

The background of the cover features a blurred, high-speed image of a tunnel or road with light trails in shades of blue and purple. Overlaid on this are white, stylized circuit board traces and various digital symbols such as arrows, a plus sign, and a row of small circles. The text '5G' is prominently displayed in the center in a large, white, sans-serif font.

# 5G

## 5G SLICING : OPPORTUNITÉS & ENJEUX

**Editeurs:** Pierre Dubois (Orange), Thierry Evanno (Nokia), Olivier Audouin (Systematic), Emmanuel Dotaro (Thales)

**Contributeurs:** Olivier Audouin (Systematic), Thierry Evanno, Gilbert Marciano et Sylvaine Kerboeuf (Nokia), Emmanuel Dotaro (Thales), Pierre Dubois (Orange), Viktor Arvidsson (Ericsson), Hacene Lahreche, Emmanuel Thomas et Mathieu Belouar (SNCF), David Roine (Valéo), Guillaume Vivier et David Choukroun (Sequans), Wendy Ooms (B-COM)

**Relecteurs:** Marie Santoli, (AFNUM), Jugwal Doyen (FFTélécoms), Nicolas Bihannic (Orange), Lucas Gravit (DGE)

## RÉSUMÉ

Le « slicing » est le fait de réaliser et d'instancier des tranches (« slices ») de réseaux, c'est-à-dire de rendre disponibles des ressources associées aux réseaux, quantitatives et qualitatives, à la demande, pour un utilisateur, un groupe d'utilisateurs ou pour un type de service donné. Le tout de manière dynamique, en temps réel et évidemment de manière sécurisée : un réseau logique de bout-en-bout, personnalisé en termes de capacités 5G, déployé puis opéré sur une infrastructure partagée ou dédiée.

Le slicing, associé aux perspectives technologiques de la 5G, c'est une opportunité en termes de nouveaux services à valeur ajoutée pour l'industrie au sens large, ainsi que pour toute la chaîne de valeur associée. Le slicing et ses capacités de hiérarchisation et d'isolation en tranche des réseaux permettront de mettre au point des offres et services jusqu'ici inenvisageables pour la santé, l'automobile, les usines ou même le grand public. Les slices très flexibles seront le support idéal pour la mise au point de réseaux hybrides privé-public. C'est l'apparition d'offres de réseaux sur mesure déployables à la demande sur des couvertures plus localisées (e.g. le campus industriel, la ville, ...) et pour des durées potentiellement très éphémères (e.g., le temps d'un évènement sportif, d'un concert).

Le déploiement du slicing se fera progressivement à partir de la mise en place du cœur 5G autonome dit « SA » (pour « Standalone »). De slices statiques pour les services ou groupes de services majeurs, nous verrons apparaître des slices à forte granularité et très dynamiques à horizon 2025.

Les perspectives économiques sont fortes. Le marché lié au slicing est prévu de croître de quelques centaines de millions d'euros à partir de 2021 à plusieurs milliards ou dizaine de milliards à horizon 2024-2027, selon les scénarios optimistes/pessimistes. L'Europe représente environ 20% de ce marché.

La production industrielle, l'énergie, le transport et la logistique, le multimédia et le divertissement, le secteur public (en particulier services d'urgence et de sécurité), la santé arrivent en tête des secteurs cités les plus porteurs pour le slicing.

Les revenus liés au slicing escomptés pour les acteurs de la filière se feront via différents canaux :

- Services à des clients existants avec de fortes exigences ;
- Nouveaux segments pour des clients à service critique ;
- Nouveaux services en montant dans la chaîne de valeur au-delà de la connectivité (plateforme IoT, de streaming, de AR/VR, monétisation des données, applicatifs), étant entendu que dans ce domaine il existe une forte compétition, hors opérateurs télécom.

Néanmoins, afin de faire de ces perspectives économiques une réalité, plusieurs enjeux sont à prendre en compte :

- Le premier défi auquel est confrontée l'approche des slices est la motivation même de leurs existences en fonction de l'adéquation entre les besoins et les solutions. La bonne flexibilité des offres et la correspondance au juste prix avec ses besoins seront cruciales. Outre l'aspect économique manifeste, l'adéquation entre le besoin et la solution ne se fera que grâce à une co-construction entre les acteurs télécoms et les acteurs industriels. En ce sens les projets coopératifs nationaux et internationaux pourront être les principaux leviers d'action.
- Les standards doivent couvrir en particulier les exigences de sécurité et de résilience pour permettre aux utilisateurs une utilisation en conscience et réglementaire des slices.
- Du point de vue de la régulation se posera selon les usages la question de la responsabilité et des engagements des parties qui, quel que soient les modes et acteurs impliqués, devront être définis clairement.
- Les modèles économiques devront redistribuer la valeur et les retours sur investissement équitablement quelque soient les modèles d'architectures des réseaux (privé/hybride/public).
- Le slicing devra posséder un impact environnemental bénéfique à la fois intrinsèquement et de manière induite. A noter qu'étant l'un des grands facteurs facilitant la mutualisation des infrastructures, le slicing devrait permettre un usage des ressources optimisé et donc une réduction de l'empreinte carbone.

Ainsi, si les perspectives sont intéressantes, les enjeux restent importants. Le Comité Stratégique de Filière (CSF) « Infrastructures Numériques », par son rôle d'accélérateur d'écosystème, est et sera clé pour identifier les potentiels freins

(régulation, ...) à la mise en place du slicing en France et pour trouver les solutions en associant l'ensemble des parties prenantes de l'écosystème des TICs (Technologies de l'Information et de la Communication) français et européens.

A titre d'exemple, le réseau de plateformes pilote des usages verticaux de la 5G, impulsé par le CSF, aidera sans aucun doute à relever certains de ces défis en conviant les écosystèmes de partenaires à expérimenter ensemble ces problématiques par la pratique concrète, préfigurant et accélérant des déploiements commerciaux ultérieurs.

*Ce document constitue une contribution des acteurs industriels de la filière des infrastructures numériques aux débats qui traversent la société française à propos de la 5G. Il ne reflète que la vision de ses auteurs.*

## SOMMAIRE

1	Introduction.....	7
2	Le slicing : usages et opportunités.....	9
2.1	Scénarios de Slicing .....	9
2.1.1	Scenario 1 : les gares SNCF – espaces recevant du public et espaces privés .....	10
2.1.2	Scenario 2 : le Réseau Ferré National (RFN) .....	11
2.1.3	Scenario 3 : véhiculaire.....	13
2.1.4	Scenario 4 : Industrie 4.0.....	16
2.2	Exigences techniques.....	18
2.3	L'apport de la 5G et du slicing .....	20
3	Le slicing, qu'est-ce que c'est exactement ? .....	21
3.1	Comment cela fonctionne-t-il ? .....	21
3.2	L'isolation des ressources et la QoS différenciée.....	22
3.3	Slicing, verticaux et réseaux privés.....	23
3.4	L'Edge, le management et l'automatisation.....	25
4	Quel est l'agenda du slicing ? .....	26
4.1	Agenda de déploiement : cœur SA, évolution du SI, .....	26
4.2	Les standards et leurs évolutions .....	27
4.3	Les prochaines échéances .....	28
5	Quelles sont les défis au développement des slices ? .....	29
5.1	La question de l'adéquation .....	29
5.2	Le défi de la dynamique et de l'automatisation .....	29
5.3	Le défi de l'exposition et accès aux offres .....	30
5.4	Le défi des standards et de la régulation .....	30
5.5	Le défi du multilatéral et de l'orientation service .....	31
5.6	Le défi sociétal et les défis énergétiques .....	31
5.7	Le défi de la vitesse d'introduction .....	32
6	Perspectives économiques du Slicing.....	33
6.1	Perspectives économiques, secteurs applicatif principaux.....	33
6.2	Les modèles de commercialisation des slices.....	33
6.3	Une étude comparative des couts des réseaux avec slice.....	34
6.4	Les défis à relever pour saisir les opportunités économiques .....	36
7	Conclusion.....	38

8	Annexes.....	39
8.1	Caractéristiques de 5QI.....	39
8.2	Table de référence des 5QI normalisés .....	39
8.3	Fonctions et procédures introduites dans la 5G au niveau des terminaux, du réseau d'accès radio (RAN) et du cœur de réseau (CORE).....	40
8.4	Éléments de spécification du niveau de service d'un slice .....	41

Figure 1:	Les multiples usages 5G [source : Nokia].....	10
Figure 2:	décharge de donnée en gare [source: SNCF] .....	11
Figure 3:	le transilien en chiffres [source : SNCF] .....	12
Figure 4:	La 5G pour les trains [source : SNCF].....	12
Figure 5:	Connectivité et Industrie 4.0 [source : Nokia] .....	17
Figure 6:	Connectivité et Industrie 4.0 [source : SNCF].....	17
Figure 7:	« Service réseau privé » [source : Nokia].....	21
Figure 8:	Fonctionnalités pour le slicing 5G [source : Nokia].....	22
Figure 9:	Quality of Services for 5G NR [source : 3GPP technical specification].....	23
Figure 10:	slicing et architecture réseau [source : Nokia].....	24
Figure 11:	Les différentes phases de déploiement du slicing [source : GSMA].....	26
Figure 12:	Release 5G du 3GPP et types de services (Slicing Service Type – SST) [source : Nokia].	27
Figure 13:	Les motivations pour déployer un nouveau slice[source : Nokia].....	29
Figure 14:	Evolution des offre de slices et exigences d'automatisation du réseaux[source : Nokia]	30
Figure 15:	Exemple de cas d'usage du slicing et leur maturité [source : Ericsson <sup>18</sup> ] .....	33
Figure 16:	Croissance des connexions et du coût avec des scénarios de réseau dédié ou slicé [source : Nokia <sup>17</sup> ] .....	35

# 1 INTRODUCTION

Le « slicing » (ou la gestion de « slice » qui signifie en Français « tranche » ou « coupe » de réseau) est un terme devenu indissociable de la 5G. C'est un mot qui peut prêter parfois à confusion, tantôt englobant d'autres notions, il est associé le plus souvent aux verticaux, à l'industrie 4.0, à la QoS (pour « Quality of Service » ou qualité de service) différenciée ou garantie, ou encore à l'Edge Computing.

Il y a évidemment de réelles corrélations entre ces notions qui seront explicitées dans ce document.

Le « slicing », c'est d'abord, de manière générique, le fait de réaliser et d'instancier des tranches (des « slices » en l'occurrence) de réseaux. Cela consiste à offrir, d'un point de vue réseau donc, des ressources quantitatives et qualitatives « à la demande », pour un utilisateur, un groupe d'utilisateurs ou pour un type de service donné. Le tout de manière dynamique, en temps réel et évidemment de manière sécurisée. La partie 3 de ce document sera dédiée aux aspects techniques, à définir concrètement ce qu'est le slicing.

Dans la partie 4, l'agenda de développement et de déploiement sera évoqué. On y apprendra que le déploiement de slice se fera progressivement à partir de la mise en place du cœur 5G autonome dit SA (pour « Standalone »). En effet les premières tranches (« slices » en anglais) seront peu granulaires et statiques, pour être petit à petit proposées à la demande de manière totalement dynamique et automatisée. Le nombre de slices et la durée de vie de ces instances de réseau vont augmenter de manière très significative dans les prochaines années et devenir plus flexible.

Le slicing, c'est aussi et surtout une opportunité de moderniser 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.). Des services rendus possibles par cette nouvelle technologie dont nous donnerons, dans la partie 2, un aperçu au travers de scénarios illustrant des cas pratiques envisagés par des verticaux industriels tels que la SNCF ou le secteur de l'automobile.

Le slicing, associé à la puissance de la 5G SA, c'est donc 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.

Ce mécanisme est clé pour la monétisation de la 5G, permettant de rentabiliser les investissements fournis par les différents acteurs de la 5G (obtention de fréquences, déploiement des nouvelles infrastructures, la R&D, ...) et pour la création de valeur de manière générale pour l'ensemble des filières industrielles. Selon une récente étude réalisée par ABI Research 2019<sup>1</sup>, le découpage de réseau et les offres sur mesure 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. De manière générale, cette vision du réseau en tranche de service pourrait permettre l'émergence de nouveaux modèles économiques et acteurs. La partie 6 explorera les aspects économiques du slicing, les jeux d'acteurs, et les perspectives financières.

Pour libérer tout le potentiel du slicing, 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.

---

<sup>1</sup> <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1032422-wireless-connectivity-technology-segmentat/>

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, puis de facturer ces services d'un point de vue bout-en-bout et de manière très dynamique. 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 ne faut également pas négliger les enjeux 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 (santé, usines 4.0, énergie, media, mobilité, économie virtuelle, etc.), sur la capacité 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. Les enjeux et défis liés à l'introduction du slicing seront abordés dans la partie (5) de ce document.

## 2 LE SLICING : USAGES ET OPPORTUNITÉS

Depuis l'introduction de la chaîne de montage de la production de masse par Henry Ford en 1913, la production a connu un certain nombre d'impératifs clés : accroître l'efficacité de la production, réduire les temps d'arrêt et augmenter la flexibilité de la chaîne. Au fil du siècle, la sécurité et l'efficacité énergétique sont devenues des préoccupations supplémentaires.

Aucun de ces défis n'a disparu. Aujourd'hui, ils façonnent tous l'évolution et (périodiquement) les révolutions de la production. La 5G et le slicing sont au cœur de la révolution en cours.

Généralisée à l'ensemble des activités économiques et sociétales, la 5G et plus particulièrement l'usage du slicing, doit permettre l'émergence de nouveaux usages et classes de services pour les besoins de l'industrie au sens large. En offrant un traitement sur mesure et adapté à des demandes diverses, de manière simultanée, le nouveau réseau en slice va permettre de moderniser les transports, les usines, les villes, les hôpitaux, les réseaux d'énergie, et bien d'autres secteurs comme le tourisme par exemple.

Toutefois, la 5G et le slicing (avec l'IoT industriel) sont des catalyseurs, ils ne représentent qu'une des nombreuses mégatendances de la technologie numérique qui conduit à la transformation d'un secteur. Si l'on prend l'exemple de l'industrie (usine 4.0), l'impression 3D, la robotique avancée et les nanotechnologies représentent toutes des avancées majeures en matière de fabrication flexible et personnalisable qui, avec le slicing et la 5G, créeront un contexte favorable à sa propre modernisation.

Si l'industrie 4.0 semble être le secteur le plus avancé et le mieux préparé à embrasser la modernisation promise par le slicing et la 5G, de nombreux secteurs devraient, à terme, bénéficier, d'infrastructure dynamique mise à disposition, de qualité de service dédiée intégrant résilience et sécurité, et de manière plus large de ressources dédiées (spectre, bande passante, capacité de calcul, ...).

La réalité augmentée et virtuelle ainsi que l'intelligence artificielle faciliteront dans de nombreux secteurs, y compris pour les usages grand public, la modernisation par le slicing et la 5G.

Les scénarii et cas d'usage qui vont se développer dans les années à venir sont pour la plupart encore en développement. Les « verticaux » aux TICs (Technologies de l'Information et de la Communication) appréhendent en ce moment les capacités ainsi que les limites de la nouvelle technologie mobile, et développent des partenariats permettant de mettre au point ces nouveaux usages, comme c'est le cas à Rennes avec le partenariat entre Nokia, la SNCF, Orange et IMT autour du Living Lab.<sup>2</sup>

### 2.1 Scénarios de Slicing

Les scénarii et cas d'usages sont nombreux et différent par leur domaine d'application. La figure suivante illustre un ensemble non exhaustif de domaines d'application pour lesquels une multitude de cas d'usage du *slicing* peuvent être mis au point. Ces cas d'usage sont intrinsèquement liés au développement de la 5G puisqu'une des capacités phares de la 5G, notamment à destination des entreprises, repose sur le concept de découpage du réseau (ou « slicing » ou encore « network slicing »).

<sup>2</sup> <https://www.digital.sncf.com/actualites/living-labs-5g-sncf-devoile-ses-experimentations>

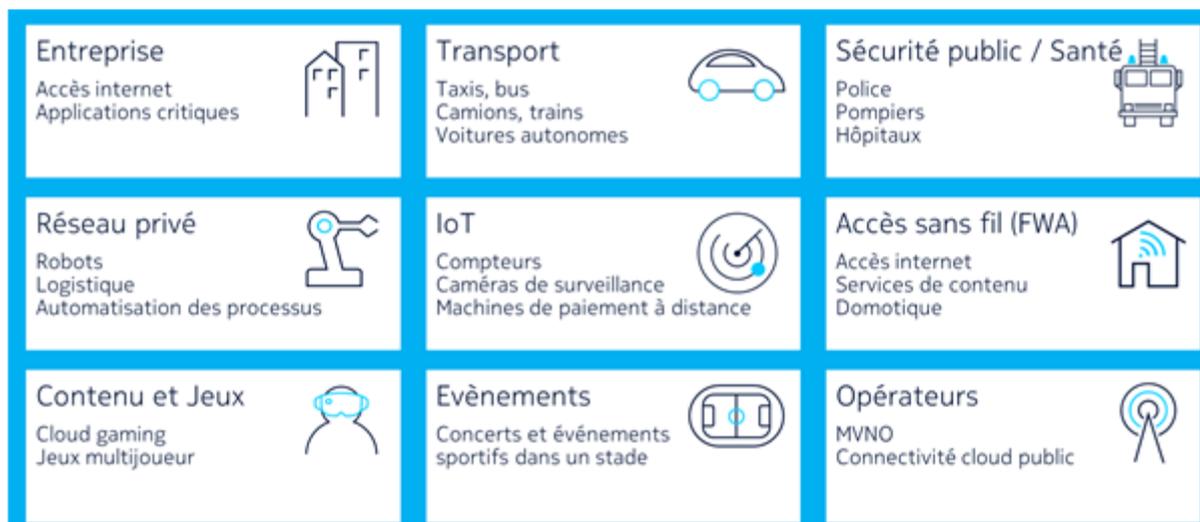


Figure 1: Les multiples usages 5G [source : Nokia]

Dans ce chapitre, plusieurs scénarii et cas d'usages sont décrits. Ce sont des exemples proposés par des acteurs de la filière, et qui sont actuellement en phase de tests ou bien prévus prioritairement à moyen terme.

Ces scénarii concernent les secteurs des gares ferroviaires, des voies de chemin de fer, des centres industriels ou encore de la mobilité en général. Ils ne constituent toutefois pas une base exhaustive des scénarii existants et pluri industriel et ne visent pas à représenter une priorisation par importance de quelque nature soit elle (aspects financiers, priorité national stratégique, ...). En effet, d'autres écosystèmes comme l'aéronautique, par exemple, (et les systèmes embarqués dans les avions) envisagent le slicing comme une pierre angulaire pouvant apporter de nouveaux services différenciés, avec des niveaux de sécurités variables et des cas d'usages à valeur ajoutée segmentés (à bord/au sol).

## 2.1.1 Scénario 1 : les gares SNCF – espaces recevant du public et espaces privés

### 2.1.1.1 Description / éléments de contexte

Les gares représentent un cas particulier puisqu'elles associent des espaces recevant du public (ERP) et des espaces privés. Cette configuration spéciale entraîne des scénarii très divers. Les gares et leur environnement immédiat sont également des zones de forte affluence dans lesquelles transitent des voyageurs, des riverains, des agents de la SNCF, ou encore des acteurs régaliens. Tous ces acteurs ont des besoins en termes de connectivité, qu'ils relèvent du confort ou qu'ils soient critiques aux opérations et à la sécurité de la gare.

Les gares sont ainsi des espaces exigeants en conditions d'accès réseaux, pour lesquels différents niveaux de disponibilité doivent être atteignables. Le *slicing* permet précisément de compartimenter différents accès ayant des exigences différentes. Il semble donc être une solution adaptée pour aménager les accès aux réseaux de communication en gare, tout en ciblant les différentes catégories d'utilisateurs, publics ou professionnels.

### 2.1.1.2 Cas d'usage des bulles tactiques dédiées à une gestion de crise

Indépendamment de la situation usuelle dans laquelle les réseaux de communication peuvent déjà être mis sous tension, il peut exister des situations exceptionnelles associées à des pannes ou des incidents imprévisibles de gravité élevée. Dans une situation exceptionnelle, les réseaux de communication peuvent devenir inopérants. La gestion de crise se fait alors en repli sur les réseaux professionnels (historiquement les systèmes TETRA) qui ne sont pas dimensionnés de façon adéquate, et qui sont déjà sur-sollicités.

Ce cadre permet de décrire un premier scénario pouvant bénéficier de l'apport du *slicing* : permettre la création dynamique de bulles tactiques en réservant une partie des ressources du réseau de communication pour des fonctions professionnelles associées à la gestion des infrastructures, à la gestion de crise et à la sécurité. Cela se traduit concrètement par la mise à disposition d'un slice « à la demande », reposant de façon hybride sur les ressources déployées et l'infrastructure restant disponible, dans le but de protéger certains usages critiques pendant les phases de congestion trop élevée du réseau.

### 2.1.1.3 Cas d'usage de décharge de données et de maintenance prédictive

Un train acquiert une quantité importante de données numériques pendant son trajet, qu'il s'agisse de données propres à son opération ou de données vidéos liées à la sécurité. Les TGV de nouvelle génération pourront ainsi enregistrer plusieurs dizaines de Gigabits par jour. Ces données devront être déchargées à leur arrivée en gare, en zone de dépôt ou de maintenance.



Figure 2: décharge de donnée en gare [source : SNCF]

Pouvoir accéder immédiatement aux données après chaque voyage favoriserait l'optimisation de la maintenance prédictive (anticiper la décision d'arrêt du train pour la maintenance, assister à la maintenance corrective et aux manœuvres, ...) du matériel roulant, et permettrait d'éviter des phases complexes de récupération massive de données.

Le téléversement des données lors de l'arrivée des trains à leur destination est ainsi un scénario envisagé pouvant s'appuyer sur le *slicing*. S'agissant de données sécurisées, leur transfert ne peut être envisageable que sur un réseau de télécommunication correctement dimensionné pour des applications critiques. Le *slicing* permet de confiner ce type de transferts de données dans une tranche de réseau isolée (le slice) et adaptée en bande passante. Cela permet l'autorisation du téléversement des données dans une fenêtre temporelle compatible avec l'arrêt du train en gare, allant de quelques minutes (forte exigence en débit) à plusieurs heures.

## 2.1.2 Scénario 2 : le Réseau Ferré National (RFN)

### 2.1.2.1 Description / éléments de contexte

Les trains, tout comme les gares, sont des environnements où doivent cohabiter des exigences professionnelles innovantes avec des demandes capacitaires fortes venant du grand public.

### 2.1.2.2 Cas d'usage de flux vidéo montants pour la sécurité

Sur l'Île de France, en situation nominale, le Transilien propose le transport de 3,2 millions de voyageurs à l'aide de 6200 trains par jour.



Figure 3: le transilien en chiffres [source : SNCF]

Cette très forte densité entraîne plusieurs contraintes, en gares mais également sur le RFN (Réseau Ferré National), où les réseaux mobiles grand public ne permettent pas toujours de répondre aux seuls besoins des voyageurs.

C'est dans ce contexte qu'il faut répondre à des besoins croissants de services temps réel, qui nécessitent une liaison montante (qui permet aux transferts de données d'aller du terminal/modem vers le réseau au sol) adaptée.



Figure 4: La 5G pour les trains [source : SNCF]

La remontée de donnée en temps réel (vidéo, information voyageurs) pourrait être un atout pertinent pour répondre à ces cas d'usage. Une disponibilité haute, voire très élevée, est requise pour répondre aux exigences du temps réel. Là encore le slicing peut et va apporter des solutions d'identification et de séparation des flux prioritaires.

### 2.1.2.3 Cas d'usage : visualisation du passage à niveau ou équivalent

Envoi vers le train en temps réel dans le sens descendant de la vidéo au niveau d'un passage à niveau (« PN ») dès l'entrée d'un train dans une zone définie (10 kms du PN).

L'idée est de projeter en cabine cette vidéo pour visualiser en temps réel (<100ms) ce qui se passe au prochain PN afin d'aider le conducteur à adapter sa conduite (cas prospectif, non implémenté actuellement).

## 2.1.3 Scénario 3 : véhiculaire

### 2.1.3.1 Description / éléments de contexte

L'arrivée de véhicules autonomes sur des zones bien définies se précise. L'ONU autorise la commercialisation de voitures dotées de capacités de conduite autonome de niveau 3 depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2021<sup>3</sup>. La France est le premier pays en Europe à avoir adapté son droit aux véhicules autonomes par le décret publié le 1<sup>er</sup> juillet 2021. Depuis septembre 2022, les véhicules autonomes de niveau 3 (qui permettent dans certains cas de lâcher les mains du volant, mais qui nécessitent encore de surveiller ce que fait le véhicule) peuvent circuler en France.

De plus, de nouvelles formes de mobilités autonomes (comme les robotaxis, camions, navettes, logistiques autonomes) sont en cours d'expérimentations en vue de préparer leur utilisation commerciale dans des zones bien précises (campus, autoroutes, voies rapides, aéroports, etc.).

En 2021, la moitié des véhicules produits dans le monde possède une connectivité intégrée, principalement 4G. La connectivité 5G dans l'automobile commence juste à se déployer, commençant par les véhicules haut de gamme, les navettes autonomes, les robotaxis. En apportant assistance, informations, en favorisant la coopération entre le véhicule et son environnement (piétons, infrastructure, ...), elle permettra de répondre à une multitude de besoins et de cas d'usages, notamment en matière de sécurité véhicule, piétons, passagers etc.

### 2.1.3.2 Cas d'usage : Parking autonome

Les véhicules pourront se garer sans conducteur avec l'aide de l'infrastructure 5G. En effet, le conducteur déposera son véhicule à l'entrée du parking et la voiture partira se garer seule. Une application lui donnera l'ordre de revenir dans la zone de sortie de manière automatique et planifiée.

### 2.1.3.3 Cas d'usage : Platooning (convoi de véhicules)

Il s'agit d'éviter les collisions entre véhicules qui se suivent en convoi (platoon en anglais). L'idée est donc de garantir un niveau de sécurité élevé au travers d'échanges d'informations entre les véhicules. Là encore les flux doivent être identifiés, isolés, priorisés, sécurisés et fiabilisés.

### 2.1.3.4 Cas d'usage : augmenter le niveau de sécurité des transports, participer à la fluidification du trafic et la réduction de la pollution

La voiture est un objet connecté, échangeant des informations avec les plateformes de gestion des villes/territoires/opérateurs routiers. Couplé avec les informations provenant d'autres capteurs installés le long des routes, dans les villes et territoires, les véhicules auront une meilleure connaissance des dangers potentiels (comme la présence de piétons/cyclistes non visible des conducteurs), ce qui permettra notamment de mieux anticiper leurs itinéraires, de trouver plus rapidement des places de parking, etc. Notons que les véhicules adoptant une conduite plus souple polluent moins (moteur thermique) ou ont une plus grande autonomie (véhicule électrique).

### 2.1.3.5 Des exigences particulièrement fortes pour les véhicules autonomes

Le secteur du véhicule autonome combine des exigences hautement critiques. L'application des cas d'usages fait face à 2 enjeux forts : la sécurité des passagers et piétons, d'une part, et la continuité de service sur un ou plusieurs pays (roaming), d'autre part.

<sup>3</sup> [Voiture autonome : l'ONU adopte 8 règles pour son développement \(autonews.fr\)](https://autonews.fr)

Lorsqu'il s'agit de préserver la sécurité des passagers et des piétons, plusieurs exigences sont sollicitées :

- Des latences très basses (quelques millisecondes) pour avoir le temps de détecter et de réagir à des situations parfois dangereuses et potentiellement à grande vitesse.
- Des échanges à très haute fiabilité (99,999%) : l'infrastructure 5G doit permettre des échanges ultra fiables pour assurer la transmission des messages lors de situation d'urgence. Pour ces types d'échanges, la connexion 5G de type URLLC (« Ultra Reliable and Low Latency Communication »)<sup>4</sup> sera nécessaire.
- Des échanges hautement sécurisés : La voiture connectée peut être la cible de nombreuses attaques cyber à distance. L'infrastructure 5G doit permettre d'avoir le niveau de sécurité approprié pour permettre des échanges d'informations très sécurisés.

D'autres exigences telles que la sobriété dans la consommation des données et la maîtrise énergétique sont également importantes pour les échanges de type V2X<sup>5</sup>.

## 2.1.4 Scénario 4 : Santé et hôpital du futur

### 2.1.4.1 Description

Dans un contexte de crise sanitaire, l'hôpital et la santé en général sont au cœur des préoccupations sociétales. Leur modernisation par le numérique et la 5G apparaît comme un enjeu majeur. De nombreux projets européens (5G PPP) comme « 5G Tours »<sup>6</sup> avec la participation du centre hospitalier de la ville de Rennes, ont travaillé à créer les conditions pour le développement de nouveaux services hospitaliers. Si le numérique au sein de l'hôpital est un enjeu majeur pour l'amélioration de la prise en charge des patients, pour l'optimisation du parcours de soins ou pour la création de nouveaux services, la décentralisation des soins et la prise en charge à domicile sont elles aussi au cœur des préoccupations actuelles. Ces cas d'usages ont été introduits dans le document du CSF « Infrastructures Numériques » intitulé « Faire de la 5G un atout pour le secteur de la santé » (matinée thématique du 25 mai 2021)<sup>7</sup>.

### 2.1.4.2 Le cas d'usage de la 5G pour le bloc opératoire connecté

Le bloc opératoire est un lieu où la télé chirurgie prendra toute sa place au fil des années et de la modernisation de l'hôpital par le numérique. Dans un premier temps, il s'agira de collaborer à distance via des outils en temps réel permettant de travailler depuis plusieurs endroits dans un bloc opératoire donné (La formation étant un enjeu crucial dans les hôpitaux). La haute résolution de l'imagerie et le besoin temps réels confèrent à ces usages un aspect à forte criticité.

L'assistance au geste opératoire avec l'apport de la réalité augmentée constitue une étape formidable dans l'amélioration des usages existants.

Enfin, l'opération réalisée entièrement à distance augmentera encore cette criticité avec des besoins de latence et de fiabilité extrême.

<sup>4</sup> Les communications critiques à très faible latence et très haute fiabilité (URLLC - Ultra Reliable Low Latency Communications).

<sup>5</sup> Communication de véhicule avec tout (en anglais, Vehicle-to-Everything V2X) ou Véhicule-à-Tout est un système de communication véhiculaire qui permettra aux véhicules d'échanger des informations entre eux, avec les infrastructures et les piétons.

<sup>6</sup> [5G-TOURS < 5G-PPP](#)

<sup>7</sup> Ibid.



Figure 5: Le bloc opératoire du futur [source : CSF IN]

Il faut également considérer la multiplicité des usages au sein du bloc opératoire comme l'accès aux données des patients en temps réels qui seront cloudifiées.

Ces usages variés à forte criticité demanderont probablement de travailler avec une infrastructure dédiée permettant des performances améliorées telles que des latences faibles et une forte résilience. La multiplicité de ces usages et leur besoin propres dans une salle d'opération vont nécessiter de faire appel à des fonctionnalités de slicing avancées pour identifier et isoler de manière intelligente les différents flux et services.

#### 2.1.4.3 Les cas d'usage de la 5G pour la médecine nomade et à domicile

La crise sanitaire a montré que les réseaux mobile et fixe pouvaient soutenir de nombreux usages à distance. Les téléconsultations médicales sont d'ailleurs devenues un enjeu important pendant cette crise avec une augmentation spectaculaire de leur nombre pendant le premier confinement.

Si les réseaux ont permis la démocratisation de la téléconsultation, il faudra à l'avenir des débits plus importants ainsi qu'une latence plus faible pour rendre ces usages pérennes.

A cela on peut ajouter les réunions pluridisciplinaires à distance entre médecins qui pourront s'échanger des données critiques à haute définition.

L'augmentation du soin à domicile pour les personnes âgées va lui aussi nécessiter des communications sécurisées à haute fiabilité.

Enfin on peut ajouter le cas d'usage très critique de l'ambulance connectée qui échangera des données critiques avec l'hôpital ou le patient en situation de mobilité.

Ces usages et les flux associés, comme pour le bloc opératoire du futur, requièrent des performances singulières et critiques qui nécessiteront une fois encore des capacités d'identification, d'isolation et de traitement individualisé.

## 2.1.5 Scénario 5 : Industrie 4.0

### 2.1.5.1 Description

L'industrie 4.0 est, avec le véhicule connecté, le secteur pour lequel l'écosystème 5G se développe le plus rapidement. De nombreux usages ont été évoqués lors de la standardisation des fonctionnalités URLLC. Aujourd'hui de nombreux projets au niveau européen ainsi que des collaborations nationales (Schneider co-innovation<sup>8</sup>) travaillent à valider les usages les plus ambitieux (SMART5G<sup>9</sup>).

De plus, l'industrie 4.0 fait face à de nombreux enjeux que ce soient les gains de productivité et d'efficacité, l'agilité et la flexibilité de la production, la compétitivité et la prise de décision rapide, l'optimisation du temps de fonctionnement, des exigences accrues en matière de santé et de sécurité, des interactions en temps réel avec l'écosystème des partenaires, durabilité et production verte et enfin une recherche et ingénierie de haute qualité. Tout cela concourt à une forte adhérence envers la nouvelle technologie 5G.

L'industrie 4.0 couvre différents usages et différents secteurs. Pour comprendre les besoins de l'industrie 4.0, nous pouvons identifier quatre grands axes que sont la production automobile, la fabrication discrète, l'industrie de transformation et la logistique. Chacun de ces secteurs a des caractéristiques différentes mais ils représentent une large majorité des besoins de l'industrie 4.0.

Secteur industriel	Caractéristiques
<b>Automotive</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrie hautement automatisée, intégrée et standardisée</li> <li>- Forte présence de fabricants et de fournisseurs en Europe</li> <li>- Solutions évolutives et approche de mise en œuvre de type « un à plusieurs »</li> </ul>
<b>Fabrication discrete</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industries (sous-)spécialisées très diversifiées.</li> <li>- Forte présence avec des sites de fabrication de petite, moyenne et grande taille</li> <li>- Accent mis sur l'innovation et l'efficacité en vue de la production de lots de taille 1</li> </ul>
<b>Industrie de transformation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installations de taille moyenne à très grande, avec des exigences de fonctionnement sans faille. Flexibilité accrue dans les scénarios de déploiement difficiles. Accent mis sur le travailleur augmenté, la santé et la sécurité, et le développement durable</li> </ul>
<b>Logistique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toutes les marchandises sont connectées dans une chaîne d'approvisionnement et de demande adaptable</li> <li>- Automatisation axée sur l'efficacité</li> <li>- Se concentrer sur les petits gains individuels avec une grande évolutivité des volumes</li> </ul>

<sup>8</sup> Premier réseau privé 4G/5G de bout en bout, supportant le network slicing, dans une usine de Schneider Electric en France dans le cadre d'un partenariat de co-innovation : [Première dans l'industrie 4.0 : Orange et Nokia déploient dans une usine française un réseau privé 4G/5G supportant le Network slicing<sup>1</sup> | Orange Com](#)

<sup>9</sup> <https://5gsmart.eu/>

Voici quelques cas qui illustrent le besoin en connectivité pour ces quatre typologies d'utilisation :



Figure 6: Connectivité et Industrie 4.0 [source : Nokia]

Les technicentres de maintenance et de production de la SNCF font également parties de ces scénarios. Une trentaine de cas d'usage ont déjà été formalisés et documentés pour les besoins industriels. Cette base est en constante évolution avec la transformation de l'industrie



Figure 7: Connectivité et Industrie 4.0 [source : SNCF]

### 2.1.5.2 Cas d'usage : le jumeau numérique d'une usine.

Surveiller et visualiser les données de l'usine sous forme de jumeau numérique grâce à l'analytique avancée, l'exploration de données, l'apprentissage automatique et l'IoT.

### 2.1.5.3 Cas d'usage : le Travailleur connecté

La distribution de contenu numérique, augmenté ou virtuel sur l'appareil du travailleur augmenté, y compris l'assistance d'experts à distance et les vêtements connectés.

#### 2.1.5.4 Cas d'usage : les Véhicules guidés automatisés (AGV).

Ce cas d'usage est l'un des plus discutés actuellement lorsqu'il est question d'industrie 4.0. Il s'agit majoritairement de contrôle du mouvement, flux vidéo, détection, calcul de périphérie locale et localisation de véhicules (logistiques) guidés autonomes.

## 2.2 Exigences techniques

Les exigences techniques sont très variées dans les cas d'usage qui ont été présentés dans cette partie. Ils s'expriment en latence (temps de réponse du réseau), en débit (descendant ou montant selon les cas), en couverture, en disponibilités, en fiabilité et bien évidemment en termes de sécurité.

Certains cas d'usages présentent des exigences dites critiques, avec par exemple des latences de quelques millisecondes qui ne peuvent être assurées par un réseau mobile commercial grand public traditionnel. De même les débits montants qui sont attendus aux entrées des gares pour les usages ferroviaires ne peuvent être supportés par un réseau grand public.

Les aspects temps réel et situation exceptionnelle ajoutent également de la complexité quant au dimensionnement de tels réseaux. Il devient évident que la réponse à de telles exigences, parfois combinées, requiert un réseau très agile en termes de mise à disposition de ressources (incluant des infrastructures dédiées) différenciées et hiérarchisées.

Le tableau suivant souligne les exigences spécifiques des cas d'usage :

	Cas d'usages	Latence	Débit	Couverture	Fiabilité/Disponibilité	Sécurité
<b>Les gares SNCF – espaces recevant du public et espaces privés</b>	Bulles tactiques dédiées à une gestion de crise		Garantie	Dédiée	Très haute	Haute
	Décharge de données et de maintenance prédictive		Haut débit montant		Haute	Substantielle
<b>Le Réseau Ferré National (RFN)</b>	Flux vidéo montants pour la sécurité		Haut débit montant	Couverture continue le long des voix ferrés	Haute	Substantielle
	Visualisation du passage à niveau ou équivalent				Haute	Haute
<b>Santé et hôpital du futur</b>	La 5G pour le bloc opératoire connecté	Très basse latence	THD		Très haute	Très haute
	La 5G pour la médecine nomade et à domicile	Très basse latence	THD	Couverture nationale	Très haute	Très haute
<b>Véhiculaire</b>	Parking autonome					
	Platooning	Très basse latence			Très haute	Très haute
	Meilleure sécurisation des transports, Fluidification du trafic et réduction de la pollution.				Haute	
<b>Industrie 4.0</b>	Le jumeau numérique d'une usine.				Haute	Haute
	Le Travailleur connecté				Haute à très haute	Substantielle
	Les Véhicules guidés automatisés (AGV).	Très basse			Haute	Très haute

Chaque cas d'usage étudié est spécifique et diffère par sa nature et donc par ses exigences.

La plupart des cas d'usages illustrés dans ce document requièrent des performances réseau spécifiques et plus exigeantes que celles délivrées par un réseau 5G classique grand public.

Certains services comme le platooning ou l'utilisation de robots autonomes requièrent des latences extrêmement basses de l'ordre de la milliseconde de bout en bout. Le besoin en ressource spectrale dans le sens montant (Uplink) assurant des débits importants est également très important notamment pour tous les usages vidéo hautes qualités.

Néanmoins, il convient de noter que la disponibilité et la fiabilité sont les plus connus de ces scénarios. La criticité des usages présentés concerne en grande majorité l'assurance que le service sera délivré de manière garantie partout et à tout moment. Bien évidemment, la couverture est également un enjeu important.

Enfin, la difficulté à réaliser certains cas d'usages repose sur la multiplicité des exigences critiques en simultanée (comme cela peut être le cas pour les exigences de type véhiculaires). En effet, offrir à la fois un débit important, une latence très basse et une fiabilité très forte peut se révéler difficile d'un point de vue technique, d'autant que certaines solutions et paramétrages peuvent se révéler contradictoires et parfois couteux.

### 2.3 L'apport de la 5G et du slicing

L'apport du « slicing » relève principalement de l'encapsulation hiérarchique et fonctionnelle des flux et ressources (physique et logique), de l'isolation d'un service ou d'un utilisateur plus simplement. Cette encapsulation va permettre de dissocier d'un point de vue logique et physique les services, groupes de services, utilisateurs et groupes d'utilisateurs en leur assurant un traitement spécifique de bout en bout ou sur une partie spécifique du réseau.

Si la capacité du réseau à bénéficier d'un traitement particulier (exemple du débit garanti) existe déjà en 4G, une telle hiérarchisation n'était pas possible. On peut maintenant décider d'allouer un slice à une entreprise puis à l'intérieur de ce slice entreprise, il devient possible de définir des slices pour différents types d'usages ou pour différents secteurs de l'entreprise ou bien encore pour différents types d'utilisateurs.

Cette capacité du slicing à monopoliser des ressources de manière dédiée et dynamique voire automatique est totalement nouvelle et doit permettre de déployer tous les types de services que nous venons de discuter dans cette partie.

Bien évidemment, le déploiement de ces scénarii ne serait pas possible avec le slicing seul. D'autres briques technologiques sont nécessaires, le cœur 5G autonome dit « standalone » tout d'abord, des capacités d'automatisation de la chaîne de bout en bout et bien souvent des applications qui devront être au plus proche de l'utilisateur final (on parle alors d' « edge computing »).

### 3 LE SLICING, QU'EST-CE QUE C'EST EXACTEMENT ?

Une des capacités phares de la 5G, notamment à destination des entreprises, repose sur le concept de découpage du réseau (ou « slicing » ou encore « network slicing »). Ces tranches de réseau (ou slices) peuvent être considérées comme des réseaux logiques de bout-en-bout, personnalisés en termes de capacités 5G, déployés puis opérés sur une infrastructure partagée ou dédiée.

Ce réseau logique de bout en bout peut être à destination d'un service, d'un ou plusieurs utilisateurs, ou même d'une zone géographique.

Le slice pourra recevoir un traitement particulier sur le réseau de bout en bout de manière temporaire (par exemple à la demande) ou permanente. Etant identifié de bout en bout, le slice pourra recevoir un traitement différencié sur l'ensemble ou sur une partie des ressources et de l'infrastructures du réseau.

Cette différenciation concerne l'ensemble des ressources et infrastructure physique réseau. Cela se reflétera sur tous les indicateurs de performances de connectivité, à savoir : débit, couverture, latence, résilience, disponibilité, sécurité.

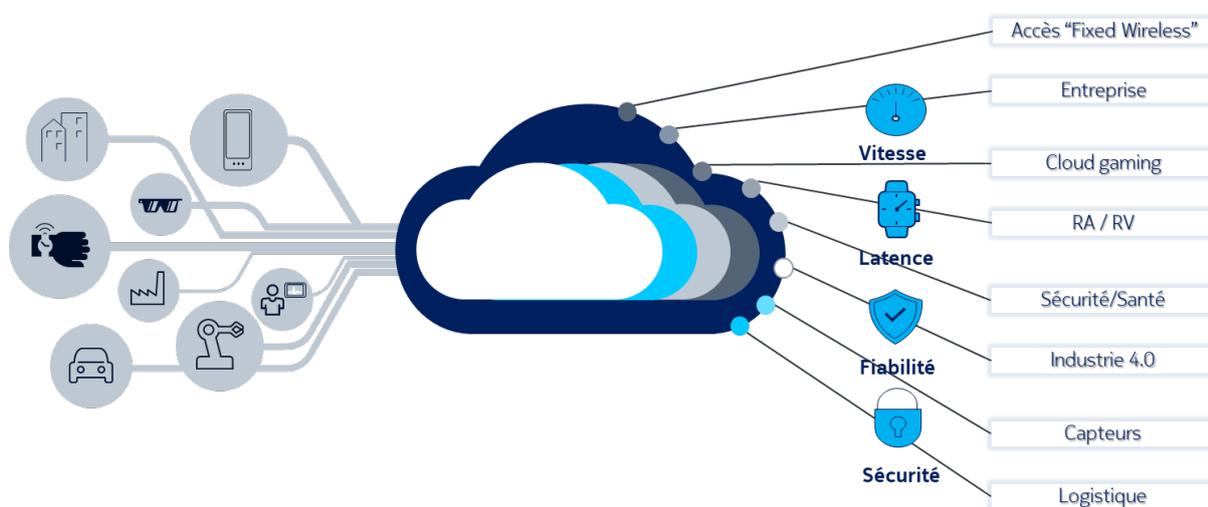


Figure 8: « Service réseau privé » [source : Nokia]

A titre d'exemple on pourrait imaginer un groupe d'utilisateurs bénéficiant de mécanismes lui octroyant une latence réduite. Une offre de slicing pour des clients de type entreprise leur permettrait d'obtenir des débits garantis lorsqu'ils sont en mobilité. Elle permettrait, de manière temporaire, aux équipes d'une chaîne TV, d'envoyer leur flux vidéo de manière prioritaire et hautement sécurisée.

En d'autres termes le slicing, associé aux capacités de la 5G, c'est l'offre de réseau sur mesure.

Cela va permettre de répondre à une multitude de besoins à la fois des clients grand public mais surtout à destination de l'industrie, des entreprises, des villes et bien d'autres secteurs (santé, énergie...).

#### 3.1 Comment cela fonctionne-t-il ?

Le slicing fonctionne à l'aide d'un identifiant de bout en bout. Un S-NSSAI (« Single-Network Slice Selection Assistance Information ») identifie une tranche de réseau dans les messages de signalisation 3GPP du réseau de bout en bout. Il est unique et connu par le terminal, le RAN et le CORE et les différentes interfaces.

Un S-NSSAI est composé de :

- Un **Slice Service Type (SST)**, qui fait référence au comportement attendu de la tranche de réseau en termes de fonctionnalités et de services ;
- Un **différenciateur de slice (SD)**, qui est une information facultative complétant le type de service de slice pour différencier plusieurs tranches de réseau du même type de service.

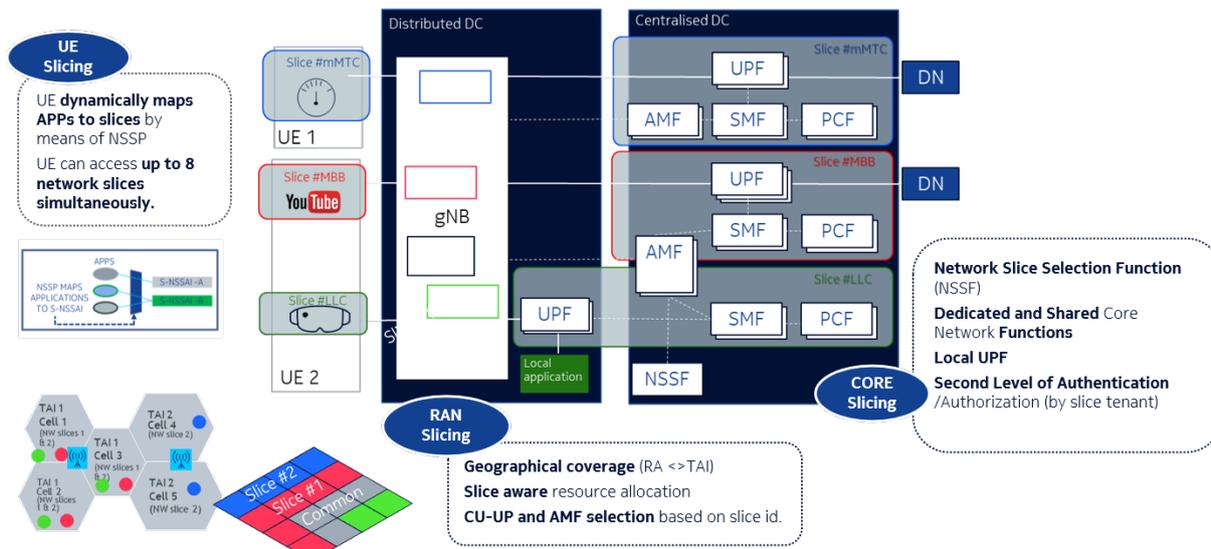


Figure 9: Fonctionnalités pour le slicing 5G [source : Nokia]

De nouvelles fonctions et procédures ont été introduites dans la 5G au niveau des terminaux, du réseau d'accès radio (RAN) et du cœur de réseau (CORE) par le standard 3GPP (8.3).

### 3.2 L'isolation des ressources et la QoS différenciée

Les identifiants de slicing doivent permettre aux éléments de réseau de réaliser une différenciation des ressources attribuées à un utilisateur ou un service donné. Ce traitement peut être réalisé soit directement par identification des slices au niveau des éléments de réseau soit par l'intermédiaire de paramètres de QoS (« Quality of Service » pour qualité de service en français) attachés au slice en question. C'est ce second choix qui permettra une plus forte granularité des traitements. La variété des paramètres de QoS définis dans le réseau 5G est importante. En effet le scalaire 5QI est composé de plusieurs caractéristiques qui peuvent être utilisées de bout en bout par les éléments de réseaux pour traiter les flux de manières dédiées (8.1).

Si la norme n'impose rien, elle propose des valeurs communes de référence pour des services types qui pourront aider à la continuité de traitement entre différents réseaux comme c'est le cas pour la voix par exemple (8.2) :

QCI/5QI	Resource Type	Priority*	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
1	GBR	2	100ms	10 <sup>-2</sup>	Conversational Voice

Grâce à ces paramètres, une QoS adaptée va pouvoir être déployé dans le réseau de bout en bout.

Les identifiants de Slicing ou de QoS et les paramètres associés sont définis dans la norme 3GPP (leur paramétrage est également proposé dans la norme), les procédures qui les transportent, les négocient, les fixent ou les modifient le sont également comme nous le voyons sur la figure suivante.

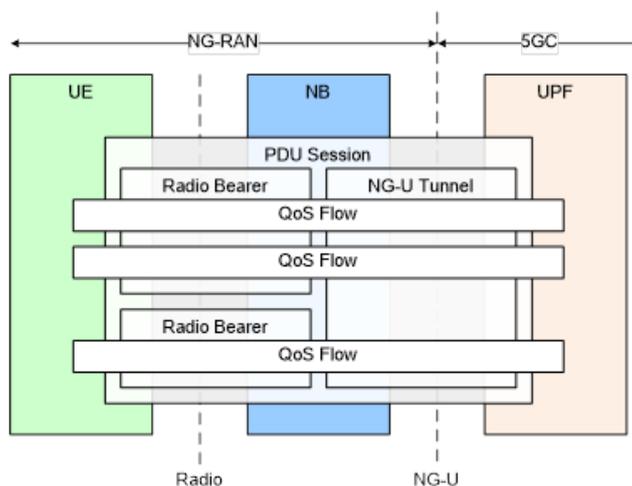


Figure 10: Quality of Services for 5G NR [source : 3GPP technical specification]

Néanmoins, cette différenciation de traitement relève essentiellement de solutions technologiques non standardisées. En effet, à partir des valeurs données aux paramètres ce sont les fonctionnalités développées par les constructeurs qui devront s'assurer du bon traitement différenciant.

Par exemple, le « scheduler » de la couche MAC au niveau du RAN est responsable de l'ordonnement des paquets entre utilisateurs et service. C'est cette fonction qui aura la responsabilité d'appliquer les paramètres de QoS attachés au slice. Qu'elle soit stricte ou relative, il devra appliquer une priorisation entre les flux en suivant le paramétrage fourni.

Allocation stricte et l'isolation des ressources :

- Par exemple un débit garanti peut être octroyé à un slice. Cela peut être intéressant pour les services de flux vidéo à débit fixe par exemple. En fonction de la position de l'utilisateur ce débit garanti va concerner un niveau de ressource spectrale variable.
- La seconde option est d'allouer au slice un montant fixe et stricte de ressource spectrale, concrètement une partie de la bande disponible. Cela peut être le cas pour un groupe d'utilisateurs pour un MVNO ou pour un site comme une usine.

Les priorisations relatives vont permettre d'appliquer une priorisation entre les différents slices par exemple (ou à l'intérieur d'un même slice) entre un service conversationnel et un service vidéo.

### 3.3 Slicing, verticaux et réseaux privés

Le slicing est une fonctionnalité essentielle 5G pour les marchés verticaux. Comme les verticales industrielles ont des exigences très distinctes, il est difficile de répondre à leurs demandes avec le réseau 4G générique. Le découpage facilite la prise en compte des exigences spécifiques de chaque industrie, en fournissant une configuration optimisée des segments de réseau virtuel adaptée à leurs besoins.

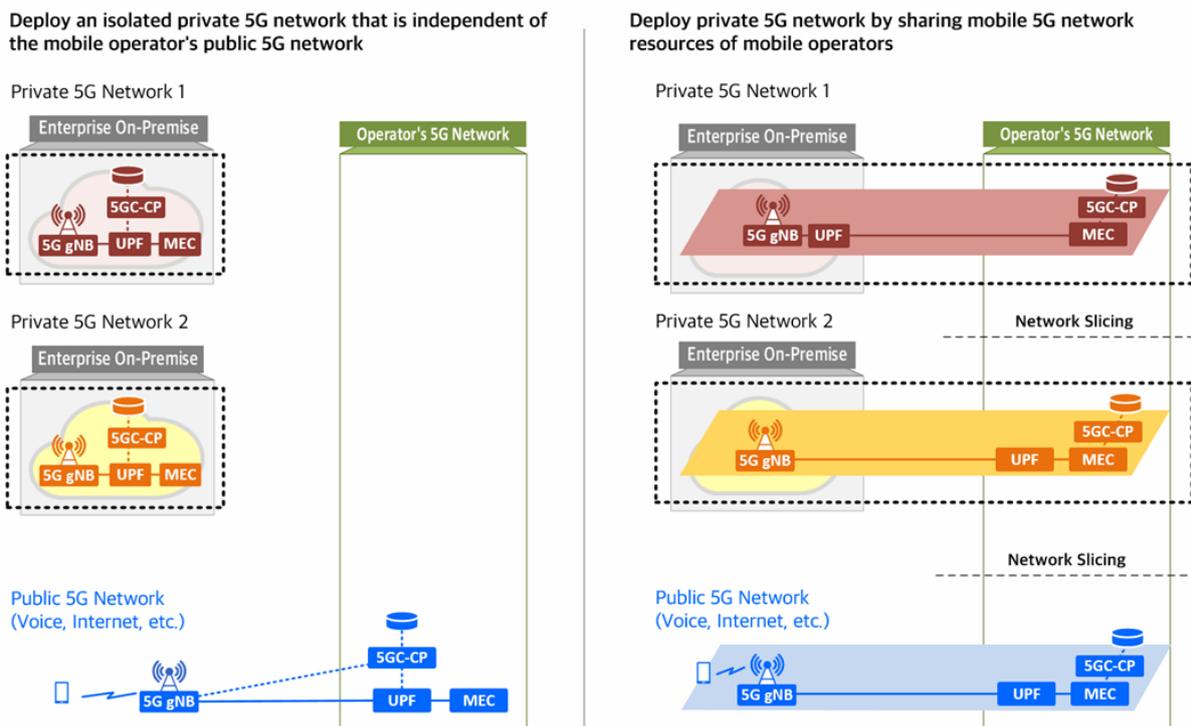


Figure 11: slicing et architecture réseau [source : Nokia]

De manière générale, il existe deux manières de partitionner une infrastructure virtuelle :

- Un segment de réseau dédié est attribué à différents clients ou groupes de clients (comme les verticales), c'est ce que nous appelons le découpage vertical.
- Ou alors les cas d'utilisation sur différentes verticales sont regroupés dans des exigences de service similaires, comme dans l'exemple de l'eMBB ou du mIoT, que nous appelons le découpage horizontal.

Les fournisseurs de services de communication peuvent fournir des tranches de réseau public aux industries. Certains ont été standardisés (par exemple V2X), d'autres peuvent être définis par l'opérateur. Il est important de noter que l'itinérance entre opérateurs n'est pas toujours possible pour les tranches non standardisées, ce qui serait pertinent dans les cas d'utilisation internationale. Le découpage en réseaux publics peut répondre aux besoins des différentes verticales, mais les ressources ne peuvent être partitionnées que jusqu'à un certain point (les ressources physiques sont naturellement limitées). Lorsqu'il existe des exigences plus strictes, par exemple liées à la sécurité des données ou qu'une plus grande flexibilité est nécessaire dans la configuration des tranches, un réseau privé peut devenir une alternative.

Les industries peuvent déployer leur propre réseau privé mobile dédié sur un espace intérieur et/ou extérieur. Ceci est principalement applicable lors de la couverture d'une zone physique bien délimitée. Lorsqu'une couverture nationale est requise, soit un interfonctionnement entre les réseaux privés et publics est nécessaire, soit une tranche du réseau public doit être envisagée. Différents scénarios de déploiement de réseaux ont été définis pour les réseaux privés [5G-ACIA], avec plus ou moins de partage entre infrastructures privées et publiques.

La normalisation du slicing pour la 5G n'est pas seulement applicable aux réseaux publics, mais s'applique également aux réseaux « non publics » (non-public networks), généralement appelés réseaux privés. Le découpage pour les réseaux privés peut être utilisé dans les cas suivants :

- Lorsque des services avec des exigences de qualité différentes sont utilisés au sein d'une même infrastructure privée.
- Lorsque plusieurs organisations partagent une infrastructure privée : par exemple pour les aéroports ou les ports, le slicing peut isoler le trafic des différentes organisations et assurer les différents SLA (service level agreement). Ici, les tranches forment un réseau privé logique.

Qu'il soit utilisé dans un réseau public ou privé, le slicing est une technique de virtualisation multi-tenant qui permet de répondre aux exigences des différents cas d'utilisation des industries et autres verticaux.

### 3.4 L'Edge, le management et l'automatisation

Là encore, des confusions peuvent exister entre ces notions. La principale raison de ces confusions est que l'ensemble de ces briques technologiques concourent ensemble à faire de la 5G la technologie qui répondra aux promesses initiales ; à savoir, déployer de manière temps réel des services à fortes valeurs ajoutées pour le grand public mais aussi pour les verticaux les plus critiques.

La seconde raison est que ces notions sont interdépendantes quand il s'agit de déployer des services dit « critiques ». Il n'est pas question de déployer des services très basse latence (URLLC pour ultra reliable and low latency communication) sans déployer des serveurs de type « edge » à proximité de l'utilisateur. De même, il n'est pas possible de déployer des slices à la demande sans la capacité d'automatisation du réseau.

Le slicing est hiérarchiquement la fonction qui permet l'identification et l'isolation du besoin. Il permet ensuite de monopoliser les ressources et différentes fonctions et capacités. L'Edge et l'automatisation font partie de ces fonctions. En outre, il est possible de déployer des slices statiques et sans edge, mais le support de certains services serait très compliqué voire impossible dans ces conditions.

## 4 QUEL EST L'AGENDA DU SLICING ?

### 4.1 Agenda de déploiement : cœur SA, évolution du SI, ...

Le déploiement du slicing se déroulera en plusieurs phases soumises à l'évolution et la maturité des standards et des produits. Dans une première phase, le déploiement concernera des slices statiques, pour lesquels l'allocation du spectre et du cœur est entièrement dédiée au slice. La deuxième phase devrait apporter des solutions plus dynamiques, à la fois en gestion de l'allocation des ressources aux différents slices et en souplesse de gestion du cycle de vie des slices. L'automatisation des opérations de slices et l'ouverture du réseau avec des fonctions d'exposition des services de slice aboutiront, dans une troisième phase, à un nouveau modèle de déploiement de network slice-as-a-service.

Avec ce modèle, une entreprise ou un industriel pourra bénéficier d'une offre de service de slice de la même manière qu'il peut aujourd'hui bénéficier des offres de services cloud de Amazon, Google, etc. Les différentes phases s'échelonnent depuis 2021 jusqu'à 2024 et au-delà selon la GSMA<sup>10</sup>. Mais la réalité commerciale dictera l'arrivée sur le marché des fonctionnalités de slicing dans les produits, avec un probable décalage dans le temps de ces différentes phases.

Les solutions techniques s'appuieront d'abord sur les fonctionnalités de slicing du cœur de réseau, puis intégreront progressivement les mécanismes de slicing du segment RAN. L'intégration du transport dans les solutions de slicing de bout-en-bout nécessitera plus de temps en raison des différents segments (fronthaul, midhaul, backhaul) et des variétés de technologies (optique, micro-onde, IP/MPLS) à prendre en compte. Il faudra attendre la maturité des standards et l'adoption de la technologie SDN (Software Defined Networks) à plus grande échelle pour que le slicing dynamique du segment de transport voit le jour.

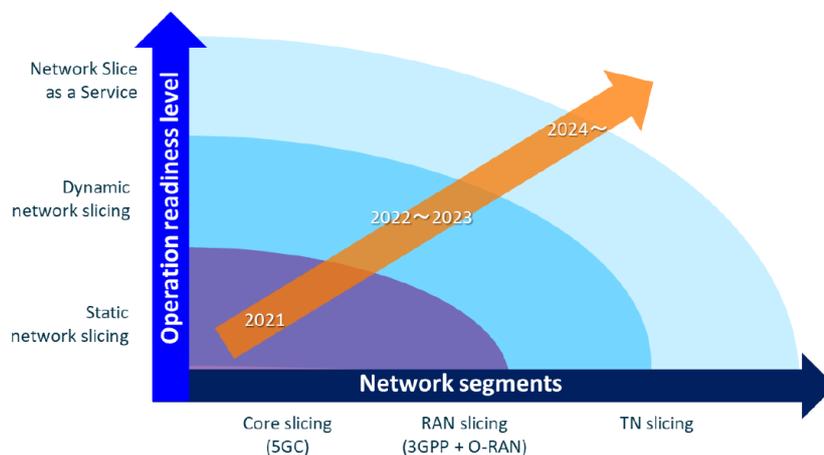


Figure 12: Les différentes phases de déploiement du slicing [source : GSMA]

Tout comme les équipements d'infrastructure réseau, les terminaux sont disponibles à peu près 18 mois après la finalisation d'une version du standard. Ainsi, les premiers terminaux compatibles avec la release 16 de la 5G, officiellement gelée en juillet 2020 commencent à apparaître depuis le début de l'année 2022. Leur adoption massive par le marché prend en général quelques semestres.

<sup>10</sup> GSMA NG.127 E2E Network Slicing Architecture v1.0 (June 2021)

Nous voyons ainsi l'adoption massive de la release 16 (et donc des améliorations significatives quant à l'utilisation de la 5G en milieu industriel) plutôt en 2023, 2024, ce qui laisse le temps aux opérateurs de préparer l'introduction d'un cœur 5G, indispensable au slicing et aux autres fonctions avancées de la 5G.

Enfin, il est important de noter que le principal moteur de développement des composants pour les terminaux des quelques multinationales sur ce marché (Qualcomm, Mediatek, Samsung) sont les téléphones. Ainsi, le marché spécifique des objets industriels critiques doit se reposer sur ces composants surdimensionnés pour ce marché. Seuls quelques constructeurs ont choisi de concevoir des composants spécifiques et optimisés pour les objets connectés autres que les smartphones.

## 4.2 Les standards et leurs évolutions

Avec la 4G, la différenciation des services était possible en utilisant les paramètres standardisés de gestion de la qualité de service. Seules des fonctionnalités limitées telles que le routage par nom de point d'accès (APN) ou le réseau central multi-opérateurs (MOCN) étaient réellement disponibles pour appliquer un cloisonnement.

La 5G permet d'introduire le « slicing » de bout en bout, uniquement à partir de la mise en œuvre du réseau cœur 5G (5G-SA). Le slicing du réseau dépend de plusieurs techniques de pointe qui ont été introduites par divers organismes de normalisation. L'alliance Next Generation Mobile Networks (NGMN)<sup>1112</sup> a été la première à introduire le concept de slicing de réseau, mais la normalisation la plus importante provient du 3GPP. Dès la version 15 pour la 5G, le concept de slicing est introduit et se base sur 3 types de service : eMBB, URLLC et mMTC (aussi appelé MIoT) (Figure ci-dessous). Dans chaque version suivante, le slicing du réseau a été encore amélioré, car il s'agit d'une caractéristique essentielle de la norme 5G. Le 3GPP fournit une normalisation pour le cœur, le RAN, les réseaux de transport, la sécurité et la gestion de bout en bout.

### 3GPP Timeline

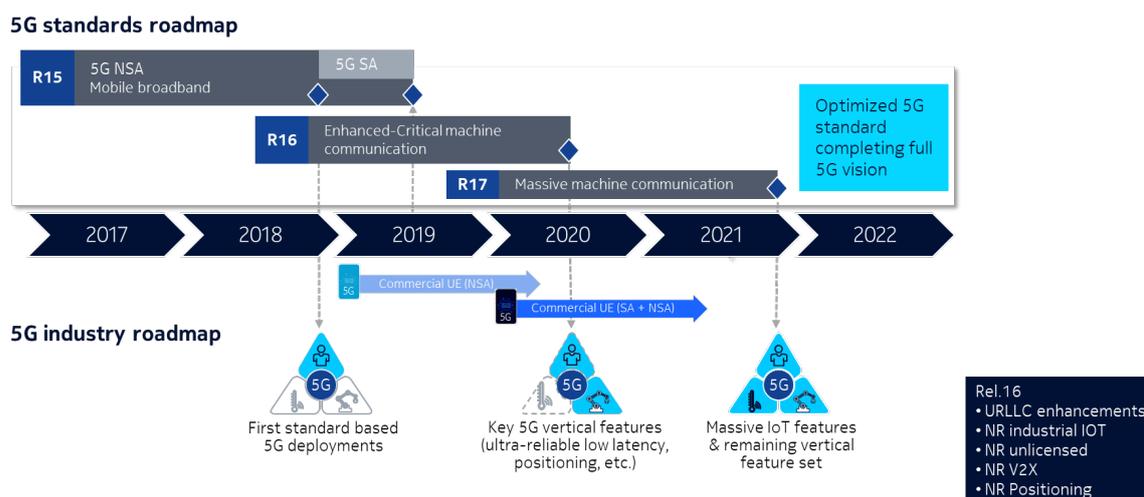


Figure 13: Release 5G du 3GPP et types de services (Slicing Service Type – SST) [source : Nokia]

D'autres organismes de définition de normes fournissent des aspects supplémentaires nécessaires à la mise en œuvre d'un slicing complet de bout en bout. L'Institut Européen des Normes de Télécommunications (ETSI) a défini

<sup>11</sup> Next Generation Mobile Networks Alliance [NGMN Alliance]. (2015, Feb. 17). "5G White Paper", Version 1.0

<sup>12</sup> NGMN Alliance. (2016, Jan. 13). "Description of Network Slicing Concept", Version 1.0

comment l'infrastructure virtuelle doit prendre en charge le slicing, avec son architecture NFV et son modèle d'information de slicing<sup>13</sup>. De plus, l'ETSI a standardisé le Multi-Access Edge Computing (MEC) pour la prise en charge des cas d'utilisation Edge. A l'heure actuelle, ils ont également spécifié la prise en charge MEC du Network Slicing<sup>14</sup>, et la manière dont l'orchestration des ressources et des services de plusieurs domaines administratifs pourrait faciliter cela. La GSMA a introduit le concept de modèle de tranche de réseau générique (GST), une méthode courante à laquelle l'industrie peut se référer pour décrire les caractéristiques de toute slice<sup>15</sup>.

Les normes liées au réseau défini par logiciel (SDN) ont évolué, car le concept de réseau logique pour le slicing est basé sur le SDN. L'Open Network Foundation (ONF) a défini un protocole standard OpenFlow qui peut contrôler le plan de transfert, pour implémenter le slicing dans le réseau de donnée<sup>16</sup>. L'Internet Engineering Task Force (IETF) a fourni des normes pour prendre en charge le slicing dans le réseau de transport, avec des protocoles de plan de contrôle (par exemple, NETCONF/BGP-LS, etc.) et des protocoles de plan de données (par exemple, SRv6, SR-MPLS, etc.).

Les différentes évolutions et définitions normatives permettant la mise en œuvre du slicing supportant les multiples et nombreux usages conduisent aussi à la définir des outils de gestion, d'orchestration et d'automatisation du réseau qui vont simplifier l'utilisation du slicing.

### 4.3 Les prochaines échéances

Le slicing, permettant d'accompagner les usages industriels et verticaux, commence à se mettre en œuvre progressivement par les opérateurs pour des clients industriels. Cette montée en puissance est aussi liée à la mise en œuvre des Release 3GPP chez les équipementiers. Les perspectives de déploiement plus massifs et d'utilisation du slicing sont aussi liées aux fréquences 5G qui pourraient être attribuées pour ces usages industriels et verticaux. L'Arcep indique regarder avec attention ces évolutions et innovations qu'apporte la 5G comme le slicing et les cas d'usages et la compatibilité avec la neutralité du net<sup>17</sup>.

<sup>13</sup> ETSI GR NGP 011 V1.1.1 (2018-09) Next Generation Protocols (NGP); E2E Network Slicing Reference Framework and Information Model

<sup>14</sup> ETSI GR MEC 024 V2.1.1 (2019-11) Multi-access Edge Computing (MEC); Support for network slicing

<sup>15</sup> GSMA Network slicing Use Case requirements avril 2018

<sup>16</sup> ONF TR-521. (2016) "SDN Architecture", Issue 1.1

<sup>17</sup> ARCEP - 5G et Neutralité du Net - Mis à jour le 20 juillet 2021 ([5G et Neutralité du Net | Arcep](#))

## 5 QUELLES SONT LES DÉFIS AU DÉVELOPPEMENT DES SLICES ?

### 5.1 La question de l'adéquation

Le premier défi auquel est confrontée l'approche des slices est la motivation même de leurs existences en fonction de l'adéquation entre les besoins et les solutions. Le point de vue des utilisateurs sera certainement dominé par la flexibilité et la correspondance au juste prix avec ses besoins. Pour un opérateur, la création de slices sera motivée par différentes raisons, depuis les besoins internes d'optimisation de son réseau, l'introduction de nouvelles fonctionnalités et la commercialisation de services à valeur ajoutée à destination de ses usagers. Le tableau ci-dessous propose une première typologie qui sera à mettre en perspective des caractéristiques réelles des slices en termes d'attributs de services (SLA).

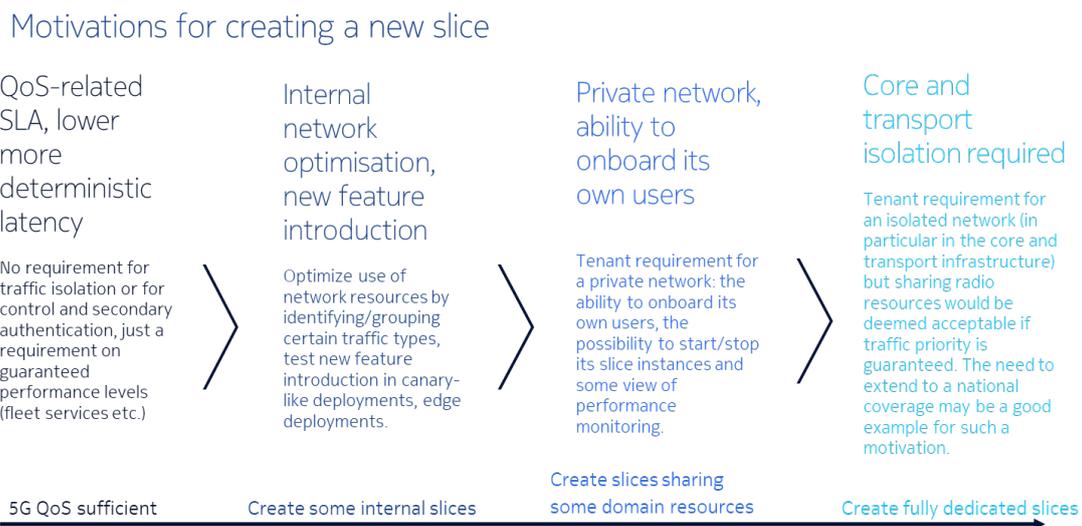


Figure 14: Les motivations pour déployer un nouveau slice [source : Nokia]

### 5.2 Le défi de la dynamique et de l'automatisation

Les besoins évoqués ci-dessus ne sont pas stationnaires, la conséquence directe en termes de slices est la capacité à répondre à des services beaucoup plus spécialisés et dédiés aux besoins particuliers d'une entreprise verticale, déployables à la demande sur des couvertures plus localisées (e.g. le campus industriel, la ville, ...) et pour des durées potentiellement très éphémères (e.g., le temps d'un évènement sportif, d'un concert). La figure ci-dessous montre les exigences croissantes en termes d'automatisation dans le cas de slices fournies par un unique opérateur sous forme de services.

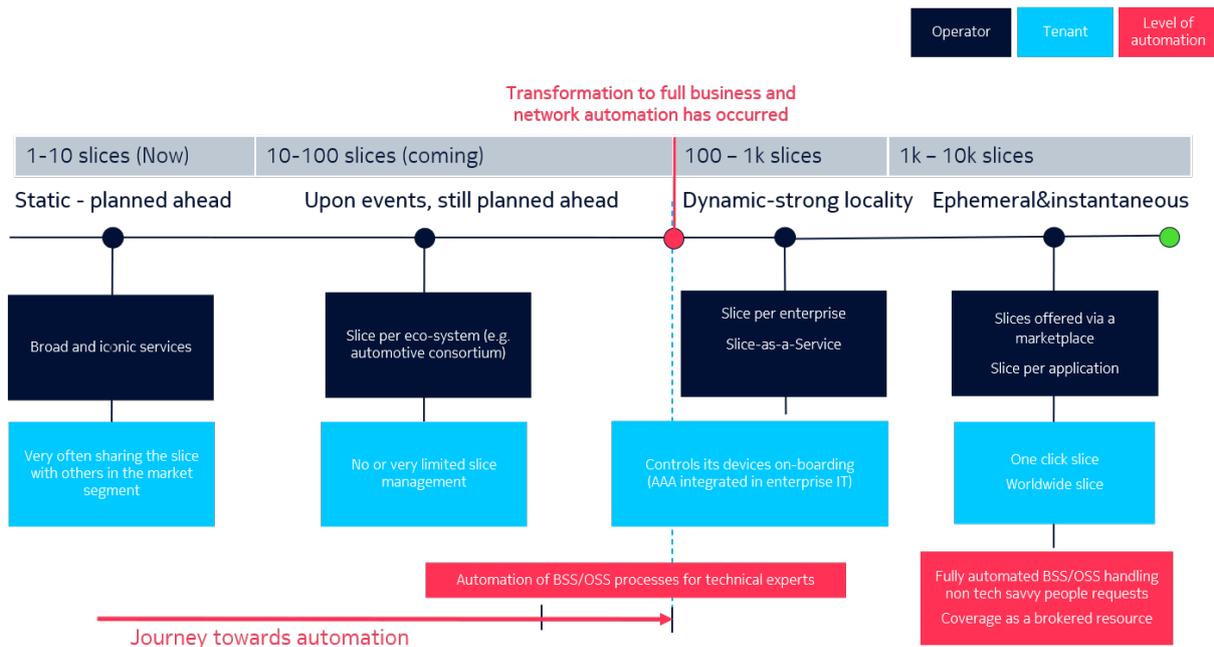


Figure 15: Evolution des offres de slices et exigences d'automatisation du réseau [source : Nokia]

### 5.3 Le défi de l'exposition et accès aux offres

La mise en adéquation des services en fonction des besoins implique naturellement une connaissance et une caractérisation des besoins. Cela peut se révéler particulièrement complexe suivant la granularité ciblée. Par exemple depuis des agrégats à l'échelle d'une entreprise jusqu'à des micro-applications exigeantes. Le pendant des besoins est l'exposition des offres, sachant que nous ne sommes plus dans un accès générique à de la connectivité égalitaire mais dans une combinatoire d'attributs de qualité de service. Au-delà des trois grandes classes de services, de nombreuses propriétés des slices sont nécessaires pour correspondre à la diversité des besoins. Schématiquement, l'utilisateur voudra disposer à tout moment des ressources nécessaires, de façon transparente et si possible en payant que ses usages réels. Que ce soit dans des modèles d'architectures privés, hybrides ou public, l'état de l'art des produits, systèmes et services doit progresser pour représenter une offre dont les attributs seront clairement identifiables par les utilisateurs. Cela intègre notamment en sus des attributs de QoS classiques (latence, gigue, débits, disponibilité, résilience, ...), les questions de sécurité et de souveraineté. A l'instar des directions prises pour le cloud en France les services de slices 5G pourraient par exemple être qualifiées par leur dépendance exclusive au droit Français et Européen.

Si les slices ne s'avéraient pas de réels facilitateurs pour les usages en conscience des niveaux de qualité de service et de sécurité, cela réduirait certainement la valeur ajoutée et par conséquent une adoption massive.

### 5.4 Le défi des standards et de la régulation

Au-delà des outils techniques nécessaires (principalement développés au 3GPP pour ce qui concerne le RAN) c'est un ensemble de prérequis sur les standards qui rendra les nouveaux usages possibles de manière fluide et maîtrisée. Ce sont notamment les notions de services évoquées précédemment qui sont visées ici. Ces dimensions étant historiquement plus dépendantes des stratégies commerciales, notamment des grandes entreprises du numérique plus soucieuse d'imposer un standard de fait que de l'interopérabilité. Le déploiement et l'usage des slices restent

donc dépendants de la disponibilité et de l'universalité/standard des APIs, des catalogues de services et autres composants permettant la mise en œuvre automatisée et dynamique des slices pour les utilisateurs.

Ces standards devront couvrir en particulier les exigences de sécurité et de résilience pour permettre aux utilisateurs une utilisation en conscience et réglementaire des slices. On n'imagine pas des slices utilisés pour de la télé-chirurgie, de la signalisation ferroviaire ou autre application critique se satisfaire du tout venant en termes d'attributs standards.

Du point de vue de la régulation se pose immédiatement la question de la responsabilité et des engagements des parties qui, quel que soient les modes et acteurs impliqués, doivent être définis clairement. Ces questions sont à mettre, à minima en perspective des efforts déjà engagés au niveau européen concernant le cloud, la 5G, l'IA et les données en général. Une stratégie commune pourrait ainsi être soumise et développée par les autorités ad hoc en particulier l'ENISA.

Enfin, l'évaluation des offres et solutions sous forme de services dynamiques engage à se reposer la question sur l'état de l'art des certifications et méthodologies existantes. Les problématiques de certification couvrant les compositions système et services et d'incrémental (dynamique d'évolution des périmètres) devraient être considérées. Le risque étant de voir diverger le cadre réglementaire par rapport aux réalités du numérique.

## 5.5 Le défi du multilatéral et de l'orientation service

De la même manière qu'il est possible de le faire aujourd'hui pour les ressources de cloud computing, des services d'intelligence artificielle, etc. (en similitude avec les offres d'Amazon et de Google), le slicing permet l'implémentation du paradigme de Network-as-a-Service.

La question du jeu d'acteurs (utilisateurs, modes privés, hybrides, public, agrégation de services numériques) est ainsi posée pour la composition et l'intégration des services numériques constitutifs des slices. Les slices devraient permettre une segmentation des usages (des différents services) plus fine et plus proche des besoins. Cette segmentation se déclinera en amont sur l'intégration d'un écosystème de services numériques porteuse de valeur (sécurité, géolocalisation, IA, services applicatifs...) et en aval sur les points d'entrée d'accès au niveau service (plateforme numérique ouvertes, Over-The-Top, ...). Parmi les questions induites ici, la gestion des droits pour ces compositions de services est posée avec des séquences de mise en œuvre inédites s'appuyant sur l'introduction des eSIM.

Les aspects économiques seront clés. Nous observons aujourd'hui outre atlantique des mouvements contestant les politiques tarifaires des grands acteurs du cloud. L'analogie avec les slices est directe et les modèles économiques devront redistribuer la valeur et les retours sur investissement équitables quelque soient les modèles d'architectures privé/hybride/public (voir à ce sujet également la partie 6).

## 5.6 Le défi sociétal et les défis énergétiques

L'impact environnemental du slicing peut être appréhendé sous deux aspects : les bénéfices intrinsèques de la fonctionnalité dans la gestion du réseau et les bénéfices induits pour d'autres secteurs.

Etant l'un des grands facteurs facilitant la mutualisation des infrastructures, le slicing permet intrinsèquement une optimisation de l'usage des ressources et donc une réduction de l'empreinte carbone. Le slicing permet d'éviter la juxtaposition de réseaux dédiés forcément surdimensionnés ayant un impact environnemental négatif.

Les effets transformatifs intéressants pour l'empreinte carbone sur d'autres secteurs sont illustrés par quelques exemples ci-après :

- Des infrastructures de logistique, comme les ports connectés (une étude sur le port de Livourne en Italie a montré un potentiel de réduction des émissions de 8% (Increasing the efficiency of port operations - Ericsson<sup>18</sup>)).
- Les transports connectés avec l'optimisation du trafic routier, le secteur du transport représentant 21% des émissions globales, le potentiel est donc significatif.
- Le secteur de l'énergie dans son ensemble. En 2050, 85% de l'énergie utilisée doit être renouvelable, ce qui nécessitera une gestion beaucoup plus fine de la production et de la distribution (du fait, entre autres, d'une production plus distribuée et plus variable).

Enfin, des concepts de slices vertueuse, vertes, où les attributs de services incluraient des paramètres fonction de l'empreinte carbone pourraient avantageusement compléter les notions de services traditionnelles. Inversement une architecture gloutonne (s'appuyant par exemple sur de multiples répliques de contenus agnostiques à l'infrastructure) pourrait être pénalisée ou soumise à contribution.

## 5.7 Le défi de la vitesse d'introduction

Les efforts engagés dans toutes les régions du monde sur les prochaines générations numériques sont titanesques. Le beyond-5G, la 6G, l'Edge, les deep tech mobilisent énormément d'énergies et de disruptions dans le monde numérique. Les slices peuvent s'inscrire dans un chemin d'évolution où les ressources numériques seront gérées de façon intelligente au plus près des besoins. Elles peuvent aussi gagner en maturité trop tard et être dépassées par des outils plus fins et performant. On peut par exemple pointer ici les approches de l'Intent-based networking et les multiples introduction et usage de l'IA, pouvant rendre caduque avant l'heure les démarches standard des slices. Le défi pour les slices est donc de trouver le bon compromis entre l'ambition et la rapidité d'introduction.

---

<sup>18</sup> <https://www.ericsson.com/en/cases/2019/increasing-the-efficiency-of-port-operations>

## 6 PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES DU SLICING

### 6.1 Perspectives économiques, secteurs applicatif principaux

Différentes études de marché ont été publiées<sup>19, 20, 21</sup> sur ce sujet. On y constate une assez grande variabilité des prédictions, qui peut aussi provenir des segments de revenu considérés (l'étude ABI inclue, outre les services de connectivités, les services de sécurité). Le marché est prévu de croître de quelques centaines de millions d'euros à partir de 2021 jusqu'à plusieurs milliards ou dizaine de milliards à horizon 2024-2027, selon les scénarios optimistes/pessimistes. L'Europe représente environ 20% de ce marché.

La production industrielle, l'énergie, le transport et la logistique, le multimédia et le divertissement, le secteur public (en particulier services d'urgence et de sécurité), la santé arrivent en tête de secteurs cités les plus porteurs pour le slicing. La figure ci-dessous<sup>23</sup> montre les différentes applications en fonction de leur maturité en termes commercial et de déploiement.

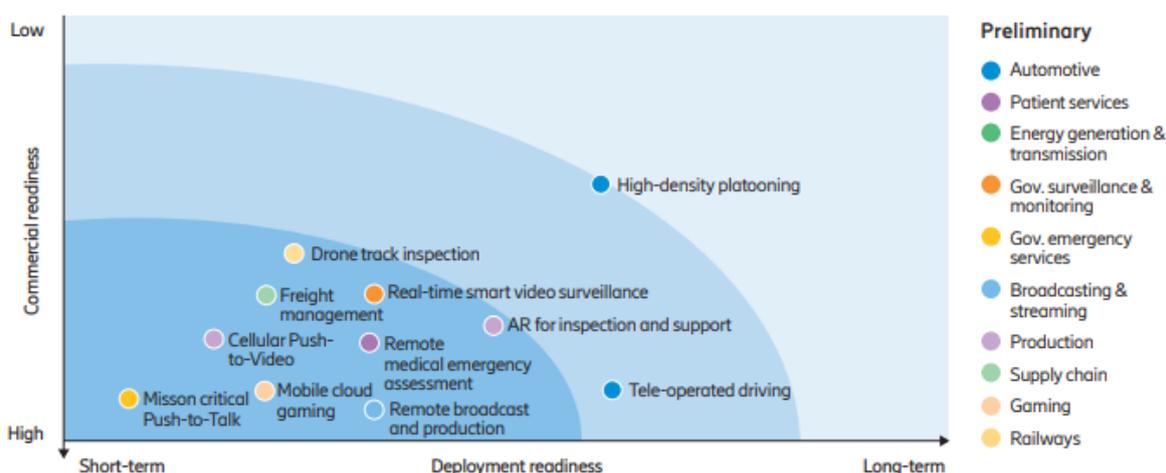


Figure 16: Exemple de cas d'usage du slicing et leur maturité [source : Ericsson<sup>18</sup>]

La crise du covid-19 a engendré une accélération des usages de bureaux distants, de services de e-santé, d'enseignement distant qui sont perçus comme autant de facteurs favorisant la croissance du marché du slicing.

### 6.2 Les modèles de commercialisation des slices

Le slicing va permettre de proposer une multitude de nouveaux services et de nouvelles offres commerciales. Qu'il s'agissent d'offres grand public pour l'accès à un service de gaming très haut débit ou bien d'offre dédiée à une usine automobile, le champ des possibles est illimité.

<sup>19</sup> <https://www.abiresearch.com/press/5g-slicing-set-propel-new-growth-industry-and-generate-revenue-us20-billion-2024/>

<sup>20</sup> <https://www.researchdive.com/5670/network-slicing-market>

<sup>21</sup> <https://www.benzinga.com/pressreleases/21/09/g23161148/network-slicing-market-size-projected-to-surpass-usd-1-936-67-million-by-2026-at-51-48-report-by-m>

Les revenus liés au slicing escomptés pour les acteurs de la filière se feront via différents canaux<sup>22, 23</sup>:

- Services à des clients existants avec de fortes exigences de services ;
- Le slicing peut permettre d'atteindre de nouveaux segments pour des clients à service critique ;
- Le slicing peut aider les opérateurs à offrir de nouveaux services en montant dans la chaîne de valeur au-delà de la connectivité (plateforme IoT, de streaming, de AR/VR, monétisation des données, applicatifs), étant entendu que dans ce domaine existe une forte compétition hors opérateurs télécom.

Différents modèles de commercialisation sont possibles<sup>23</sup>:

- B2C : Services directement facturés au consommateur pour un service premium (par exemple basse latence pour le jeu en ligne, ou accès haut débit résidentiel sur slice 5G) ;
- B2B/B2G : Une entreprise ou une institution publique est le client du slice pour un usage interne (exemple pour le fonctionnement d'une unité de production robotisée) ;
- B2B2(B2)X : le client du slice l'utilise pour vendre ses propres services à ses clients, la chaîne pouvant être longue avec l'intervention d'un ensemble de prestataires superposés le long de la chaîne de valeur.

Ericsson<sup>23</sup> estime que 25 à 30% des cas d'usage de la 5G exigeront du slicing, le cas échéant combiné avec des solutions de réseau privé. Bell Labs consulting a conduit une étude de revenue en modélisant le cas d'un grand opérateur US. Sur une hypothèse de 50 slices, une augmentation de revenue moyenne de 46% est estimée. Cependant, l'étude de sensibilité souligne l'importance de cibler avec précision les clients reconnaissant la valeur du service lié au slice (via des gains internes en termes de performance, de réductions de coûts, de rendement, de fiabilité, de sécurité ou au travers d'une valeur ajoutée pour leurs propres services commercialisés chez leur clients). Ces clients verticaux pourront optimiser le coût total de leur réseau grâce à l'utilisation d'une infrastructure partagée (par comparaison avec un réseau privé), et pourront bénéficier des slices « customisés » pour leur besoin de SLA pour élargir leur offre de service basé sur ces slices. Ils peuvent alors être prêts à payer un service premium issu du slicing, mais cela exige une politique tarifaire ajustée, ces modèles économiques sont clairement un des enjeux importants pour le développement du slicing.

En outre, les garanties fortes attendues pour les applications critiques, supportées par les slices, exigent que le modèle d'obligation contractuelle des fournisseurs de réseau se transforme pour évoluer d'une obligation de moyens vers une obligation de résultats. Cette obligation de résultats sera contenue dans des contrats des exigences du service (SLA) négociés et signés entre le client du slice et l'opérateur. L'ensemble des spécifications de niveau de service (également dénommées SLO 'service level objective' par ailleurs) associées à un accord de niveau de service à satisfaire par une tranche de réseau comprend des aspects variés qui ne se limitent pas à des critères de QoS, comme illustré par l'exemple en annexe 8.4.

### 6.3 Une étude comparative des coûts des réseaux avec slice

Bell Labs consulting a conduit une étude<sup>22</sup> des coûts totaux (TCO, *Total cost of ownership*, comprenant l'OPEX et le CAPEX matériel et logiciel) des réseaux en comparant 3 scénarios : un réseau virtualisé unique sans slice délivrant uniquement des services best effort sans la capacité de services garantis, des réseaux dédiés (des réseaux virtualisés sont mis en place pour les clients payant des services premiums, en utilisant des systèmes hardware et logiciels dédiés), et un réseau virtualisé unique utilisant des slices de bout en bout pour des services garantis.

<sup>22</sup> <https://onestore.nokia.com/asset/202089>

<sup>23</sup> <https://www.ericsson.com/en/blog/2021/5/network-slicing-a-usd-200-billion-opportunity-for-csps>

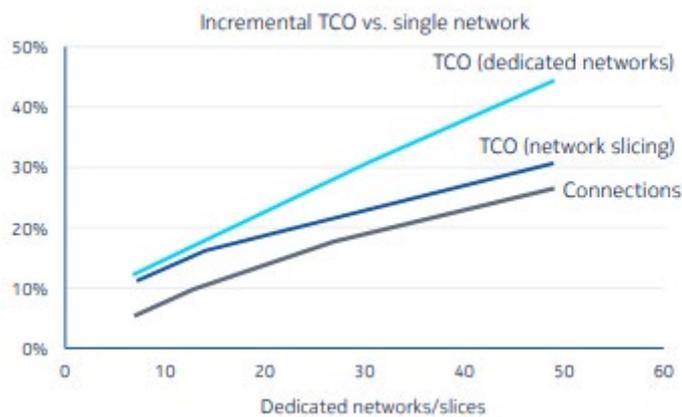


Figure 17: Croissance des connexions et du coût avec des scénarios de réseau dédié ou slicé [source : Nokia<sup>17</sup>]

La courbe ci-dessus montre le surcoût des réseaux dédiés et du réseau slicé par rapport au réseau unique sans slice, en fonction du nombre de réseaux/slices. Pour pouvoir commercialiser des services premium, le réseau slicé permet un surcoût moindre que les réseaux dédiés, avec un meilleur passage à l'échelle en fonction du nombre de réseaux/slices. En effet, lorsque le nombre de connexions augmente, les réseaux dédiés nécessitent un nombre plus important de ressource CAPEX et OPEX car l'infrastructure n'est pas partagée.

La table ci-dessous résume les points positifs et négatifs du slicing en termes d'OPEX et de CAPEX :

	Facteurs de réduction de coûts	Facteurs d'augmentation de coûts
CAPEX	<p>Moins de surdimensionnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instances de réseau déployés spécifiquement pour répondre au plus juste aux besoins des clients ;</li> <li>- Réglage plus fin des ressources grâce à l'automatisation ;</li> <li>- Multiplexage statistique sur l'infrastructure partagée.</li> </ul>	<p>Le cout du logiciel peut augmenter pour implémenter les services personnalisés nécessitant des logiciels spécifiques et les coûts associés d'installation et d'ingénierie</p>
OPEX	<p>Gain d'efficacité via l'automatisation de la gestion du cycle de vie des services</p>	<p>Les coûts de monitoring et de support peuvent augmenter avec le nombre de slices et la différenciation des besoins de qualité de service</p>

L'étude montre que le plus gros contributeur aux coûts est l'augmentation de l'OPEX avec le nombre de connexions, en particulier les coûts d'OPEX impliquant des interventions humaines, la gestion de la performance et des pannes. Augmenter le niveau d'automatisation est donc clef pour maîtriser le coût du slicing, un haut degré d'automatisation devrait tendre à ne plus voir le coût d'OPEX augmenter avec le nombre de slices.

#### 6.4 Les défis à relever pour saisir les opportunités économiques

Les études évoquées dans ce chapitre font apparaître les défis suivants qu'il convient de relever pour favoriser le développement économique du slicing :

- Sur le plan technologique, il est crucial pour améliorer les modèles de coût du slicing de développer des solutions optimisées de gestion des slices et de leur cycle de vie, des ressources associées, de leur évolution en fonction des besoins des services, d'introduire une automatisation massive, de travailler à l'interopérabilité des systèmes qui peuvent être multi vendeurs ;
- La spécification des slices requiert une compréhension détaillée des besoins (profils de trafic, couverture, performances de débits, de latence, nombre d'utilisateurs ...) exigeant une coopération étroite entre acteurs porteur de cas d'usage et fournisseurs de service réseau ;
- Les modèles commerciaux, les politiques tarifaires doivent être clarifiés pour un partage juste de la valeur, des approches expérimentales graduelles peuvent y aider, en commençant par des services de base pour évoluer ensuite vers des modèles plus avancés ;
- Les stratégies marketing, la segmentation, l'approche des clients, les processus de vente et de déploiement de services réseaux doivent être foncièrement revus à l'aune des services basés sur le slicing ;

- Une confiance entre acteurs verticaux et fournisseurs de solutions réseaux doit se développer, elle aidera à la compréhension des besoins et à l'établissement de modèles économiques adaptés. Expérimenter ensemble des pilotes de services présageant des déploiements commerciaux y contribuera ;
- Le partage de ressource entre des réseaux multiples ainsi que la « programmabilité » des ressources des slices apportent des menaces en termes de cyber sécurité. Ces menaces pourraient entraver la croissance du marché du slicing si elles ne sont pas correctement traitées. Il en va de même pour le manque de standardisation en matière de régulation de l'IoT.

Le réseau de plateformes pilotes des usages verticaux de la 5G impulsé par le CSF aidera sans aucun doute à relever ces défis en conviant les écosystèmes de partenaires à expérimenter ensemble ces problématiques par la pratique concrète, préfigurant et accélérant des déploiements commerciaux ultérieurs.

## 7 CONCLUSION

Nous l'avons vu, le « slicing », c'est le fait de réaliser et d'instancier des tranches « slices » de réseaux, c'est-à-dire de rendre disponibles des ressources quantitatives et qualitatives à la demande pour un utilisateur, un groupe d'utilisateurs ou pour un type de service donné. Le tout de manière dynamique, en temps réel (parfois éphémère) et évidemment de manière sécurisée.

Le déploiement du slicing se fera progressivement à partir de la mise en place du cœur 5G autonome dit SA (pour « Standalone »). De slice statique pour les services ou groupes de services majeurs, nous verrons apparaître des slices à forte granularité et très dynamiques à horizon 2025.

Les perspectives économiques sont très fortes. Le marché est prévu de croître de quelques centaines de millions, à partir de 2021, jusqu'à plusieurs milliards ou dizaine de milliards d'euros à horizon 2024-2027, selon les scénarios optimistes/pessimistes. L'Europe représente environ 20% de ce marché.

Afin de faire de ces perspectives économiques une réalité, plusieurs enjeux existent :

- Le premier défi auquel est confrontée l'approche des slices est la motivation même de leurs existences en fonction de l'adéquation entre les besoins et les solutions. La flexibilité des offres et la correspondance au juste prix avec ses besoins sera clé. Outre l'aspect économique manifeste, l'adéquation parfaite entre le besoin et la solution ne se fera que grâce à une co-construction telco-industrie des possibles. En ce sens les projets coopératifs nationaux et internationaux sont vus comme clés.
- Les standards doivent couvrir en particulier les exigences de sécurité et de résilience pour permettre aux utilisateurs une utilisation en conscience et réglementaire des slices.
- Du point de vue de la régulation se posera selon les usages la question de la responsabilité et des engagements des parties qui quel que soient les modes et acteurs impliqués devront être détournés clairement.
- Les modèles économiques devront redistribuer la valeur et les retours sur investissement équitables quelques soient les modèles d'architectures privé/hybride/public).
- Le slicing devra posséder un impact environnemental bénéfique à la fois intrinsèquement et de manière induite. A noter qu'étant l'un des grands facteurs facilitant la mutualisation des infrastructures, le slicing devrait permettre intrinsèquement une optimisation de l'usage des ressources et donc une réduction de l'empreinte carbone.

Si les perspectives sont intéressantes, les enjeux restent importants. Le CSF « Infrastructures Numériques », par son rôle d'accélérateur d'écosystème est et sera clé. Clé pour identifier les potentiels freins (régulation, ...) à la mise en place du slicing en France et pour trouver les solutions en associant l'ensembles des parties prenantes de l'écosystème des TICs français et européens.

## 8 ANNEXES

### 8.1 Caractéristiques de 5QI

- **Resource Type:** GBR, delay critical GBR, non-GBR
- **Priority Level:** indique une priorité dans l'ordonnancement des ressources parmi les flux de QoS
- **Packet Delay Budget (PDB):** une limite supérieure pour le temps pendant lequel un paquet peut être retardé entre l'UE et l'UPF.
- **Packet Error Rate (PER):** limite supérieure du débit de paquets qui ont été traités par l'expéditeur d'un protocole de couche liaison (RLC) et qui n'ont pas été livrés avec succès par le récepteur correspondant à la couche supérieure (PDCP). PER permet des configurations de couche de liaison appropriées.
- **Averaging window:** la durée sur laquelle le GFBR et le MFBR doivent être calculés.
- **Maximum Data Burst Volume (MDBV):** associé au type de ressource critique de retard et défini la plus grande quantité de données que le 5G-AN doit servir dans une période de 5G-AN PDB.

### 8.2 Table de référence des 5QI normalisés<sup>24</sup>

QCI/5QI	Resource Type	Priority*	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
1	GBR	2	100ms	10 <sup>-2</sup>	Conversational Voice
2		4	150ms	10 <sup>-3</sup>	Conversational Video (Live Streaming)
3		3	50ms	10 <sup>-3</sup>	Real Time Gaming, V2X messages
4		5	300ms	10 <sup>-6</sup>	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
65		0.7	75ms	10 <sup>-2</sup>	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g., MCPTT)
66		2	100ms	10 <sup>-2</sup>	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice
75		2.5	50ms	10 <sup>-2</sup>	V2X messages

<sup>24</sup> 3GPP TR 23.501 - Table 5.7.4-1: Standardized 5QI to QoS characteristics mapping

5	non-GBR	1	100ms	$10^{-6}$	IMS Signalling
6		6	300ms	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming), TCP-Based (www, email, chat, ftp, p2p)
7		7	100ms	$10^{-3}$	Voice, Video (Live Streaming), Interactive Gaming
8		8	300ms	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming), TCP-Based (www, email, chat, ftp, p2p)
9		9	300ms	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming), TCP-Based (www, email, chat, ftp, p2p)
69		0.5	60ms	$10^{-6}$	Mission Critical delay sensitive signalling
70		5.5	200ms	$10^{-6}$	Mission Critical Data (example services are the same as QCI 6/8/9)
79		6.5	50ms	$10^{-2}$	V2X messages
80		6.8	10ms	$10^{-6}$	Low latency eMBB applications (TCP/UDP-based), Augmented Reality
82		GBR	1.9	10ms	$10^{-4}$
83	2.2		10ms	$10^{-4}$	Discrete Automation (big packets)
84	2.4		30ms	$10^{-5}$	Intelligent Transport Systems
85	2.1		5ms	$10^{-5}$	Electricity Distribution- high voltage

### 8.3 Fonctions et procédures introduites dans la 5G au niveau des terminaux, du réseau d'accès radio (RAN) et du cœur de réseau (CORE)

Dans un terminal 5G, la fonctionnalité offerte par le NSSP (Network Slice Selection Policy) permet à chaque application d'être associée de manière dynamique à un slice spécifique. Chaque terminal peut accéder jusqu'à 8

slices de façon simultanée. Concernant le terminal, le slicing peut être vu comme la mise en place d'un jeu de paramètres spécifiques à la tranche considérée. Il s'agit donc de récupérer ces paramètres par un échange de signalisation avec le réseau et de l'instancier dans le terminal. Dès lors que le terminal peut supporter les paramètres spécifiques de QoS du slice, le slicing du côté du terminal n'est finalement qu'une opération logicielle ! Un terminal peut supporter plusieurs slices en parallèle tout comme il peut supporter plusieurs classes de QoS ou plusieurs PDN. La découpe en slice / PDN / classe de QoS est du ressort de l'opérateur.

Au niveau du RAN, le slice est défini par une couverture géographique, représentée par un ensemble de Tracking Area (TAI). Selon le standard 3GPP, l'application du slicing est dépendant de l'implémentation du fabricant de gNB. La politique d'allocation des ressources RAN va se faire sur la base de l'identifiant de slice (S-NSSAI) en plus des critères usuels de QoS. Le RAN va mettre en œuvre des fonctionnalités permettant d'assurer différenciation et/ou isolation des ressources radio. Les mécanismes restent assez proches de ceux connus en 4G dans le cadre des mécanismes de différenciation de QoS, tel que le « Guaranteed Bit Rate » (GBR) pour débit garanti. De plus, chaque slice dispose de ressources entièrement dédiées dans le plan de transport des données des utilisateurs (e.g. les fonctions CU-UP).

Au niveau du cœur de réseau, une nouvelle fonction NSSF (Network Slice Selection Function) permet de sélectionner les fonctions de traitement et de contrôle du trafic des terminaux sur la base de l'identifiant de slice. Certaines de ces fonctions peuvent ainsi être entièrement dédiées à l'usage d'un slice (comme par exemple pour le slice MTC). Alternativement, certaines fonctions de contrôle peuvent être partagées entre plusieurs slices. Ainsi la fonction **AMF (Access and Mobility Function)** qui gère la mobilité du terminal est commune aux slice MBB et LLC. De manière générale, chaque slice possède sa propre UPF (équivalent de la SGW/PGW de la 4G), qui peut être localisée dans un centre de données très proche du point d'accès pour diminuer la latence. Enfin, le standard 3GPP permet un deuxième niveau d'authentification offrant la possibilité à l'entreprise locataire du slice de réaliser le contrôle d'accès des terminaux à son domaine via le slice, en plus des procédures d'authentification et d'autorisation du réseau 5G effectuées par l'opérateur.

#### 8.4 Éléments de spécification du niveau de service d'un slice

- Capacité de trafic de la zone de service du slice
- Tarification
- Zone géographique de couverture
- Degré d'isolation
- Latence de bout en bout
- Bande passante
- Mobilité
- Vitesse des utilisateurs
- Densité globale des appareils utilisateurs
- Priorité
- Disponibilité du service
- Fiabilité du service
- Services applicatifs de suivi de la garantie du SLA, via les indicateurs de performance du slice ou de la performance de la qualité d'expérience des utilisateurs.
- Services d'ouverture de certaines ou parties des interfaces de gestion/ contrôle à destination du locataire du slice pour de l'auto-gestion.