des réseaux traitant des grandes problématiques suivantes : reconfiguration autonomes des réseaux utilisant les technologies de réseau défini par logiciel (SDN), automatisation de bout-en-bout des réseaux, éléments de réseaux flexibles et sécurisés, systèmes optiques et systèmes d'accès intégrés fiables.** De nombreuses autorités publiques ont montré leur intérêt pour le financement d'un tel projet : Allemagne, Finlande, Suède et Pays Bas. Il est impératif que la France se joigne au financement de ce projet, sous peine de voir ses acteurs nationaux marginalisés faute d'avoir pu participer à cette initiative pan Européenne majeure. Aujourd'hui les instruments de financements nationaux ne paraissent pas adaptés au développement de tels projets.

Le Programme d'Investissement d'Avenir (PIA) est également un dispositif vertueux de co-investissement privé-public. Plusieurs Instituts de Recherche Technologiques (b<>com, SystemX, Saint-Exupéry, NanoElec) ont mené avec le soutien de leurs membres des projets de Recherche & Innovation sur les technologies cœur de la 5G. Par leur mission de transfert vers l'industrie, les IRTs peuvent dès maintenant être un vecteur essentiel de l'appropriation de la 5G par les verticales.

Enfin, les pôles de compétitivités (Systematic qui dans le cadre de sa phase 4 a constitué un « hub » technologique « Digital infrastructure & IoT », Images et Réseaux, SCS, qui pourront avantageusement travailler avec des pôles représentant les utilisateurs verticaux tels que MOVEO pour le transport ou MEDICEN pour la santé, EMC2 pour les campus industriels) sont structurants pour mobiliser leurs écosystèmes sur ces grands enjeux techniques et économiques. Cette mobilisation ne se fera pas sans la pérennisation de financements de projets collaboratifs nationaux sur ces sujets, ANR sur les sujets plus amonts, PSPC région et PSPC sur les sujets plus proches du marché. Au-delà de ces instruments génériques, le CSF Infrastructures Numériques est favorable à l'émergence d'instruments spécifiques aux thématiques et mécanismes de financement adaptés à son contexte industriel, « grand défi 5G », ou autres, et est prêt à poursuivre les discussions avec le gouvernement sur ce sujet.

¹⁴ <https://bscw.5g-ppp.eu/pub/bscw.cgi/d323197/5G%20IA%20-%20AIOTI%20Common%20Topics%20190930%20Web.pdf>

Le 3GPP, notamment via les groupes de travail Technical Specification Group Services and System Aspects (SA1 et SA2), continue pour la Release 17 les études sur l'adéquation des services de communication 5G aux cas d'utilisation des verticales comme les applications médicales, les communications Véhicule à Infrastructure, les accès satellite, etc. Après les études d'architecture et de services, des exigences détaillées sont produites et traitées par les groupes de spécification technique, principalement pour l'accès radio (groupes RAN) et le réseau cœur (groupes CT). L'effort de R&D au niveau de la normalisation se poursuit ainsi au niveau mondial et tend même à s'accélérer. Il faut absolument maintenir voire augmenter une présence et une contribution significative française dans ces organes de normalisation afin de garantir à l'avenir un minimum de souveraineté dans la définition des technologies à venir.

Pour un déploiement viable et pérenne de la 5G en France et en Europe et pour que la 5G satisfasse à terme les ambitions socio-économiques de modernisation (santé, ville connectée, industrie 4.0, etc.) établies, maintenir un effort de recherche significatif paraît primordial, pour :

- **Le déploiement de pilotes expérimentaux (via l'utilisation de plateformes pérennes) permettant de tester les nouveaux usages sur les plans tant techniques qu'opérationnels ou économiques. Deux enjeux y sont adossés :**
 - **Le modèle économique des plateformes constitué d'un bon équilibre entre un financement public qui soit incitatif et une part privée.**
 - **Le second enjeu est celui des fréquences, avec le besoin de disposer de fréquences pour les expérimentations s'inscrivant dans la durée, avec une visibilité sur leur pérennité.**
- **Continuer d'améliorer fonctionnalités et performances de la 5G dont tous les objectifs ne sont pas encore atteints dans les versions standardisées aujourd'hui, et, sur le long terme, pour préparer l'au-delà de la 5G :**
 - **De grands programmes européens ou nationaux ainsi que la création de projets Flagship pourront aller dans ce sens et sont grandement nécessaires.**
 - **Une présence Française significative dans les organismes de standardisation et de normalisation internationaux en particulier au 3GPP paraît fondamentale pour l'équilibre international et pour préserver les intérêts de souveraineté nationale.**

4 La Cyber sécurité

4.1 Nouveaux risques, nouvelles exigences : une situation inédite

La 5G n'est pas seulement un réseau, ou même une radio plus performante, la cybersécurité constitue l'une de ses composantes fondatrices. Les ambitions en termes de cybersécurité sont la résultante directe des usages ciblés. Considérée comme la fondation de la transformation numérique, la 5G doit supporter des cas d'usages définis pour un grand nombre de secteurs verticaux. Chacun d'entre eux impose son lot d'exigences portant la sécurité dans une dimension inédite et une grande diversité de niveaux ciblés. Il s'agit bien d'être plus résistant et robuste pour des missions d'importance vitale que pour les données produites par une brosse à dent connectée. Il est donc primordial d'envisager la question de la cybersécurité (et plus généralement de la résilience) de la 5G dans un périmètre d'usages dépassant radicalement les exigences connues pour les réseaux antérieurs.

Outre la diversité des niveaux de sécurité requis, la cybersécurité de la 5G est impactée par l'évolution des modes de consommation de services au dépend de la propriété de produits ou systèmes. Comme

dans de nombreux aspects de nos vies, la 5G permettra cette correspondance entre des besoins éphémères et la consommation des services numériques. Elle est pour cela, comme auparavant le « cloud », orientée service, ce qui se traduit par une instabilité permanente des configurations et donc la nécessité de déployer les différentes fonctions de cybersécurité dans une dynamique identique.

Si dans un premier temps les déploiements de la 5G se font dans des architectures de type « non autonome » (« Non Stand Alone » (NSA)), pour des services de type eMBB, l'analyse des risques restera relativement classique. Les évolutions vers des déploiements de type « autonome » (« Stand Alone » (SA)) et la mise en place des fonctions de slicing dynamique échangeront radicalement le paysage des risques Cyber. Les vulnérabilités induites par la virtualisation (« Network Function Virtualization »(NFV)), les cycles de vie logiciels, les dynamiques et l'intelligence d'orchestration, la cloudification (« Service Based Architecture »(SBA)), les architectures distribuées (« Multiaccess Edge Computing » (MEC)), les « slices » isolées sur des infrastructures mutualisées, l'intégration de l'IoT (industriel et grand public) ont considérablement augmenté la surface d'attaque. A cette complexité, la sécurité n'ayant de sens que de bout-en-bout, il faut ajouter la combinatoire horizontale des segments (Radio, Cœur, transports, interconnexion) et l'intégration verticale des couches physiques aux slices de services.

4.2 Une question d'intérêt national, européen

Avec la 5G, les impacts potentiels d'attaques Cyber sont tels qu'il s'agit bien d'un problème d'intérêt national posant en toile de fond la question de l'autonomie numérique. Si la sécurité de la 5G pourrait être perçue comme universelle, elle est dépendante des valeurs éthiques et juridiques du paysage géopolitique. Les protections de la vie privée, tel que le RGPD (Règlement général sur la protection des données), et de la propriété intellectuelle sont en Europe élevées à des niveaux encore inconnus ailleurs. Ces variations, ainsi que les enjeux et risques décrits plus haut nous ont amenés à un contexte de régulation européen et national encore en gestation.

Suite à la demande du conseil européen, la commission européenne a produit un premier document de recommandations ⁽¹⁵⁾ en mars 2019. Ce document introduit plusieurs messages dimensionnant pour la cybersécurité de la 5G. En premier lieu, la reconnaissance du rôle essentiel, stratégique des infrastructures 5G et du besoin de préserver la souveraineté européenne. Il confirme clairement le pouvoir des autorités de régulation des états membres. Si les aspects techniques dont le maintien en conditions de sécurité sont abordés, d'autres facteurs de risques sont couverts dont l'ingérence de pays tiers.

Les états membres ont été sollicités pour livrer leurs analyses de sécurité ⁽¹⁶⁾ qui a donc fait l'objet de la publication rapport en octobre 2019. Ce rapport a été suivi en novembre de la même année par un document ⁽¹⁷⁾ de l'Agence pour la cybersécurité de l'Union Européenne (ENISA) qui énumère un certain nombre de risques afférents à la 5G. Ce dernier document permet notamment de dériver les risques sur les différents composants techniques et architecturaux de la 5G tels qu'évoqués rapidement au paragraphe précédent.

¹⁵ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/cybersecurity-5g-networks>

¹⁶ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6049

¹⁷ <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-for-5g-networks>

Ces analyses ont amené à un pas supplémentaire avec la publication fin janvier 2020 d'une « tool box »⁽¹⁸⁾ consistant un point de départ pour l'atténuation des risques. Outre la confirmation du rôle des états membres dans sa mise en œuvre, le document stipule différentes mesures et directions. Parmi celle-ci l'identification de trois phases (design, déploiement, opérations) devant être considérées en termes de cybersécurité ou encore une politique d'achat diversifiant les fournisseurs ne pas avoir de dépendances excessives.

4.3 Un ensemble de défis

De façon directe ou par leur application dans le contexte 5G, un nombre substantiel de questions de cybersécurité restent ouvertes et doivent être adressées au risque sinon de bloquer les développements de la 5G ou pire de mettre à risque des intérêts vitaux.

- Maîtrise des cycles de vie des logiciels (chaîne d'approvisionnement, intégrité, mise à jour,...)
- Déploiement, orchestration des fonctions de protection virtualisées
- Déploiement, orchestration des fonctions virtualisées de détection d'attaques
- Développement et intégration de sécurité sous forme de service
- Recherche et Développement de solution de quantification de la sécurité (QoSec, SLA) permettant un usage approprié et en connaissance des services 5G. Standardisation d'APIs ouvertes intégrant les cibles et attributs de sécurité des services mis en œuvre.
- Recherche et Développement de méthodologies de certification des systèmes complexes et services. Développement des standards nécessaires.
- Recherche et Développement de solution de gestion des identités et droits de bout-en-bout dans des architectures hybrides public/privé, 3GPP/non-3GPP. Application aux solutions de roaming/interconnexion même à grandes vitesses.
- Recherche et Développement de solutions innovantes de remédiation basées notamment sur la flexibilité des systèmes et de leur automatisation.
- Renforcement des sécurités physiques (radio, optique)
- Recherche et Développement de solutions d'évaluation des conditions de sécurité en continu
- Maîtrise de l'introduction des technologies de l'intelligence artificielle dans le contrôle et la gestion de la 5G
- Maîtrise des données spécifiques (géolocalisation, usages,...) produites par la 5G dans le respect de la vie privée.
- Recherche et Développement de solutions d'interceptions légales adaptées à la 5G
- Problématiques de responsabilités et archivage (liabilities, forensic)
- ...

Les déploiements progressifs de la 5G sont fortement dépendants des conditions de sécurité offertes. Au-delà des risques et de la complexité, la cybersécurité est source :

- **D'accélération de la transformation numérique**
- **D'attractivité de l'infrastructure numérique**
- **De développement économique de « pure players » et fournisseurs de service de sécurité**
- **De différenciateurs compétitifs**

¹⁸ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/cybersecurity-5g-networks-eu-toolbox-risk-mitigating-measures>

La 5G mérite donc une stratégie de développement concomitant de sa cybersécurité. Si la sécurisation des composants matériels et logiciels est indispensable, elle demeure relativement classique. A contrario, le développement d'un contexte où les utilisateurs bénéficieraient d'une cybersécurité évaluée et quantifiée, de solutions automatisées intelligentes (AI-based Software Defined Security) ou encore de l'agilité de la délivrance de la cybersécurité sous forme de services répondrait à nombre de besoins identifiés de la 5G tout en étant source de forte valeur ajoutée.

5 Le déploiement : entre enjeux et contraintes

Comme cela avait été évoqué lors du premier livre blanc (white paper, 2015) du groupe 5G souveraineté télécom, plusieurs types d'enjeux et contraintes existent lors du déploiement d'une nouvelle génération mobile. La 5^{ème} génération ne fait pas défaut à cette règle. En effet, en plus d'être déployée sur un réseau 2G/3G/4G existant cette génération s'accompagne de changements technologiques majeurs à appréhender : introduction d'un réseau cœur 5G sur une architecture 2G/3G/4G/5G existante, les antennes Massive MiMo (Multiple inputs Multiple outputs), la virtualisation des réseaux, l'utilisation de fréquences radioélectriques plus « hautes » que les générations précédentes, etc.

Si les contraintes de déploiement peuvent être de différentes natures (économique, technique, opérationnelle, réglementaire ou encore sociétale), cette partie du document ne peut se vouloir exhaustive, et donc, il est proposé d'aborder ici les aspects techniques et architecturaux ainsi que leurs incidences sur l'aspect opérationnel. Seront également abordées les questions relatives à la régulation et aux fréquences.

5.1 La 5G, une architecture de transition doit être déployée

Aujourd'hui, les opérateurs ont l'intention de déployer la 5G afin d'améliorer considérablement l'expérience des utilisateurs et de générer une nouvelle création de valeur au travers de nouveaux services et de nouvelles offres.

Comme expliqué dans la section précédente, la 5G arrive alors que la 4G est encore déployée sur notre territoire. Se pose donc la question de la coexistence et de l'interfonctionnement de ces systèmes, tant d'un point de vue architecture réseau que d'un point de vue opérationnel.

Les offres initiales de 5G seront nécessairement étroitement associées aux réseaux 4G afin d'accélérer les délais de mise sur le marché, ce qui soulève la question de savoir si un nouveau fournisseur peut être introduit pour faire évoluer les réseaux existants avec la 5G, sans l'assistance importante d'un fournisseur en place ce qui pourrait avoir un impact significatif sur l'opération du réseau mobile, sur ses performances et sur l'expérience utilisateur résultante.

5.2 Interface multi vendeurs et interfonctionnement 4G-5G

Au travers de tests multi-vendeurs, il a été montré qu'il est effectivement possible d'interconnecter un réseau 4G d'un vendeur A avec un réseau 5G d'un vendeur B. Les deux couches étant reliées via une connexion logique appelée X2, cela permet une connectivité « double » simultanée entre les radios LTE et 5G. Les opérateurs pourraient alors choisir leur fournisseur 5G, indépendamment de leurs fournisseurs existants, sans aucune pénalité en termes de délai de commercialisation ni de

performances. Néanmoins, si cette connexion X2 spécifiée par les protocoles 3GPP a été testée, l'interfonctionnement LTE et 5G-NR entre deux fournisseurs différents reste encore difficile en raison de la prévalence d'implémentations spécifiques à chaque fournisseur, d'où la nécessité de tester régulièrement les versions afin de garantir les performances souhaitées. Les travaux des groupes internationaux de standardisation tels qu'ORAN ⁽¹⁹⁾ constituent un enjeu pour aller vers plus d'ouverture des interfaces, une plus grande interopérabilité entre les différents éléments de réseaux et donc vers une plus grande flexibilité dans les offres que pourront proposer les opérateurs de connectivité et de services.

Cette question de réseau multi-vendeurs pour un opérateur donné se pose d'autant plus que la première phase de 5G-NR (Nouvelle Radio) sera déployée en 2020 avec une architecture de transition dite « non autonome » (NSA), qui associe les couches radio 4G (LTE) et 5G (NR) pour prendre en charge les débits de données de pointe élevés.

En revanche, les architectures autonomes SA ne sont pas limitées de cette manière et permettront le découplage complet des couches 4G et 5G. Cette architecture SA pourra être déployée à grande échelle au plus tôt à partir de 2022/2023 et devrait coïncider avec l'arrivée du cœur « 5GCN » (5G Core Network) pour ainsi offrir une plus grande flexibilité possible dans les déploiements 5G et la capacité à prendre en charge une grande variété de nouveaux cas d'utilisation et de création de valeur.

La migration vers une architecture SA posera toutefois plusieurs défis aux opérateurs. Selon la quantité de spectre obtenu par un opérateur donné en 5G et selon ce qu'il possède déjà en 4G, si l'expérience globale utilisateur devrait être bien meilleure (en terme de latence notamment) au moment du passage vers la 5G autonome, le débit maximum constaté devrait lui baisser temporairement. En effet l'expérience NSA va permettre de combiner les débits 4G et 5G pratiquement dès le lancement alors que l'expérience SA se limitera au spectre 5G existant.

Cette potentielle baisse de l'expérience client devrait pousser les opérateurs à réutiliser leur spectre « legacy » plus rapidement que ce ne fut le cas lors de l'arrivée de la 4G.

Du fait de la grande flexibilité de sa couche physique et de sa proximité avec la 4G, le groupe de standardisation 3GPP a développé la fonctionnalité « Dynamic Spectrum Sharing » (DSS), qui permettra aux opérateurs de réallouer progressivement et dynamiquement leur spectre 4G vers la 5G en fonction de leurs intentions marketing business ou techniques, et de la pénétration des terminaux 5G dans le parc. Cette solution pourrait permettre aux opérateurs de limiter l'impact de la transition d'architecture NSA vers SA auprès des clients.

5.3 L'introduction d'un nouveau cœur et d'infrastructure virtualisées

L'introduction de la 5G va se faire en plusieurs étapes. L'introduction d'un nouveau réseau cœur 5GC représente des challenges pour tout l'écosystème. Ce réseau cœur 5GC est basé sur une architecture de type micro-services et nécessite une refonte du système avec l'introduction de nouveaux nœuds fonctionnels, et l'utilisation de nouveaux protocoles tels que HTTP2. Le défi réside d'un côté dans l'implémentation et le test de ces micro-services, et de l'autre côté dans leur interopérabilité en environnement multi-constructeurs et multi-opérateurs, tout ceci dans le but d'offrir un service réseau à la fois performant et sécurisé. L'intégration de ce nouveau cœur 5GC et sa coexistence avec les

¹⁹ <https://www.o-ran.org/>

réseaux existants (2G, 3G et 4G) constitue aussi une étape clé pour assurer une continuité de service à travers les différents systèmes. Le réseau cœur 5GC est aussi nécessairement virtualisé, permettant le développement de fonctionnalités telles que le network slicing, et nécessite donc la mise en place d'infrastructures virtualisées. Il est donc indispensable de maîtriser chaque élément d'un environnement virtualisé (à la fois pour les équipementiers et les opérateurs) : l'infrastructure virtualisée en elle-même et la gestion de celle-ci via les orchestrateurs et contrôleurs tels que ONAP (Open Networking Automation Platform) ⁽²⁰⁾, OSM (Open Source MANO), Kubernetes (K8S), FlexRAN, OAI (Open Air Interface) ⁽²¹⁾, etc.

5.4 De nouvelles fréquences et une synchronisation européenne

La bande pionnière pour la 5G, qui constitue la base des déploiements de type macro cellulaires, est comprise entre 3,4 et 3,8 GHz pour une large partie de l'écosystème mondial. Cette bande devrait logiquement, et les conditions d'allocation définis par l'Arcep ⁽²²⁾ tendent à le confirmer, fournir la couche principale de performance et de capacité de la 5G. Les bandes LTE traditionnelles, à fortiori la bande 700 MHz, récemment allouée, pourront également être utilisées pour la 5G, notamment pour améliorer la couverture qui reste limitée dans le sens montant à ces fréquences (3,5 GHz).

Les bandes dites millimétriques, dont une partie de la bande de spectre se situe entre 24,25 - 27,5 GHz (en Europe), pourront également être ciblées pour un accès fixe sans fil ou potentiellement pour des cas d'usages en mobilité. Une partie de la bande appelée « 26GHz » a déjà été allouée aux acteurs dans plusieurs pays d'Europe, et la bande « 28 GHz » en Asie et aux US.

La coexistence du spectre, comme pour toute technologie radio, reste un défi en 5G et conduit dans la très grande majorité des cas à des contraintes de déploiements fortes. En particulier, le fonctionnement dans la bande 3,4-3,8 GHz s'accompagne des scénarios de coexistence suivants:

- Scénarios de coexistence avec les bandes adjacentes:
 - dans certains pays, avec les systèmes radar fonctionnant au-dessous de 3,4 GHz : afin d'assurer la coexistence, des bandes de garde d'environ 10-20 MHz seraient nécessaires.
 - avec les systèmes du « Service Fixe par Satellite » (SFS) à 3,8-4,2 GHz : il existe un besoin potentiel de zones de coordination autour des stations terriennes du SFS en fonction des caractéristiques d'émission hors bande de l'AAS BS.
- Dans certains pays, scénarios de coexistence à l'intérieur de la bande 3,4-3,8 GHz partagée entre les nouveaux usages 5G et les opérateurs d'usage fixe du type BLR (Boucle Locale Radio).
 - Au niveau national, la méthode de coexistence la plus efficace consiste à synchroniser tous les réseaux de tous les opérateurs opérant dans cette bande (choix technique retenu dans le cadre de l'utilisation de la bande 3,5GHz en France), avec une source de temps commune et des configurations Downlink/Uplink communes. Sinon, une séparation géographique entre réseaux serait nécessaire, qui serait de l'ordre de 10 à 80 km selon les estimations actuelles

²⁰ <https://www.onap.org/>

²¹ www.openairinterface.org

²² https://www.arcep.fr/uploads/tx_gsavis/19-1386.pdf

(voir le rapport du comité d'experts techniques sur les enjeux de coexistence dans les bandes 3,4-3,8GHz ⁽²³⁾).

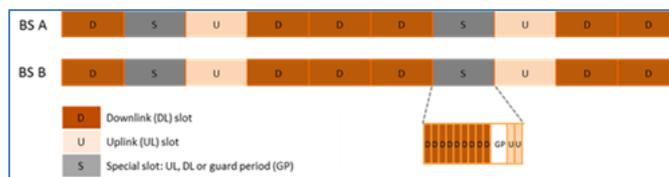


Figure 3: coordination des structures des trames 5G

- L'un des principaux défis de la coexistence intra-bande est la coordination transfrontalière. Un format 5G compatible avec TD-LTE a déjà été choisi en France, au Royaume-Uni et en Italie en raison de la présence de l'héritage des réseaux « Fixed Wireless Access » (Wimax, TD-LTE) dans la bande 3,5 GHz. Ceci est différent du choix qui a été fait dans d'autres pays (Allemagne, Suisse, Luxembourg). Un effort majeur et inédit de coordination est nécessaire au niveau régional pour résoudre ce problème.

⇒ **Il est à noter que ce choix de synchronisation avec les réseaux existants ne permettra pas aux opérateurs français de déployer les configurations les plus optimales de la 5G avant juillet 2026, date à laquelle les licences des réseaux BLR et THD Radio en bande 3410-3490 MHz deviendront caduques.**

5.5 L'introduction des antennes massive MiMo

Concernant l'équipement du réseau accès, avec la 5G apparaît un nouveau type d'antennes, les antennes massive MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs), qui sont des antennes actives (c'est à dire que leur diagramme de rayonnement n'est pas figé, mais peut évoluer au cours du temps en fonction du besoin). Ces antennes comprennent un grand nombre d'éléments rayonnants, ce qui permet de réaliser des faisceaux plus fins et plus dynamiques. Ces caractéristiques permettent d'améliorer significativement l'efficacité spectrale et énergétique du système : on envoie le signal où et quand cela est nécessaire. Si cet apport semble techniquement intéressant certaines contraintes de déploiement se posent en contrepartie : la partie antennaire traditionnelle (passive) est intégrée avec les parties radios (actives, amplificateurs, filtres, convertisseurs, etc.) dans un même équipement relié à la BBU (Base Band Unit) par fibre optique et donc cette partie intégrée est plus lourde que celle des antennes passives (30 à 50 kg contre 8 à 10 kg pour une antenne passive traditionnelle).

L'intégration de nouvelles antennes est synonyme d'ajout d'équipements supplémentaires (la partie intégrée) sur les stations relais, qui peut se faire soit par l'ajout d'une antenne 5G à côté (ou à proximité) des antennes existantes, soit par le remplacement des antennes existantes et l'ajout d'une structure modulaire composée d'une partie classique passives pour le 2G/3G/4G et d'une partie 5G active placée au-dessus, la partie active étant insérée dans un boîtier ayant le même aspect (forme, couleur) que la partie passive.

²³ https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/contribution_comite-experts_coexistence-bande-3-4-3-8-GHz_mai2019.pdf

5.6 L'enjeu de la consommation énergétique

La consommation et plus généralement l'empreinte énergétique est un enjeu clé pour notre société. Des engagements sont énoncés dans le paquet-énergie climat 2020 et sont déclinés par des politiques européennes et nationales de réduction de l'empreinte énergétique à horizon 2030. Ces objectifs ont notamment constitué le cœur de l'engagement de l'Union européenne dans le cadre de l'accord de Paris. La France accompagne également cette politique et a confirmé dans la loi de la transition énergétique pour la croissance verte d'août 2015 son objectif de division par quatre de ses émissions à l'horizon 2050.

L'augmentation annuelle de trafic transporté par les réseaux mobiles se situe autour des 50% ⁽²⁴⁾ en France et la consommation mensuelle moyenne des utilisateurs de réseaux 4G dépasse désormais les 10 Go/mois en moyenne (+37% en un an), l'ajout d'équipement pour supporter cette augmentation est donc inévitable. C'est donc un enjeu crucial d'ajouter une technologie qui soit plus efficace énergétiquement. En effet la 5G aura vocation à terme de remplacer les anciennes générations sur toutes les bandes existantes pour que tout le trafic écoulé le soit de manière plus efficace d'un point de vue énergétique. On estime que la 5G sera 10 fois plus efficace (quantité d'énergie requise pour la transmission d'une unité de donnée) énergétiquement que la 4G, à l'horizon 2025. Ce fut déjà le cas lors des changements de technologies précédentes. Les leviers technologiques qui permettront à la 5G d'être plus efficace sont notamment liés à l'optimisation des processeurs et des émetteurs ou encore à la mise en œuvre des mécanismes de partage des réseaux. L'utilisation des antennes MiMo, entièrement intégrées, qui améliorent les performances grâce aux techniques MiMo, contribuent évidemment à être plus efficace. Et si les premières antennes déployées consommeront plus que les antennes 4G, on s'attend à ce qu'elles ne consomment qu'un quart de l'énergie d'une antenne 4G d'ici 2021 ⁽²⁵⁾.

Les techniques permettant également à une partie du réseau de se mettre en veille lorsqu'il n'est pas utilisé deviennent de plus en plus efficaces et vont contribuer eux aussi à augmenter l'efficacité énergétique de nos réseaux.

Enfin, au moment de déployer une nouvelle technologie et face au défi climatique, le travail sur l'efficacité énergétique devra sans doute s'accompagner d'une réflexion sur les usages et de pédagogie permettant à chacun de prendre conscience de l'impact de ses usages. Cette réflexion devra s'organiser avec l'ensemble des parties prenantes afin de tendre vers une optimisation énergétique maximale.

Un document est actuellement en cours de rédaction au sein du CSF infrastructures numériques abordant la question environnementale (consommation d'énergie et empreinte carbone) associée au numérique et à la 5G.

²⁴ <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/observatoire-des-marches-des-communications-electroniques-en-france/marche-des-communications-electroniques-en-france-t1-2020.html>

²⁵ https://hellofuture.orange.com/fr/la-5g-lefficacite-energetique-by-design/#_ftn1

5.7 De nouvelles obligations pour une connectivité renforcée sur le territoire

L'Arcep a récemment publié ⁽²⁶⁾, le 21 novembre 2019, sa décision relative aux modalités et conditions d'attributions et d'utilisations des fréquences dans la bande 3,4 GHz – 3,8 GHz en France. Le 30 décembre 2019, le gouvernement a homologué cette décision et fixé le prix des fréquences correspondantes ⁽²⁷⁾.

Avec l'intention de favoriser la compétitivité des entreprises, de développer l'innovation en France et de répondre aux attentes des utilisateurs d'accéder à des services mobiles plus performants, l'Arcep et le gouvernement ont fixé de nouvelles conditions et enjeux de déploiement :

- La trajectoire fixée impose un déploiement de 3000 sites en 2022, jusqu'à 10500 sites en 2025.
- Afin d'améliorer la couverture dans les zones non urbaines, 25 % des minimums imposés pour 2024 et 2025 devront être déployés dans une zone rassemblant les communes des zones peu denses et celles des territoires d'industrie, hors des principales agglomérations.
- Un débit descendant maximal théorique au moins égal à 240 Mbps par secteur sur 75% des sites sera attendu dès 2022.

D'autres enjeux nationaux, **de natures sociétales ou économiques**, ont contribué à établir de nouvelles obligations concernant la capacité du réseau à proposer des offres plus flexibles et différenciées. Avec une 5G promise à apporter des nouvelles capacités destinées à l'industrie au sens large, les opérateurs devront, dès fin 2023⁽²⁸⁾, être capable de proposer des fonctions de « slicing » ou de « services différenciés ». Ils devront aussi répondre aux demandes raisonnables des acteurs économiques en apportant des offres adaptées.

Par ailleurs, une obligation spécifique de déploiement porte sur les axes du type autoroutier (représentant environ 16 642 km) : il s'agira de fournir, à fin 2025, des services différenciés, des débits descendants maximaux théoriques d'au moins 100 Mbit/s par secteur et une latence inférieure à 10 ms à l'extérieur des véhicules en déplacement.

Enfin, d'ici fin 2030, les performances du type 5G devront être généralisées sur l'ensemble de la grille des sites mobiles des opérateurs.

La 5G et ses promesses technologiques comme toute nouvelle technologie apportent leur lot de contraintes. En particulier la 5G arrive, non pas en remplacement mais en addition des systèmes mobiles existants, le tout dans un environnement déjà contraint. Ce déploiement sous contraintes constitue un enjeu majeur pour l'écosystème et pour la France, pour faire de cette nouvelle technologie en accélérateur de modernité.

Une nouvelle architecture de bout-en-bout de transition doit être mise en place de manière à préparer l'arrivée de la 5G autonome, tout en améliorant significativement l'interopérabilité avec les systèmes existants et entre les vendeurs.

²⁶ <https://www.arcep.fr/actualites/les-communiqués-de-presse/detail/n/5g-7.html>

²⁷ https://www.legifrance.gouv.fr/jo_pdf.do?id=JORFTEXT000039699703

²⁸ S'il s'avère que les équipements matériels et logiciels permettant de telles solutions ne sont pas disponibles commercialement avant le 31 décembre 2022, cette obligation entrera en vigueur un an après la date de disponibilité commerciale de ces équipements

Les nouvelles antennes, amenées à être plus efficace spectralement et énergétiquement, requièrent néanmoins un effort significatif d'intégration dans le paysage urbain du fait de leur poids et de leur caractère « tout intégré ».

L'un des enjeux les plus forts réside dans l'utilisation des nouvelles bandes de fréquences qui elles aussi devront cohabiter avec des celles systèmes existants (entre autres). La configuration optimale de la 5G ne sera possible qu'avec la disparition progressive de ces anciens systèmes, condition sine qua none d'un déploiement ambitieux de la 5G.

6 L'émergence de la bande 26 GHz

6.1 Un besoin en capacité et l'opportunité des ondes millimétriques

Le trafic de données échangées sur nos réseaux augmente tous les ans de manière significative, plus de 50% par an selon les années et les sources. L'arrivée de la 5G sera très certainement un élément qui va favoriser encore plus cette augmentation de trafic. La 5G va susciter de nouveaux usages dont certains forts consommateurs en bande passante telle que la TV 8K, la réalité augmentée, différents modes de partage de données et diverses formes d'applications de type M2M (sécurité des véhicules, voitures autonomes, chirurgie à distance). De plus le spectre radio est une ressource qui se raréfie, du moins dans les bandes où déployer un réseau macro cellulaire est un compromis viable.

Pour répondre à cette demande croissante de capacité et soutenir les futurs applications mobiles (eMBB) et industrielles (IoT) et pour faire face à la raréfaction du spectre dans les bandes dites « basses » (inférieur à 6 GHz), l'écosystème des télécommunications se tourne naturellement vers les bandes dites centimétriques et millimétriques. En effet, après les travaux de la conférence mondiale des radiocommunications de novembre 2019 et l'adoption de conditions technico-réglementaires ajustées en Europe²⁹, l'accès à de larges bandes spectrales, typiquement de l'ordre du Gigahertz (GHz) voire au-delà, va devenir possible dans les bandes de fréquences comme le 26 GHz en Europe (28 GHz aux US).

Des exigences en débit de l'ordre de plusieurs Gbps ont déjà été atteintes lors de tests aux US, en Asie et en Europe (Roumanie, Cluj).

6.2 Entre opportunité et contraintes techniques

Si les opportunités en termes de spectre disponible sont grandes, en contrepartie, de par les propriétés physiques de la nature de ces ondes, la couverture radio s'en voit limitée (les pertes en espace libre étant proportionnelles à l'augmentation de la fréquence de transmission). Afin d'accroître la portée et/ou couvrir une zone à forte densité d'utilisateurs, l'association d'antennes de type massive MiMo à un système transmettant en fréquences millimétriques, s'avère donc indispensable. Les antennes et les éléments qui la composent seront plus petits (la taille des antennes est inversement proportionnelle à la fréquence), plus difficilement intégrables dans l'antenne, mais plus petit, réduisant l'encombrement et permettant d'atteindre des directivités importantes (focalisation plus importante). Les gains antennaires importants devront par ailleurs être associés à des puissances d'émissions réduites afin de respecter les normes d'exposition française et internationales.

²⁹ <https://www.anfr.fr/toutes-les-actualites/actualites/26-ghz-brouillages-5g-sur-les-previsions-meteorologiques-lunion-europeenne-actualise-sa-position/>

Egalement, les ondes millimétriques sont, en plus de leur forte atténuation en propagation, sujettes à obstruction, contraignant leur pénétration depuis l'extérieur vers l'intérieur des bâtiments.

6.3 Des scénarios de déploiements spécifiques

La faible propagation, les contraintes sur les puissances d'émission d'un côté, la focalisation importante et des ressources spectrales importantes de l'autre vont décider des opportunités de déploiements. Comme cela fut testé en Roumanie par Orange, Samsung et Cisco, le déploiement de cellule à 26 GHz pour un usage fixe est possible et offre de belles perspectives pour le client final comparable à celle de la fibre. Si il est difficilement envisageable de déployer des réseaux de type macro cellulaire classiques couvrant l'intérieur des habitations depuis des points d'émission extérieurs ou pour couvrir des zones de type rural, on peut facilement imaginer l'utilisation de petites (micro et femto) cellules pour améliorer la couverture là où cela est utile, que ce soit en complément capacitaire du réseau macro-cellulaire ou pour des solutions dédiées intérieures (événements, zone dense, gare, aéroport, etc.). A noter que la France possède un écosystème fort autour des « boxs » (Sagem, Technicolor, etc.) et que leur rôle sera important dans le développement de nouvelles solutions exploitant les ondes millimétriques.

6.4 Un écosystème déjà mature et une nouvelle opportunité pour les usages verticaux

Les faibles propagation et capacité à « passer les murs » peuvent aussi être vues comme un atout. En effet, ces ondes sont plus facilement « isolables », et on pourrait ainsi imaginer que ces solutions pourraient être déployées pour des scénarios de type industriel au sens large (usine, réseaux de transports, hôpitaux, mines, etc.). En effet, il serait moins essentiel de synchroniser tous les points d'accès entre eux, comme c'est le cas pour les bandes basses, et cela permettrait de déployer des solutions plus optimales, moins contraintes et quasiment sur mesure. Cela constituerait une opportunité réelle pour les usages verticaux qui bien souvent ont des besoins spécifiques proche de couche réseau « sur mesure ».

Si la bande dite « 26 GHz » (24,25 - 27,5 GHz) est bien spécifique à l'écosystème européen, notamment avec le « gigahertz » discuté à la CEPT (compris entre 26,5 et 27,5 GHz), un écosystème de produits s'est développé dans le sillage des poussées américaines et asiatiques autour de la bande 28 GHz pour des scénarios de type usage fixe. Cet écosystème, principalement basé sur un pré standard 5G appelé 5GTF, a permis notamment à Orange (Roumanie, Cluj) accompagné de Cisco et Samsung, de réaliser un test grandeur nature avec des clients grand publics et entreprises dès l'été 2018. Des débits dépassant le gigabit par seconde ont été atteints pour des rayons d'un kilomètre.

Concernant, le calendrier européens, l'Italie en décembre 2018 a été la première (et la seule) à attribuer, après enchère, 1 GHz par bloc de 200 MHz aux opérateurs mobiles. Si plusieurs pays comme la Belgique ont lancé des consultations ou définis le calendrier d'allocations comme la Roumanie (2021), l'Allemagne a déjà défini un mode d'attribution local pour des services régionaux ou pour des besoins spécifique de couverture. L'Arcep après le guichet « pilote 5G » en 2018 ⁽³⁰⁾ a lancé un appel conjoint, avec le gouvernement, à la création de plateformes d'expérimentation 5G dans la bande de fréquences 26 GHz, ouvertes à des tiers, le 31 janvier 2019. Objectifs : favoriser l'appropriation par

³⁰ <https://www.arcep.fr/actualites/les-communiqués-de-presse/detail/n/pour-preparer-larrivee-de-la-5g-larcep-ouvre-un-guichet-pilotes-5g-accessible-a-tous-type-da.html>

l'ensemble des acteurs des possibilités offertes par cette bande de fréquences et identifier les nouveaux usages permis par ces fréquences. En proposant ainsi l'attribution à titre expérimental de ces fréquences pendant trois ans l'Arcep entend lever deux freins à l'innovation : le coût, et les compétences techniques nécessaires à l'installation de ces réseaux, notamment pour les acteurs les moins familiers des télécommunications.

Le 7 octobre 2019 (31), l'Arcep et le gouvernement ont présenté onze projets retenus autour de la logistique, la ville intelligente, la mobilité, ou encore la couverture d'événements sportifs. Le grand port maritime du Havre, les gares de Rennes et Lyon Part Dieu, l'agglomération de Bordeaux métropole ou le Vélodrome National de Saint-Quentin-en-Yvelines se sont associés à différents acteurs afin de tester ces nouvelles opportunités que le « 26GHz » peut offrir. 14 projets sont en cours au moment de la finalisation de ce document et sont ouverts aux acteurs qui souhaitent profiter de ces plateformes. D'autres projets sont en cours d'instruction par l'Arcep. Outre les opérateurs mobiles et les équipementiers d'infrastructures 5G, sont associés à ces projets des start-ups, des PMES, des industriels, et différents partenaires verticaux.

L'objectif est multiple : valider par l'expérimentation et l'intégration de nouveaux usages, l'intérêt technologique d'utiliser les bandes de fréquences millimétriques, l'émergence de nouveaux business model et de nouveaux acteurs, et stimuler de nouveaux usages de type industriels au sens large.

Si l'attention immédiate se porte sur la bande 3,5 GHz en pionnière de la 5G, la bande 26 GHz n'est pas en reste. La France a lancé des appels à projet sur 3 ans et contrairement au précédent guichet « pilote 5G », des partenaires variés ont répondu favorablement et avec ambition. Il s'agit sûrement d'un signe que la 5G pour les usages verticaux, promue par la commission européenne, est en cours d'adoption.

L'utilisation de cette bande représente de nouveaux défis technologiques importants tels que l'intégration de petites antennes ou le déploiement lui-même qui devra tenir compte des limites des propagations et de pénétrations de ces ondes centimétriques.

Néanmoins, les bandes millimétriques apportent des avantages : meilleure aptitude à isoler les rayonnements, de grandes largeurs de bandes et donc de ressources disponibles

Le développement d'un écosystème matériel et business dans la bande 26 GHz constitue bien une nouvelle étape dans le développement de la 5G et une nouvelle opportunité pour l'adoption de cette technologie par l'industrie, la santé, les villes, et la société dans son entièreté.

7 Conclusion

Au moment de la finalisation de ce document, les conditions d'attributions et le calendrier (décalé pour cause de crise sanitaire) des enchères des fréquences 5G en France sont connus⁽³²⁾ et le nombre de réseaux 5G disponibles est passé à 84 dans le monde en juin 2020, selon le dernier rapport de la GSA⁽³³⁾. Les services sont disponibles dans 36 pays et comprennent 46 réseaux offrant des services mobiles 5G et 29 fournissant des services fixes à domicile (Fixed Wireless Access). Au 1^{er} mars 2020,

³¹ <https://www.arcep.fr/actualites/les-communiqués-de-presse/detail/n/5g-6.html>

³² <https://www.economie.gouv.fr/lancement-procedure-attribution-frequences-5g#>

³³ <https://gsacom.com/paper/lte-5g-june-2020-market-snapshot/?utm=reports4g>

L'Arcep et l'ANFR avaient autorisé 459 antennes 5G en bande 3,4-3,8 GHz pour des expérimentations menées par Orange, SFR, Bouygues Telecom et Free mobile en France, les 4 opérateurs officiellement qualifiés pour les enchères 5G.

Les premières villes pré-commerciales succéderont aux tests grandeur nature et les produits atteignent une maturité commerciale avec des systèmes interopérables multi vendeurs. L'objectif fixé par la commission européenne en 2016, d'avoir une ville 5G par pays membre en 2020 devrait être réalisé malgré le retard pris du fait de la crise sanitaire. La 5G est en bonne voie en France et nous entrons dans la dernière ligne droite avant les premiers déploiements commerciaux.

Toutefois si l'on regarde un peu en arrière, les attentes initiales de la 5G pourraient se résumer comme suit : i) Apporter de nouvelles performances et permettre ainsi au client final une expérience inédite (connectivité améliorée partout et tout le temps), ii) Moderniser la société et l'industrie au sens large grâce à une 5G hyper flexible, au slicing, à la virtualisation et à une nouvelle génération d'usage, et iii) Tenir compte des enjeux sociétaux et les adresser grâce à une 5G maîtrisée et sobre énergétiquement.

Le calendrier de la 5G s'accélère en Europe et en France. Néanmoins le cœur 5G ne sera pas des premiers déploiements. Il faudra passer par des architectures de transitions et son introduction à grande échelle ne devrait pas arriver avant 2022/2023. Avec lui, c'est une vision aboutie et dynamique du slicing et de la virtualisation qui sera repoussée à une date ultérieure. Les contraintes de synchronisation liées à la coexistence fréquentielle entre les nouveaux systèmes 5G entre eux et surtout avec les systèmes existants et opérants dans ces bandes retardent également l'avènement d'une 5G optimale. En effet si les débits promis sont au rendez-vous (on dépasse le Gbps), les latences proches de la milliseconde devront attendre une architecture pure 5G d'une part et la fin des contraintes de coexistence avec les anciens systèmes d'autre part.

Afin d'atteindre les objectifs fixés, tant sur le plan des avancées technologiques promises que sur celui des enjeux sociétaux à relever, il est donc important de poursuivre les efforts entrepris tels que:

- Financer la recherche et l'innovation en France et en Europe pour les prochaines phases de la 5G, allant au-delà du haut débit mobile et intégrant par exemple les communications critiques, pour préparer le futur, expérimenter les nouveaux usages et accompagner la transformation numérique, en particulier de l'industrie. Cela devra permettre de renforcer la mise au point de nouveaux types de partenariats stimulant l'adhérence des verticaux.
- Favoriser la mise au point de plateformes collaboratives ouvertes pour tester l'interopérabilité entre acteurs, pour tester l'introduction de nouveaux services à valeurs ajoutées et la mise au point de slices dynamiques de bout en bout.

Les projets annoncés par l'Arcep et le gouvernement autour de partenariat pour la fréquence 26 GHz et la mise en route des premiers réseaux 5G devraient également favoriser la mise en place de nouveaux modèles et de nouveaux usages et ainsi ouvrir la voie à une 5G flexible et optimale pour les besoins des verticaux.

La filière Infrastructures Numériques peut également aider à l'émergence voire à la fiabilisation de ces éléments, en coordination avec d'autres CSF (par exemple mobilité, sécurité, électronique, etc.) dès lors qu'il y a une volonté de la puissance publique d'avancer ensemble comme cela a pu être le cas avec le plan souveraineté télécom.