

CONSULTATION ARCEP

Du 26 octobre 2018 au 19 décembre 2018

Attribution de nouvelles fréquences pour la 5G

Introduction

I. La révolution de la 5G

La 5G est une composante clé de la quatrième révolution industrielle. Avec des temps de latence extrêmement bas, la 5G ouvre un champ d'opportunités extrêmement vaste qui va en particulier révolutionner le monde industriel. Le contrôle et les opérations à distance de machines complexes, l'automatisation des chaînes de production en usine, la surveillance en temps réel des processus industriels, l'utilisation intelligente des caméras sont quelques exemples de cas d'usages. Robots, drones et véhicules pourront être pilotés à distance sur les sites industriels, les campus et les chantiers de construction.

Les principaux acteurs de la chaîne de valeur mobile : les opérateurs, les équipementiers, les fournisseurs de terminaux, les fabricants de puces électroniques, les développeurs d'applications mènent une course contre la montre. Certains media estimaient que la transition vers la 5G démarrerait plus tard, or elle s'est accélérée. La rupture technologique, avec l'explosion des smartphones, des tablettes, de la vidéo, c'est maintenant.

II. Nokia en France et la 5G

La consultation de l'Arcep intervient dans un contexte marqué, pour le groupe Nokia, par la mise en commun de compétences reconnues alliant les réseaux fixes aux réseaux mobiles. Le leader mondial avec près de 40 000 personnes dédiées à la R&D associant le savoir-faire des Bell Labs et de Nokia Technologies, est doté de l'expertise de bout en bout nécessaire à l'architecture des nouveaux réseaux de THD et de la virtualisation.

Nokia a basé en France le cœur de son développement 5G, ce qui est un atout stratégique pour notre pays. Les programmes de R&D au niveau mondial dans la 5G sont pilotés depuis la France,

Le site de Nokia Paris-Saclay est le 1er centre mondial de R&D Nokia dans le domaine de la 5G. Sur le plan des compétences, les sites français (Paris-Saclay et Lannion) maîtrisent l'ensemble de la chaîne de développement 5G, recherche, développement, intégration et déploiement.

L'enjeu majeur de la 5G est aussi de créer un environnement d'innovation ouverte qui va permettre de sceller autour de cas d'usages réels des partenariats avec les opérateurs et les industries verticales mais aussi avec l'ensemble de l'écosystème comme par exemple, ce qu'offre le smart campus de Nokia Paris-Saclay, avec notamment l'iconique Nokia Bell Labs, premier centre de recherche en Europe ainsi que l'ensemble des entreprises, universités et écoles du plateau de Saclay. Le site Nokia Paris-Saclay a été désigné par le MIT comme l'un des clusters du Top8 pour l'innovation dans le monde.

III. Les conditions du succès de la 5G

La contribution de Nokia est conforme à son expertise technique et se concentre sur les aspects techniques reliés à chaque type d'usage, maturité des technologies, quantité de fréquence nécessaire à la bonne marche d'un service, etc... Elle ne préjuge pas des modèles d'affaires que les utilisateurs développeront, qu'il s'agisse d'opérateurs de communications électroniques généralistes, ou d'exploitants « verticaux » dédiés à tel type d'usage.

De nombreux acteurs Français prennent maintenant conscience qu'il est opportun de se préparer dès à présent à la 5G. Ils considèrent qu'il n'est pas souhaitable de prendre le risque de retarder ce projet industriel et de développement de toute l'économie.

La couverture de tous les lieux qui vont porter ces nouveaux usages sur le territoire national, dans des contextes divers (dans les transports, en indoor ...) sera un enjeu fondamental. Cette couverture exige une facilité de déploiement, en matière de spectre, d'installation de nouveaux sites, à laquelle le régulateur et le législateur doivent veiller.

S'agissant de la gestion des fréquences, même si exceptionnellement, les bandes suffisantes à certains services peuvent être assez étroites, pratiquer une fragmentation en bandes non contigües ou des allocations de tailles étroites ne permettra pas de dégager une valeur ajoutée suffisante pour les nouveaux services 5G et la bonne utilisation de la technologie de « network slicing ».

Réponses aux questions

1. Favoriser l'innovation grâce à la 5G

Question n°1. Quels types de nouveaux usages ou d'améliorations des usages existants anticipez-vous avec l'introduction de la 5G ? Quels en seront les utilisateurs ? Dans quelle mesure la 5G est-elle importante au développement de ces nouveaux usages ? Quelles sont les alternatives à la 5G pour les supporter ?

Nous souscrivons largement aux exemples cités en préambule à cette question. La liste est en effet loin d'être complète tant la 5G va ouvrir de nouveaux horizons et de nouvelles possibilités dans quasiment tous les domaines de la société. La latence extrêmement réduite, la sécurité et sa résistance aux interférences, comparé à la 4G ou au WiFi, permet à la 5G de créer de nouveaux usages aussi bien pour les industries, les entreprises et le secteur public avec la ville intelligente, l'industrie 4.0, la réalité augmentée, la conduite assistée ou encore des applications tactiles (par exemple la chirurgie à distance...). La valeur ajoutée sera perceptible également pour les consommateurs qui pourront bénéficier de réalité virtuelle à grande échelle, des analytiques vidéos, de la diffusion de contenus vidéos ou broadcast TV de très haute résolution (4K/8K), des jeux utilisant le cloud. La 5G va permettre de gagner en efficacité ou en productivité (secteurs de l'entreprise et de l'industrie), en qualité d'expérience (ultra haut débit mobile, réalité virtuelle), ou encore en création de nouveaux usages (véhicules connectés puis autonomes, retransmissions holographiques).

Citons notamment trois autres exemples prometteurs :

- la Réalité Mélangée (*Mixed Reality*) et Réalité Augmentée (*Augmented Reality*) qui combinent dans des situations de mobilité des images fixes ou animées incrustées dans la vision du monde réel ; cette tendance au mélange du « monde physique » et du « monde numérique » est profonde et la connectivité 5G en est un des prérequis essentiels.
- Dans le monde de l'entreprise, le travail individuel et collaboratif en temps-réel avec les applications informatiques, les capacités de calcul et les données massivement situées dans le Cloud.
- La couverture des grands événements sportifs ou de spectacles, avec des applications de visualisation temps réel sur tablette et smartphone, qui seraient impossibles à proposer en 4G pour des raisons de capacité insuffisante du réseau et/ou de temps de réponse trop élevé.

Grace à sa gestion des communications critiques (temps de latence quasi nul, résilience extrême), à sa bande passante accrue (équivalente à la fibre), la 5G ouvre un champ d'opportunités infini qui va révolutionner le monde industriel. Le contrôle et les opérations à distance de machines complexes, l'automatisation des chaînes de production en usine, la surveillance temps réel des

processus industriels et l'utilisation intelligente des caméras. Robots, drones et véhicules pourront être connectés à distance sur les sites industriels, les campus et les chantiers de construction.

L'apport de la 5G concerne également de nouvelles possibilités pour l'internet des objets, qui nécessitent d'autres formes de connectivité. La 5G a été créée pour pouvoir travailler sur des objets dont la durée de vie est de 15 à 20 ans et qui ont une consommation extrêmement faible. Nativement, la 5G dispose de ce genre de capacité avec plus d'un million d'objets connectés possible au kilomètre carré.

La 5G pourrait également permettre d'apporter des solutions aux limitations des services utilisant la bande 2,6GHz TDD.

Question n°2. Quels sont les critères de performances clés nécessaires aux nouveaux usages mentionnés en réponse à la question n°1 ? La présence d'un réseau mobile disposant de ces performances clés est-elle suffisante pour voir l'émergence et le développement de ces nouveaux usages ou d'autres prérequis (techniques, économiques, réglementaires, organisationnels...) sont-ils nécessaires ? Dans l'affirmative, pouvez-vous détailler précisément les freins identifiés

Les critères de performances cités ci-dessus sont pertinents. Nous pourrions y ajouter le nombre de connections à assurer au sein d'une cellule (notamment dans les cas d'usage IoT et « mMTC » qui peuvent requérir un nombre massif de connections dans la cellule) ainsi que le coût de la connexion unitaire (équipement terminal et de réseau). Ces critères dépendent des usages. Il n'est donc pas nécessaire de respecter simultanément l'ensemble des critères les plus stricts pour un usage donné. Par exemple une latence très faible concerne avant tout les usages « URLLC » et « eMBB », mais pas l'usage « massive MTC », pour lequel l'élément déterminant est la possibilité d'assurer une très forte densité de connexion.

Notons ici par ailleurs qu'il sera techniquement possible de raccorder une « small cell » 5G (indoor notamment) à plusieurs cœurs de Réseau opérateurs (au moins quatre) en configuration « Multi-Operator Core Network » (MOCN), que ce soit en mode Stand-Alone ou Non Stand-Alone. Ce point est déterminant car la couverture indoor de la 5G et donc le succès de la 5G passera très probablement par le déploiement de « Small cells » 'neutres', c'est-à-dire auxquelles auront accès les abonnés de tous les opérateurs.

Il faut cependant noter que ces prérequis techniques ne suffiront pas automatiquement à permettre l'émergence et le développement de ces nouveaux usages.

Les freins possibles sont de différents types :

- Financiers : le coût d'une mise à jour du réseau en 5G. Il varie certes avec l'ancienneté des équipements déjà déployés (les plus récents sont compatibles 5G grâce à une simple mise à jour logicielle), mais de nouvelles antennes sont nécessaires, ainsi que les réseaux de transport et les Cœur de Réseau virtualisés.

- Nouveaux modèles économiques et commerciaux : contrairement aux cas d'usage ayant cours sur les réseaux 2G/3G/4G, principalement liés au très haut débit mobile pour le marché grand public, ceux utilisant la 5G s'adresseront largement aux entreprises et aux secteurs « verticaux » de l'économie, avec leurs applications « métiers » spécifiques. Ils toucheront par ailleurs en grande partie les machines et les objets, ceux-là même étant intelligents (faisant office d'interface entre monde physique et monde virtuel, par exemple les lunettes de réalité augmentée), développés par des partenaires et des start-ups.

- Consentement de la population : de nouvelles antennes seront nécessaires, en colocalisation avec les antennes existantes ou sur de nouveaux emplacements (densification) ; les petites cellules devraient également se multiplier. Des solutions d'intégration dans l'existant et le paysage urbain existent, mais la nécessité de ces nouveaux déploiements peut constituer un facteur anxiogène pour la population.

- Règlementaires & administratives : là encore, la modification et/ou l'ajout de nouvelles antennes nécessiteront probablement de nouvelles autorisations. La possible mise en place d'accords de partage de réseau sera conditionnée à des autorisations non automatiques de l'Autorité de la Concurrence. Le calendrier de libération des fréquences pourra nécessiter une réingénierie du réseau. Le niveau de la taxe IFER devra être adapté aux nouvelles configurations de réseaux utilisant des petites cellules.

- Hébergement : le déploiement de nouveaux équipements pourra se heurter à des problèmes de manque de place, notamment sur les sites urbains.

- Mise en place d'écosystèmes : il est important de souligner l'importance d'une harmonisation des fréquences utilisées pour faciliter le développement d'un écosystème riche de chipsets, d'appareils connectés ainsi que d'équipements réseaux.

L'évolution des performances grâce à la 5G permet l'introduction et amélioration des usages sur 3 axes potentiels : amélioration de la latence, augmentation du débit, support d'une très grande densité d'objets connectés. La table ci-dessous donne quelques exemples de l'application de ces axes technologiques dans des usages potentiels. Ces usages sont donnés à titre d'exemple et ne sont pas exhaustifs.

	Use-Case				Network Slice				
	Catégorie Application	Exemples	Sensibilité coût	Déploiement	Débit (bps)		Latence (RTT)		Fiabilité
					UL	DL	E2E Appl.	Réseau	
Consommateur: <ul style="list-style-type: none"> • Très haut débit • SoHo/résidentiel • Evénements • Gaming • SoHo/Homes 	Mobile Broadband	Smartphones in dense urban Corporate mobile office	Medium	mass	10-50M	100-300M	50-200ms	15-25ms	Medium-High
	Fixed Wireless Access	5G for residential homes Wireless SD-WAN	High	targeted	100-200M	1-5G	150-200ms	1-20ms	High
	Event experience	Immersive VR/AR AR gaming	Medium	targeted	1-5G	1-100M	5-50ms	1-5ms	Medium-High
	In-Vehicle Entertainment	Private cars Public transport	Medium	mass	1k-1M	5-100M	150-200ms	1-20ms	Medium-High
Industry <ul style="list-style-type: none"> • Manufacture • Transport • Agriculture • Utilities • Smart Cities 	Critical automation	Collaborative robots/drones Electrical grid tele-protection	Low	mass	1-10M	1M	5-50ms	1-5ms	High/Very High
	Tele-operation	Video-based remote control Video/haptic remote ctrl	Medium	targeted	1-10M	1M	50-150ms	1-25ms	High/Very High
	Highly interactive AR	Co-present Mixed Reality 360° volumetric video AR/MR	Medium	targeted	1-100M	5-100M	50-100ms	1-10ms	Medium
	Mass sensor arrays	Agriculture field sensors Smart city sensors & meters	Very High	mass	1k-1M	1k-1M	1-2s	200-500ms	Medium-Low

La 5G, permettra une plus grande flexibilité d'adaptation et une allocation optimisée des ressources aux différents besoins des clients finaux civils ou entreprise. Au-delà de l'utilisation par les consommateurs il est attendu une forte augmentation des objets connectés et évolution des usages en milieu industriel et critique.

Des usages comme réalité augmentée et/ou virtuelle, évolution vers des villes intelligentes avec des applications adaptées, voir évolution vers des voitures plus autonomes et automatisation de processus industriels bénéficieront des faibles latences et très haut débits.

Question n°3. À quel horizon voyez-vous l'émergence d'un environnement d'acteurs suffisamment mature pour faire apparaître les nouveaux usages mentionnés en réponse à la question n°1 ?

Dès aujourd'hui, les cas d'usages aussi bien industriels que pour le grand public sont en test dans nos laboratoires mais aussi dans des pilotes régionaux.

Ces cas d'usages ont la particularité de fédérer l'ensemble de l'écosystème (Opérateurs, Fournisseurs de terminaux, Equipementiers, Startups sur les nouvelles technologies, Industriels (transport, Energie, Médias, Entreprises, Villes et régions...). L'idée est de valider les modèles économiques avant le lancement commercial de la 5G. Par exemple, nous testons déjà l'usine du futur ou la contribution de la 5G aux voitures autonomes. Notre horizon démarre en 2020 avec un régime de masse dès 2022.

Question n°4. Au-delà des dates de standardisation de la 5G, à quel horizon voyez-vous le déploiement et l'utilisation effective des technologies susmentionnées : eMBB, mMTC, URLLC, network slicing ?

Les équipements Nokia déployés sur les sites pilotes de nos clients opérateurs permettent d'utiliser les trois premières tranches citées « eMBB », « mMTC » et « URLLC ». La disponibilité pour des usages commerciaux dépendra de la stratégie de nos clients et des fréquences et largeurs de bandes qu'ils auront acquises pour la 5G que ce soit dans les ondes centimétriques ou millimétriques. Par exemple, un usage « URLLC » comme la conduite assistée demandera un design des réseaux particulier pour couvrir les canyons urbains ou les autoroutes. Les usages IoT « mMTC » dépendent de la transition des réseaux alternatifs vers la 5G avec l'essaimage d'objets connectés 5G. Le « Ultra Haut débit eMBB » dépendra de la bande passante allouée à chaque opérateur de réseau.

Le « network slicing » sera disponible dès 2019 au sens 3GPP. L'utilisation des technologies actuelles permet une mise en place d'une première forme de slicing (« MOCN »). La clé pour l'utilisation industrielle de la 5G est facilitée par la fonctionnalité de « network slicing » ou « découpage en tranches » du réseau, qui permet aux opérateurs de réseaux mobiles de gérer différents réseaux virtuels sur une même infrastructure de réseau physique. Le nombre de slices et la durée de vie de ces instances de réseau n'ont pas de limite. Il y aura une augmentation progressive de ce nombre dans les 5 prochaines années. Ce mécanisme est clé pour la monétisation de la 5G permettant de rentabiliser les investissements des opérateurs. Par exemple, grâce au découpage du réseau en tranches, les opérateurs pourraient monétiser une partie de la bande passante « eMBB » accessible par une solution d'accès fixe 5G à la maison pour permettre aux télédiffuseurs d'offrir la diffusion en direct de programmes TV 4K/8K directement sur la Télévision à l'aide d'un accès 5G.

Question n°5. En tant qu'utilisateur des réseaux professionnels, estimez-vous qu'au-delà des réseaux qui pourront être déployés dans la bande 2,6 GHz TDD en 4G, et à terme éventuellement en 5G, un autre réseau 5G serait nécessaire pour répondre à vos besoins sur d'autres bandes de fréquences ? Sur quelles bandes et pour quelles raisons ?

Le réseau professionnel expérimental dédié à la R&D de Nokia (site de Paris-Saclay à Nozay) pourra avoir besoin de fréquences 5G non utilisées au niveau Européen, mais utilisées dans le reste du monde, (par exemple en Amérique ou en Asie), comme fréquence de remplacement ou cas où il n'y aurait pas de fréquence 5G européenne pérennisée pour des utilisations R&D. Cette possibilité permettra aussi de tester des produits pour les marchés internationaux. En général, ce type de réseau R&D n'utilise pas de réseau ouvert au public, sauf dans le cas où il s'agit d'une expérimentation conjointe avec un opérateur.

Question n°6. En tant qu'acteur « vertical », estimez-vous qu'un réseau 5G ouvert au public permettrait de répondre à vos besoins ? Si non, pour quelles raisons techniques/de performance ? Outre la connectivité au réseau, quels sont les autres services fournis par les opérateurs que vous estimez, le cas échéant, nécessaires, comme par exemple l'hébergement de fonctionnalités propres (virtual network fonctions, multi-access edge computing...) dans le réseau de l'opérateur ? Quel horizon temporel est pertinent pour assurer la viabilité des plans d'affaires des nouveaux usages envisagés ?

Nokia encourage une politique d'innovation ouverte, à ce titre, un réseau 5G expérimental et ouvert à des universités, des startups, des entreprises partenaires permettra de lier des partenariats avec des acteurs de l'écosystème.

La pérennité d'allocation ou de partage de fréquence dans les bandes 5G européenne, en priorité sur les sites R&D permettra de garder les moyens de tests et d'expérimentation de la R&D, et de développer un écosystème durable et crédible avec les différents acteurs de la 5G et de ses innovations.

Question n°7. Dans quelle mesure les spécificités de la 5G pourraient-elles faire émerger des opérateurs spécialisés sur certains services ? Pour quels types de services ? Avec quel modèle économique ? Avec quelles modalités d'accès au spectre ? Avec quelles modalités d'accès aux infrastructures de réseau ?

La possibilité offerte par la 5G de faire du « *network slicing* », c'est-à-dire de « spécialiser » de façon dynamique et agile une partie du réseau physique d'un opérateur pour une famille de cas d'usages voire pour un client en particulier, pourrait en effet ouvrir la voie à des opérateurs spécialisés, détenant ou non du spectre, pour servir en particulier les marchés verticaux.

La technologie ne devrait pas être un frein, car les possibilités techniques offertes par le « *network slicing* » sont immenses.

Deux grands types de modèles économiques pourraient se développer :

- L'opérateur de réseau mobile, généraliste ou spécialisé, loue ses tranches de réseau (*slices*) en les valorisant lui-même et en offrant des services en direct à ses clients verticaux finaux.
- L'opérateur de réseau mobile généraliste loue ses tranches de réseau à un ou plusieurs opérateurs spécialisés, experts du domaine et de ses métiers, qui les valorisera en offrant des services à ses propres clients verticaux.

A l'image des modèles de MVNO, l'opération et le contrôle du réseau pourront être assurés à des degrés divers par l'opérateur spécialisé/virtuel (d'un contrôle quasi nul de type *Over-the-Top*, jusqu'à la construction et l'opération de tout ou partie de son propre cœur de réseau).

La dimension supplémentaire introduite par le « *network slicing* » devrait avoir pour effet de démultiplier les réseaux virtuels potentiels, avec ici encore des degrés divers d'intervention dans le déploiement et l'orchestration de ces tranches de réseau, à définir d'un côté entre l'opérateur de réseau mobile ou l'opérateur spécialisé, et de l'autre côté le client entreprise/vertical final.

Question n°8. Le modèle MVNO peut-il contribuer à la dynamique concurrentielle et à l'innovation sur les services 5G ? Des dispositions favorisant l'accès d'acteurs tiers au spectre ou aux infrastructures de réseau 5G devraient-elles être prévues dans les futures autorisations ? Si oui, lesquelles ?

Question n°9. À quel horizon un déploiement de la 5G dans les bandes déjà attribuées (700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2,1 GHz, 2,6 GHz FDD) est-il envisageable ?

D'un point de vue réglementaire, la CEPT travaille à l'ouverture de ces bandes à la 5G.

La bande 700 MHz, par ailleurs désignée comme bande pionnière pour la 5G par le RSPG et l'Union Européenne, ne pose pas de problème réglementaire particulier, l'introduction des technologies MIMO n'y étant pas envisagée ; la bande 800 MHz est en pratique dans la même situation.

Les bandes 900 et 1800 MHz font l'objet d'un traitement en deux étapes :

- Dans un premier temps, l'addition de la norme harmonisée pour la 5G dans les Décisions ECC et Commission Européenne. Cette addition peut intervenir au 1^{er} trimestre 2019 pour la Décision ECC et mi-2019 pour la Décision de la Commission.
- Dans un deuxième temps, l'ouverture de ces deux bandes à la neutralité technologique.

Les travaux de la CEPT pour la bande 2.1 GHz sont en cours de finalisation (enquête publique, puis approbation par l'ECC) et la révision de la Décision ECC doit être publiée au 1^{er} trimestre 2019.

Pour la bande 2.6 GHz (FDD) la publication de la Décision ECC peut intervenir mi-2019.

Certaines bandes (2.6GHz par exemple) il faudra modifier la décision CEPT actuelle.

Les décisions de la CEPT seront doublées par des décisions de la commission Européenne, nécessaire pour éviter des disparités nationales au sein de l'EU.

Question n°10. Voyez-vous d'autres bandes de fréquences possibles pour le déploiement de la 5G ? À quel horizon ?

La seule bande actuellement attribuée aux communications électroniques non mentionnée plus haut est la bande 2.3-2.4 GHz. Cette bande avait fait l'objet il y a quelques années d'une proposition de LSA (License Shared Agreement) de la part des Forces Armées, sans résultat tangible à l'époque. Cette offre pourrait peut-être être renouvelée dans un cadre différent, pas nécessairement pour des licences au niveau national, mais par exemple pour des utilisations locales au profit des acteurs verticaux.

Parmi les autres bandes possibles, et qui ne sont pas actuellement attribuées, ni dans le cadre national, ni dans le cadre européen, on peut citer :

- Une bande au-dessous de la bande 700 MHz ; certaines de ces bandes pourraient sans doute d'ores et déjà être utilisées pour des liaisons de type SDL, susceptibles de partager la ressource spectrale avec les canaux de télévision numérique. A un horizon plus long terme, la re discussion du statut de la bande 470-694 MHz, ou d'une partie de la bande,

devrait intervenir à partir de 2025 (précédée par la préparation de la CMR-23), et une décision de réaffectation d'une partie des canaux intervenir à partir de 2030, de préférence dans un cadre harmonisé européen ;

- La bande 3800-4200 MHz fait l'objet d'initiatives dans un certain nombre de pays, par exemple aux Etats-Unis avec la proposition d'un consortium d'opérateurs satellite de transférer une partie de la bande à une utilisation terrestre par des accords de leasing, ou en Europe, où le Royaume-Uni y envisage des applications de type « Internet des Objets » (IoT).

-

Question n°11. Voyez-vous un intérêt à utiliser la bande 738 - 753 MHz en canalisation SDL pour de la 5G ou une autre technologie ? À quel horizon ?

Par définition la bande 738-753 MHz ne pourra jouer qu'un rôle complémentaire aux autres bandes 4G ou 5G, en particulier aux bandes au-dessous de 3.4 GHz, dans une optique de couverture et d'amélioration de la capacité en liaison descendante. Son caractère SDL fait que la bande ne pose pas de problème de synchronisation entre réseaux, il est donc possible sans aucun problème d'allouer aux opérateurs des blocs adjacents.

Toutefois le nombre de canaux de 5 MHz étant au mieux égal à trois, il ne sera pas possible de servir l'ensemble des opérateurs publics. De plus le canal le plus bas (738-743 MHz) risque, compte tenu du faible écart duplex (2 MHz) d'être affecté par les problèmes de coexistence avec le canal en liaison ascendante 733-736 MHz affecté au Ministère de l'Intérieur pour des liaisons de sécurité publique, en introduisant une interférence de type « station de base – station de base » sur ces réseaux et en subissant de sa part une interférence de type « terminal – terminal », à priori plus gérable. En conséquence le nombre d'opérateurs pouvant utiliser la bande en permanence dans des conditions normales pourrait n'être égal qu'à deux.

En l'absence de contrainte de type « synchronisation de réseaux », le choix de la technologie mise en œuvre doit être laissé aux utilisateurs, selon le principe de neutralité technologique.

Il faut noter de plus que la capacité additionnelle allouée en liaison descendante sera marginale par rapport à la capacité totale des opérateurs dans l'ensemble des bandes 700 MHz ; 800 MHz et 900 MHz. D'autres solutions pour améliorer la capacité descendante seront à priori plus intéressantes, par exemple l'utilisation de la bande 1427-1518 MHz (total de 90 MHz à comparer à 15 MHz), dont la couverture plus limitée est compensée en partie par la puissance maximale autorisée.

Question n°12. Quel calendrier de maturité envisagez-vous pour toutes les techniques d'amélioration des performances introduites avec la 5G listées ci-dessus ? Existe-t-il des contraintes liées aux bandes de fréquences pour déployer ces techniques ? Les niveaux de performances indiqués ci-dessus sont-ils pertinents ? En faut-il d'autres ? Pourquoi ?

Le haut débit et la faible latence sont déjà permis par la version Rel15 du standard 3GPP qui sera la première version déployée commercialement à partir de 2019. Le service principal considéré pour le déploiement initial est « eMBB (enhance Mobile BroadBand) », un service de connectivité très haut débit, avec des performances et une latence meilleures, que les réseaux existants. L'architecture 5G RAN considérée pour ce déploiement initial est généralement basée sur la Dual-Connectivity avec le réseau LTE (3GPP Non-Standalone Option 3X). Pour améliorer la densité de connectivité et introduire l'ultra-fiabilité pour les scénarios d'utilisation de type URLLC et Industry 4.0, il faut attendre la disponibilité de la version Rel16 du 3GPP qui est prévue pour le mois de Mars 2020 pour la partie ASN.1. L'introduction de la Rel-16 sur les réseaux 5G commerciaux pourra se faire par une mise à jour logicielle mais nécessite l'utilisation d'un cœur de réseau 5G ainsi que le C-Plane dans le RAN 5G (nécessité d'une architecture RAN de type 3GPP Option 2 ou Option 4 pour des performances optimales, pas possible avec Option 3X). Une évolution de l'architecture RAN sera donc souvent nécessaire pour pouvoir supporter ces scénarios d'utilisation supplémentaires.

Les bandes de fréquences au-delà de 10GHz ne sont pas adéquates pour supporter les services d'ultra haute fiabilité en extérieur à cause des problèmes de couverture qui peuvent occasionner soit des pertes de signal soit des hand-over trop fréquents. Les bandes de fréquences FDD et limitées en bande passante ne seront pas forcément les bandes cibles pour les services ultra-haut débits même si la technologie « mMIMO » va améliorer les performances par rapport à la technologie 4G.

En termes de fréquence, les versions Rel-15 et Rel-16 du 3GPP permettent d'utiliser les bandes de fréquence jusqu'à 52GHz. Les demandes commerciales des opérateurs pour le déploiement de la 5G sont actuellement dans des bandes de fréquence allant de 600MHz à 39GHz. Pour les fréquences supérieures à 52GHz dont le support sera introduit avec la Rel-17, une modification de la couche physique radio est considérée, ce qui nécessitera l'introduction de nouveaux produits, potentiellement à partir de 2022.

Question n°13. Quels sont les principaux avantages et inconvénients des trois solutions de déploiement (NSA avec cœur 4G, NSA avec cœur 5G et SA avec cœur 5G) ? Quels sont les impacts des trois solutions sur l'amélioration des performances attendues ? En fonction de la maturité de l'écosystème, à quel horizon le déploiement d'un cœur 5G est-il envisageable ? Quel est l'horizon pour permettre de rentabiliser les investissements consentis dans les différents scénarii ?

Le NSA avec cœur 4G (3GPP Option 3X) est une solution apportant une augmentation importante des débits comparé à une solution 4G actuelle. Néanmoins du fait de l'utilisation d'un cœur de réseau 4G et du C-Plane maintenu coté 4G, le gain en latence et le support de nouveaux services restent limités. Cette architecture est considérée comme celle permettant une introduction rapide de la 5G avec un impact minimum pour la 4G. Le bénéfice de la 5G dans ce cas reste limité

au service « eMBB ». Un déploiement commercial à partir de 2019, supporté par la version initiale du 3GPP Rel-15 est possible.

L'architecture SA avec cœur 5G (3GPP Option 2) est l'architecture la plus simple permettant de supporter l'ensemble des nouveaux services de la 5G et offrant un gain de performance et d'optimisation sur tous les aspects clés : débit, latence, fiabilité, flexibilité dans le support de nouveau service avec le network slicing, automatisation du réseau...Il n'y a pas d'impact sur le réseau 4G, si ce n'est le support de la mobilité 4G/5G. Cette architecture est considérée par certains opérateurs pour le déploiement initial de la 5G au cours de l'année 2019. Cette configuration est supportée par la version initiale du 3GPP Rel-15. Les opérateurs ayant déployé initialement l'Option 3X considèrent en général une introduction rapide de l'option 2 dans le réseau pour offrir l'ensemble des services 5G. Il est possible pour les 2 configurations d'être supportées simultanément dans un réseau.

L'architecture NSA avec cœur 5G peut désigner 3 architectures réseaux différentes, qui seront disponibles dans une version phase 2 de la spécification 3GPP Rel-15 : Option 4 qui utilise la Dual-Connectivity 4G/5G entre un réseau eLTE (évolution de LTE) et 5G avec le C-plane côté 5G, l'Option 7X équivalent à l'option 4 mais où le C-plane est côté eLTE et enfin l'Option 5 qui est l'évolution de LTE vers eLTE permettant au réseau 4G de se connecter dans le cœur de réseau 5G. Ces options ne sont pas considérées par les opérateurs pour les déploiements initiaux de 5G. De plus, il est nécessaire de continuer à supporter les configurations initiales quel que soit les évolutions choisies, donc le support de l'option 4 nécessite en parallèle le support des options 2 et 3X ce qui augmente la complexité des réseaux. L'évolution vers ce type d'architecture est actuellement en discussion avec les opérateurs et fournisseurs de mobiles.

La rentabilité d'un réseau 5G dépend de nombreux facteurs tels que les fréquences acquises, les services déployés, l'offre commerciale, ... Chaque opérateur a donc potentiellement une date de rentabilité unique. Néanmoins, tous considèrent qu'une offre de services multiples est nécessaire et donc que le cœur de réseau 5G est obligatoire dans le réseau après la phase initiale.

Question n°14. S'agissant de MVNO disposant de leur propre cœur de réseau (« Full-MVNO »), quels sont les prérequis techniques nécessaires, côté opérateur hôte et côté Full-MVNO, pour qu'ils puissent être accueillis sur un réseau radio à ultra haut débit mobile ? Ces prérequis diffèrent-ils selon l'architecture de l'opérateur hôte (SA ou NSA) et le cœur de réseau du FullMVNO (4G ou 5G) ?

Nous devrions avoir affaire à trois types de déploiement dans les premières années de la 5G, avec les implications suivantes pour un Full-MVNO :

- Le cas d'un **déploiement NSA (Non-Standalone) avec l'option 3X** (qui permet le *dual connectivity* LTE/NR). Dans ce cas, le Full-MVNO devra mettre à jour son Cœur de Réseau EPC actuel (reposant sur la spécification 3GPP 23.401) pour offrir un ensemble de fonctionnalités liées au support d'un fonctionnement en *dual connectivity* (par exemple la gestion des profils d'abonnés dans le système HSS ou les informations de

taxation liées à la technologie radio). En pratique, le Full-MVNO aura tout intérêt à déployer un nouveau Cœur de Réseau EPC pour répondre aux très hauts débits et très faibles latences qui n'étaient pas dans les prérequis originaux de l'EPC quand il fût déployé pour le LTE. Par exemple, il pourrait être souhaitable de déployer 10 sites EPC (ou plus) en France plutôt que 2 ou 3 sites EPC centraux.

- Le cas d'un **déploiement SA (Standalone) avec l'option 2**. Dans ce type de déploiement, le Full-MVNO devra déployer un nouveau Cœur de Réseau 5G (5GC, 5G Core Network, s'appuyant sur les spécifications 3GPP 23.501/502), sauf à ce que son réseau EPC actuel puisse être mise à jour. Mais cette dernière hypothèse est peu probable car l'EPC serait trop limité en matière de *hardware*, d'architecture logicielle, d'hébergement, de caractéristiques en débit et latence des liens de transport.

- Le cas d'un **déploiement NSA option 3X et SA option 2 en parallèle**. Le Full-MVNO pourra déployer une nouvelle plateforme commune pour les 2 options NSA 3x et SA 2 selon une architecture virtualisée (Fonctions Réseau Virtualisées, *Virtualized Network Function*) qui offrirait à la fois des services EPC et 5GC. Le Full-MVNO maintiendrait dans ce cas son EPC existant pour les abonnés 4G et déploierait la solution virtualisée pour ses abonnés 5G détenant soit des terminaux compatibles NSA 3X soit des terminaux compatibles SA 2. Ce réseau pourrait évoluer naturellement par la suite vers les options 4, 5 et 7 sous réserve que ces modes soient supportés par les eNB LTE de l'opérateur.

Question n°15. En tant qu'opérateur, prévoyez-vous d'héberger sur votre réseau des fonctions fournies par des utilisateurs (virtual network function, multi-access edge computing...) pour satisfaire les besoins en services spécifiques de ceux-ci ? Si oui, sous quelles conditions ? À quelle échéance ? Si non, quel(s) obstacle(s) voyez-vous à un tel hébergement ?

Question n°16. Identifiez-vous d'autres solutions de déploiement de la 5G ? Dans quelle mesure les satellites ou les HAPS peuvent-ils être complémentaires aux réseaux 5G terrestres ?

Les réseaux par satellite peuvent fournir, en particulier dans les cas où l'utilisation des réseaux par fibre optique ou des liaisons hertziennes est difficile (absence de point de présence, pas de possibilité de vue directe) des solutions de collecte de données pour des applications non critiques en termes de latence, une latence de 1 ms supposant de toute façon une distance totale inférieure à 300 km en négligeant toutes les causes de latence (liées à la structure de trame, à la signalisation, ...) liées à d'autres causes que la propagation.

Un nombre croissant de compagnies aériennes demande à fournir des services de connectivité internet aux passagers. Ces services seraient complétés par une connexion par satellite qui garantit une couverture mondiale dans de grandes régions géographiques.

Nokia fait partie du consortium Avatar pour créer une solution répondant à la demande croissante de services mobile des compagnies aériennes grâce à l'intégration du satellite à la 5G.

La Release 16 3GPP favorise la convergence entre les technologies de réseau par satellite et de réseau mobile. Un cas d'utilisation consiste à démontrer qu'un système de communication satellite peut fournir une connectivité de bout en bout pour les services à bord de l'avion, au moyen d'un backhaul satellite 5G intégré.

Les réseaux HAPS semblent plutôt adaptés au contexte des pays en développement.

Question n°17. Quelles sont les performances requises pour assurer la collecte des stations de base avec l'introduction de la 5G ? Quelle est votre perception des différences de performance entre une collecte filaire (notamment en fibre optique) et une collecte radio ? Identifiez-vous des freins à lever pour permettre cette collecte ?

Très grande capacité et très faible latence sont indispensables à la collecte des données 5G. En termes de capacité les liaisons de collecte devront offrir une capacité de l'ordre de 10 Gbit/s. Les liaisons radio sont meilleures que les liaisons optiques en termes de latence : la latence d'une liaison radio est typiquement de l'ordre de 10 microsecondes. Par contre les liaisons optiques fournissent naturellement des capacités plus élevées, la largeur de bande offerte par les bandes de fréquences autour de 100 GHz (Bande E, bande W et bande D) offrent la possibilité de liaisons de débits supérieurs à 10 Gbit/s.

La réalisation de la collecte par fibre optique suppose un point de présence à proximité immédiate des stations de base, qui n'est pas toujours facile à garantir (cas d'utilisation du mobilier urbain par exemple). Les liaisons radio, qui utilisent, pour celles qui fournissent les plus grandes capacités, des bandes millimétriques, supposent une visibilité en vue directe (ou quasi en vue directe) qui n'est pas toujours facile à assurer, bien que des solutions existent, permettant de bonnes performances en vue non directe, par association de la liaison radio avec des réflecteurs.

Question n°18. Quel est l'impact des types d'environnement (urbain, péri-urbain, rural) sur la couverture 5G en bande 3,5 GHz ? Quel pourcentage de la population cette bande permettrait-elle de couvrir au regard des différentes considérations (portée, coûts, opportunité, etc.) et à quel horizon ?

La bande 3.5 GHz du fait des lois physiques liées à la propagation subit un déficit de couverture comparée à des fréquences plus basses comme 1800MHz par exemple. L'utilisation de technologie « mMIMO » ne compense pas complètement ce déficit de couverture notamment pour le lien « Uplink ». Cette différence est d'autant plus importante que l'environnement est moins dense. Ainsi dans un environnement dense urbain, le nombre de sites 3.5 GHz pourrait être aligné sur les sites 1800MHz car généralement ces sites ont été déployés pour assurer la capacité et sont surnuméraires vis-à-vis de l'objectif de couverture. La bande 3.5 GHz n'est pas la mieux adaptée pour couvrir une zone d'habitation dispersée et n'est pas adaptée à la réalisation d'objectifs de couverture ambitieux en zones rurales (ou plus généralement peu denses). La largeur de bande doit être prise en compte également et doit être suffisante pour assurer des services 5G.

Question n°19. À quel horizon et pour quels services envisageriez-vous, le cas échéant, de mobiliser les fréquences dont vous disposez en bande 700 MHz ? En bandes 800 MHz et 900 MHz ? Les évolutions technologiques permettront-elles, avec les fréquences identifiées pour la 5G, d'apporter les débits supérieurs promis par la 5G sur une couverture plus étendue de la population ? Quelles solutions permettraient d'y parvenir ?

Question n°20. Quelles seraient les bandes de fréquences les plus adaptées pour respecter, le cas échéant, une obligation de couverture étendue de la population en 5G ?

Question n°21. Quelles pourraient-être les obligations spécifiques d'un réseau (obligations de couverture ou autres mécanismes) dans les bandes de fréquences 26 GHz et 1,4 GHz ? Avec quel calendrier ?

Question n°22. Une date de fourniture d'un service 5G générique devrait-elle être fixée ? Laquelle ?

Question n°23. Dans le cas où un titulaire disposant déjà d'un réseau mobile serait lauréat de la future procédure, l'obligation de fournir le service 5G à une date donnée devrait-elle porter sur tout ou partie des sites de son réseau actuel ?

Question n°24. Une date de fourniture de services 5G évolués reposant sur les fonctionnalités du network slicing devrait-elle être fixée ? Laquelle ?

Question n°25. Dans quelle mesure et pour quel(s) service(s) une couverture 5G des axes de transports, tels que définis dans les autorisations actuelles, vous semble-t-elle appropriée ? À quel(s) horizon(s) ? Convient-il de spécifier des niveaux de service à atteindre ? Si oui pourquoi et lesquels ? Quel en serait le coût ?

Question n°26. Vous paraît-il nécessaire de prévoir une obligation de couverture pour d'autres d'axes de transport ? Pour quels niveaux de service et à quelle échéance ? Pourquoi ? Quel en serait le coût ? Quelles bandes de fréquences vous paraissent adaptées à ces fins ?

Question n°27. Quels critères d'utilisation effective du spectre apparaissent comme les plus pertinents ? Ces derniers doivent-ils être spécifiques à chaque bande ou génériques, et pourquoi ? Avec quels mécanismes de vérification ? Selon quel délai ?

Question n°28. En tant qu'acteur « vertical », seriez-vous prêt à construire un réseau en propre avec les fréquences mises à disposition par un titulaire et dans quelles conditions ? Sur quel périmètre géographique ? Sur quelle bande ? Comment prendre en compte les enjeux concurrentiels dans ce cas ?

Question n°29. En tant qu'opérateur, comment pourriez-vous répondre aux demandes raisonnables de service des verticaux dans les zones non couvertes ou lorsque le réseau déjà déployé n'a pas les performances requises ? Quelles seraient les contraintes techniques et les enjeux d'une cohabitation sur une même fréquence de réseaux exploités par différents acteurs ?

Question n°30. Quelles seront les performances de couverture de la 5G à l'intérieur des bâtiments, notamment par rapport aux réseaux actuels ? La 5G nécessitera-t-elle des équipements spéciaux de type « small cell » ou « Distributed Antenna System » (DAS) pour couvrir l'intérieur des bâtiments ? Les mêmes types d'engagement de couverture des bâtiments que ceux prévus dans le cadre de l'appel à candidatures pour l'attribution de la bande 2,1 GHz sont-ils pertinents pour la 5G ? Faudrait-il d'autres types de dispositions pour améliorer la couverture des bâtiments en 5G ?

La technologie 5G basée sur l'utilisation de fréquences supérieures à 3 GHz n'offrira pas de bonne performance de couverture à l'intérieur des bâtiments si elle utilise uniquement des macro-cellules « outdoor ». L'utilisation de fréquences plus basses comme le 700MHz offrira cette couverture mais avec des débits plus faibles qu'à 3500MHz par exemple dû à la limitation de la bande passante aux fréquences en dessous du GHz. Un moyen d'améliorer la couverture à l'intérieur des bâtiments est effectivement l'utilisation d'équipements de type « small cells ». A cet effet, le partage des équipements « small cells » en utilisant la technique MOCN est une possibilité qui permettrait de simplifier le déploiement de ce type de couverture.

Question n°31. Au-delà du cadre existant, estimez-vous utile de prendre des mesures spécifiques en matière de partage de réseaux mobiles pour le déploiement de la 5G ? Si oui, lesquelles et pour quelles raisons ?

Se référer à la réponse N°30

Question n°32. Que pensez-vous d'un tel mécanisme d'attribution de droits d'utilisation conditionnels ? Que pensez-vous de l'obligation de fournir aux autres titulaires des informations sur les planifications d'utilisation d'un bloc dans un périmètre donné ? Quelles seraient les informations nécessaires ? Quelles seraient les conditions de bon fonctionnement d'un tel mécanisme (modalités opérationnelles, techniques, réglementaires, contractuelles) ?

Question n°33. Dans le cas où existerait une restriction d'utilisation pour une partie de la bande, est-ce nécessaire de prévoir un dispositif permettant aux titulaires impactés par cette restriction d'avoir accès aux fréquences des autres titulaires? Quelles en seraient les modalités ?

Question n°34. Quel horizon est pertinent pour assurer la viabilité des plans d'affaires des acteurs ? Comment concilier prévisibilité pour les investissements et adaptation des obligations aux besoins futurs ? Avez-vous des suggestions sur la manière d'assurer une adaptation des obligations au regard du développement de la 5G ?

Partie 2. La bande 3,4 GHz - 3,8 GHz

Question n°35. Quelle bande de garde sera nécessaire pour que les équipements 5G soient en mesure de respecter le niveau de puissance défini par la CEPT tout en assurant la coexistence avec les radars du ministère des armées utilisant les fréquences sous 3,4 GHz ? À quel horizon voyez-vous la possibilité d'utiliser une bande de garde plus faible ?

Actuellement pour garantir le niveau de puissance défini par la CEPT, une bande de garde de 20MHz est nécessaire pour implémenter un filtre de taille raisonnable (compatible avec la dimension des antennes « mMIMO »). L'utilisation d'une bande de garde plus faible n'est pas envisageable vu d'aujourd'hui. En effet la technique utilisée pour le filtrage radio est basée sur une structure mécanique dépendant de la longueur d'onde et est déjà optimisée du point de vue de la taille. Dans ce contexte réduire la bande de garde supposerait d'augmenter le nombre de pôles des filtres, donc leur taille et leur atténuation, donc de revoir la conception de l'équipement radio. Réduire la bande de garde ne pourra pas profiter aux équipements installés sans un retrofit complet de l'équipement radio (le filtre n'étant pas interchangeable sur site).

Question n°36. Voyez-vous un intérêt à obtenir une autorisation d'utiliser entre 2020 et 2026 des bandes de fréquences disponibles uniquement dans certains départements ? Quelles conditions de contiguïté géographique d'utilisation des blocs vous paraissent importantes ?

Question n°37. Quelles seraient les difficultés soulevées par une telle accélération du calendrier du THD radio ?

Question n°38. Le cas échéant, voyez-vous une difficulté à fournir après 2026 ou avant cette date un service d'accès fixe dans cette bande avec la 5G permettant d'assurer une continuité de la couverture du service fourni par le THD radio et la BLR dans les zones concernées ? Pensez-vous que d'autres solutions techniques pourraient être envisagées pour fournir ce type de services ?

D'un point de vue produit, la disponibilité sera effective pour assurer ce type de service en 5G. Les côtés opérationnels et les déploiements seront à étudier au cas par cas, et en particulier la coexistence de la 4G et de la 5G nécessitera des synchronisations de réseaux.

Question n°39. Existe-t-il d'autres solutions de coexistence qui pourraient être mises en place grâce aux innovations technologiques de la 5G ? À quelle échéance ?

Des solutions en vue de réduire les interférences vont être étudiées en 2019 par le 3 GPP. Ces solutions semblent viser d'abord à minimiser les interférences internes à un réseau (qui vont apparaître dans le cas par exemple du « TDD flexible », ou bien, même avec un réseau TDD conventionnel non flexible, en cas de propagation anormale très longue distance par « duct », susceptible d'apparaître par exemple en climat désertique ou même méditerranéen. Les algorithmes mis en œuvre pourraient sans doute être adaptés à des scénarios inter-opérateurs, mais leur mise en œuvre nécessiterait vraisemblablement des échanges de données entre opérateurs qui amèneraient des problématiques dépassant les aspects purement techniques (confidentialité des données, aspects légaux, ...).

Question n°40. Êtes-vous favorable à la mise en œuvre d'une synchronisation entre réseaux TDD ou d'une semi-synchronisation ? Pour quelles raisons ? Dans l'hypothèse d'une synchronisation, quel ratio temporel vous semble pertinent entre l'utilisation des fréquences en sens montant et en sens descendant ? Les paramètres de synchronisation doivent-ils être imposés dans les futures autorisations ou définis par concertation entre les titulaires des fréquences ? Quels sont les impacts de performances potentiels ?

Une synchronisation entre réseaux TDD opérant dans la bande 3.4-3.8 GHz et utilisant la technologie « mMIMO » est nécessaire sous peine d'avoir à définir des équipements spécifiques par opérateur et une bande de garde entre opérateur pour la définition d'un filtre spécifique à un opérateur donné permettant la protection sur les canaux adjacents. La réalisation technique n'est pas un problème mais le coût de l'équipement serait contraint par une plus faible quantité produite. De plus, cette définition par bloc de fréquence ne permettrait pas une réallocation aisée du spectre une fois les produits déployés. Un ratio temporel compris entre 60/40 et 80/20 (DL/UL) serait à même de répondre aux besoins de « eMBB ». Une semi-synchronisation avec allocation dynamique des time slots en recouvrement et accord préalable des opérateurs au niveau national pourrait permettre de répondre en partie aux besoins différents des Opérateurs. Une non synchronisation des réseaux sans filtres spécifiques demanderait un isolement spatial entre réseaux de l'ordre de 14km ce qui est rédhibitoire pour couvrir les zones urbaines.

Question n°41. Comment, selon vous, pourra être traitée la coordination aux frontières dans la bande 3,4 - 3,8 GHz ? Une synchronisation sera-t-elle nécessaire ?

Dans le cas où les réseaux de part et d'autre de la frontière sont synchronisés, la coordination aux frontières devra être menée comme dans le cas des réseaux FDD. En cas de réseaux non synchronisés et l'impossibilité de garantir une zone d'exclusion de l'ordre de 14 km, voire environ 60 km dans le cas des réseaux utilisant le même bloc de fréquence, ou des blocs se chevauchant partiellement, de part et d'autre de la frontière, une solution non « mMIMO » où il est possible de rajouter des filtres extérieurs pourrait être envisagée.

Question n°42. Que pensez-vous de l'utilisation de bandes de garde pour éviter les brouillages ? Quelle largeur de bande de garde vous semble suffisante ? Pensez-vous que l'utilisation de blocs restreints soit suffisante pour éviter les brouillages, notamment entre LTE TDD et 5G ?

Du fait de l'implémentation d'une technologie « mMIMO » pouvant potentiellement couvrir n'importe quelle partie jusqu'à 100MHz dans la bande 3400-3800, il n'est pas envisagé d'implémenter une couverture par sous-bandes définies par les filtres radiofréquence. L'utilisation de bande de garde n'apporte pas dans ce cas la décroissance suffisante du niveau perturbateur pour protéger le canal adjacent. Un filtre dédié serait donc nécessaire et une bande de garde de 10 à 20 MHz serait nécessaire pour implémenter un tel filtre. Et, pour les raisons indiquées plus haut, une telle implémentation n'est pas praticable.

Question n°43. Que pensez-vous de la mise en œuvre d'une séparation spatiale entre les sites THD radio et les sites 5G ? Quelle distance vous paraît nécessaire pour éviter que les brouillages n'impactent les performances en canal adjacent ? en co-canal ?

La tool box de la CEPT (Rapport ECC 296) mentionne des zones tampons de 14km pour des systèmes fonctionnant en canal adjacent et jusqu'à 60km pour des systèmes fonctionnant en co-canal. Une séparation spatiale n'apparaît pas opportune dans ce cas.

Question n°44. Quelle est votre préférence entre les deux options de calendrier et pour quelles raisons ? Le cas échéant, les dates de fin des futures autorisations devraient-elles être identiques ? Existe-t-il des contraintes opérationnelles qui limiteraient la possibilité de changer les canalisations radio 5G et le positionnement dans la bande après 2026, notamment pour des canaux qui seraient de part et d'autre de la fréquence 3,6 GHz ?

Du point de vue de Nokia il n'y a pas de préférence entre les deux calendriers à condition que les systèmes déployés dans la bande soient tous synchronisés. En effet, si les systèmes n'étaient pas synchronisés, ils devraient satisfaire la "restricted base line" mentionnée dans le document DEC11(06) ce qui veut dire que chaque équipement dédié à un Opérateur inclurait des filtres spécifiques non interchangeables en cas de réorganisation du plan de fréquence. Cette opération de rétrofit n'est pas souhaitable pour des raisons de coût et des raisons pratiques de mise en œuvre.

Question n°45. Quelle quantité minimale de fréquences vous paraît-elle nécessaire ? Quels seraient les conséquences sur les performances 5G de se voir attribuer seulement 20 MHz de bande ? Même question pour 50 MHz ? Même question pour 80 MHz ?

Sur le plan technologique :

Pour pouvoir pleinement utiliser les cas d'utilisation 5G et l'expérience utilisateur 5G, un spectre contigu de 80 à 100 MHz par opérateur de réseau mobile (MNO) est nécessaire dans la plage de 3,4-3,8 GHz. Nokia estime que les arrangements de bande de spectre devraient viser à assurer l'utilisation la plus efficace de la bande pour la fourniture de services 5G complets. La conception du mécanisme d'attribution de spectre devra faciliter l'acquisition de blocs de spectre contigus suffisamment grands, et des décisions d'attribution pourraient être prises en fonction de la granularité de blocs de 10 ou 20 MHz pouvant former de tels blocs de spectre contigus aussi larges. Dans le cas de la libération partielle de la bande de 3,4 à 3,8 GHz, il conviendrait également de considérer la flexibilité des licences pour permettre une défragmentation future et la possibilité d'avoir un spectre contigu par permutation.

Nokia soutient les efforts visant à permettre de larges blocs de spectre contigus, comme le suggèrent également la décision (18) 146 et le rapport 287 de l'ECC, selon lequel 80 à 100 MHz par fournisseur de service est la largeur de bande appropriée cruciale pour satisfaire aux exigences de la 5G en matière de débit capacité du réseau pour les services à haut débit.

Le tableau ci-dessous indique les débits maximums théoriques 5G en fonction de la largeur des porteuses. Le débit moyen est assurément toujours très inférieur, de l'ordre de 5 à 8 fois moindre selon les conditions de charge de la cellule.

Débit maximum théorique (Gbit/s) *		Largeur de bande							
		20 MHz		50 MHz		80 MHz		100 MHz	
		DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
Compatibilité avec la 4G dans la même bande	Compatible 4G (structure de trame avec périodicité de 5 ms)	1.31	0.26	3.48	0.68	5.57	1.10	7.15	1.39
	Non compatible 4G (structure de trame avec périodicité de 2.5 ms)	1.24	0.26	3.28	0.68	5.27	1.10	6.74	1.39

** Les débits maximum sont évalués sans la signalisation relative à la transmission des blocs de synchronisation en DL et sans les ressources allouées au PRACH en UL. Les valeurs mentionnées sont pour des liens utilisant 16 couches, les chiffres peuvent être facilement étendus pour un nombre de layer supérieures avec un simple facteur multiplicatif. Le slot S est supposé être composé de 10 symboles DL, 2 symboles de garde et 2 symboles UL.*

Afin de bénéficier pleinement des possibilités de la 5G tant sur le plan capacitatif que sur le plan du « *network slicing* », et ainsi répondre à l'ambition que s'est donnée l'industrie pour ce standard, il nous semble qu'une quantité minimum de 50 MHz est nécessaire. Elle permettrait d'atteindre des débits moyens autour de 600 à 700 Mbit/s dans les zones de couverture 5G.

Bien sûr, l'agrégation de porteuses permet également en 5G de disposer d'un spectre de cette largeur mais elle nécessite un « *refarming* » des fréquences (utilisées aujourd'hui dans d'autres technologies) et introduit des contraintes d'ingénierie supplémentaires et des limitations (pas d'agrégation automatique dans le sens montant, peu de bénéfice pour les petites transactions, équilibrage de charge pouvant être nécessaire entre les fréquences.

Il reste qu'une largeur de bande de 20 MHz peut suffire pour des situations qui ne requerraient pas de forte capacité en ultra haut débit mobile, mais se concentreraient davantage sur les cas d'usages de type *massive Machine Type Communication (mMTC)* et *ultra Reliable Low Latency Communication (uRLLC)*. Si cette configuration à 20 MHz a peu d'intérêt pour les opérateurs de réseau (MNO), elle pourrait faire sens pour certains opérateurs spécialisés et verticaux.

Sur le plan applicatif :

Si l'on se concentre sur l'usage, sans présupposer du business model et du mode d'investissement (réseau partagé, réseau en propre ou réseau virtuel, etc..), il faut noter que bon nombre de services opérationnels professionnels (ex : la sécurité des métros et des trains de banlieues, remontées de preuves judiciaires lors d'intervention de police, maintenance assistée de site pétrolier/gazier/nucléaire...) requièrent une utilisation de plus en plus accrue de la vidéo, notamment dans le sens montant (ex : du train/métro au centre de contrôle, du policier au centre de commandement, de l'employé/robot au centre d'intervention...). Le besoin croissant en débit, notamment sur les réseaux d'accès radio, se fait de plus en plus pressant afin que ces services parfois critiques puissent faire face à la montée en débit induite par les services vidéo, notamment de haute résolution. Aussi, bien qu'encore souvent assuré par certaines technologies PMR en bande étroite, l'appel de groupe opérationnel tend à basculer de plus en plus d'une utilisation voix seulement à un service voix couplée à de la donnée et de la vidéo, à savoir une utilisation multimédia de l'appel de groupe.

Bien que les algorithmes de compression vidéo aient vu leur performance largement s'accroître ces dernières décennies, le débit minimum garanti (à savoir, au bord de cellule pour assurer une

continuité de service en mouvement) et donc la quantité minimale de fréquences restent des éléments clefs pour qu'un réseau d'accès radio quel qu'il soit puisse prendre en charge ces services opérationnels vidéo.

Des pilotes terrain (ex : SYSTUF, Métro de Madrid...) menés par Nokia ainsi que certains réseaux 4G opérationnels (ex : mine de Rio Tinto, Aéroport d'Helsinki, réseaux privés de Sécurité Civile...) déployés par Nokia ont montré qu'une bande spectrale de 20MHz (TDD ou FDD) ne permettait de garantir (débit minimum associé au bord de cellule) à travers un réseau d'accès radio 4G qu'un débit d'une dizaine de Mbps en sens montant et descendant.

Au-delà d'une certaine amélioration de l'efficacité spectrale offerte par la 5G comparée à la 4G dues notamment aux ordres de MIMO supérieurs (dépendent de la classe 3GPP des terminaux), de la structure physique d'une porteuse 5G (« Lean Carrier »), de l'utilisation du « Beam Forming », la 5G (CP/SC-OFDM comme la 4G) devrait offrir sensiblement les mêmes types de débits garantis que ceux de la 4G à largeur de bande (notamment 20MHz) identique (Loi de Shannon) pour comparer ces deux technologies. Ainsi Nokia estime que la 5G devrait permettre une amélioration d'environ 5% de l'efficacité spectrale sur 10MHz/15MHz/20MHz de bande et d'environ 8% sur des bandes passantes plus larges telles que 50MHz/90MHz/100MHz...

La conséquence d'attribuer 20 MHz de bande en 5G serait donc de limiter cette dernière technologie à des performances (en débits minimum notamment) environ du même ordre de grandeur que celui offert par la 4G.

En revanche, les performances en débits et en efficacité spectrale de la 5G va s'accroître par rapport à la 4G (non linéairement pour l'efficacité spectrale) en fonction de la largeur de bande de la porteuse 5G. Le débit pic et moyen de la cellule 5G augmentant avec la largeur de spectre allouée à cette dernière, des bandes de fréquence de 50MHz, 80MHz... devraient permettre au fournisseur d'accès 5G d'offrir des débits pleinement compatibles des services opérationnels vidéo de haute résolution quelque soient les services à rendre.

Question n°46. Est-ce que les équipements permettront en 5G d'agréger entre eux plusieurs blocs de fréquences non contigus ? Quelles sont les contraintes éventuelles pour la canalisation et l'espacement fréquentiel des blocs non contigus ?

Oui, les équipements pourront agréger plusieurs blocs de fréquences non contigus entre eux, avec une certaine liberté dans les combinaisons possibles (sous réserve de respecter les canalisations définies dans la norme). Néanmoins une attribution des bandes de fréquences variant au cours du temps et imposant des contraintes différentes sur les équipements demanderait de modifier ces équipements : par exemple l'attribution du bloc haut avec des contraintes de coexistence avec la technologie WiMAX imposera une reconfiguration du réseau installé lors de la levée de cette

contrainte. Toute fragmentation du spectre est un facteur de complexité dans l'ingénierie des réseaux et de limitations fonctionnelles. Il est donc indispensable de l'éviter.

Question n°47. Un plafond de fréquences vous paraît-il approprié pour la procédure ? Pendant la durée de l'autorisation ? Le cas échéant, quel plafond vous semble le plus pertinent ? Doit-il prendre en compte la quantité de fréquences dont disposerait l'opérateur dans d'autres bandes éligibles à la 5G ?

Question n°48. Sur quel périmètre géographique les autorisations d'utilisation des fréquences seraient-elles les plus adaptées ? Pourquoi ?

Partie 3. La bande 24,25 - 27,5 GHz

Question n°49. Quelle est votre analyse quant à l'intérêt présenté par la bande 26 GHz pour l'introduction de la 5G ? Quelle est votre appréciation de la maturité de l'écosystème dans la partie haute de la bande à horizon 2020 ?

La bande des 26 GHz a été identifiée par le RSPG comme l'une des bandes pionnières de la 5G. Selon l'article 4 du code européen des communications électroniques, au moins 1 GHz de la bande devrait être disponible pour les opérations 5G d'ici le 31 décembre 2020 dans tous les États membres. Cependant, la disponibilité de la totalité de la bande des 26 GHz (3GPP Band n258) est une condition préalable essentielle au développement d'un écosystème d'équipements cohérent pour la bande. La défragmentation et la disponibilité de blocs de spectre contigus volumineux s'appliquent également à la bande des 26 GHz, des blocs dix fois plus grands que ceux de la bande 3,4-3,8 GHz (800 à 1000 MHz par opérateur) devraient être la cible.

Nous notons qu'aux États-Unis, la FCC envisage de mettre aux enchères les 24,25-24,45 GHz et les 24,75-25,25 GHz (bande «24 GHz») et les fréquences 27,5-28,35 GHz (la bande «28 GHz»). En outre, l'intérêt porté à la bande 26,5-29,5 GHz en Corée, à la bande 24,25-27,5 GHz en Europe, à la bande 24,75-27,5 GHz en Chine et à la bande 27,5-29,5 GHz au Japon permettrait à l'industrie de tirer parti de l'écosystème en cours de développement globalement et créer environ 4 GHz de spectre contigu pour la 5G comprenant les bandes de 24 GHz, 26 GHz et 28 GHz. Ainsi, la bande des 26 GHz en Europe bénéficiera de l'écosystème général des équipements de réseau et terminaux.

Les mesures initiales prises par l'Europe visent donc à dégager au moins 1GHz de la bande 26 GHz à partir de 2020 mais cela reste insuffisant car le besoin d'ultra haut débit et d'extrême capacité en zones urbaines va aboutir à un besoin de 400 MHz par opérateur. Le spectre 26 GHz revêt plusieurs challenges :

- Les émissions sur les bandes au-dessous de 24 GHz peuvent limiter la bande utile de 1 à 1.5 GHz dans le bas du spectre.

- La libération du spectre déjà utilisé par d'autres applications en dessous de 26.5 GHz peut demander un certain temps.
- En ce qui concerne les réseaux, les équipements sont disponibles dès à présent pour les expérimentations comme l'a montré le test conduit par NOKIA lors de la 35e réunion plénière du BEREK en Pologne le 14 Juin 2018. Ils seront disponibles pour des déploiements commerciaux dès la deuxième partie de cette année.
- En Asie et en Amérique du Nord, des déploiements significatifs sont en cours dans la bande 28GHz ; (expérimentations 5G et déploiements commerciaux). Les bandes 26 GHz (24.25-27.5 GHz) et 28 GHz (26.5-29.5 GHz) n'adressent pas les mêmes marchés mais il faut noter que la portion 26.5-27.5 GHz leur est commune.

Les équipements de la bande 28 GHz étant déjà disponibles et utilisés depuis 2017 en Amérique du Nord par exemple, la première implantation commerciale prévue de 2018 à 2020 en Europe peut en bénéficier également. Cet aspect sécurise la phase de démarrage des ondes millimétriques pour la 5G, en assurant les économies d'échelle nécessaires.

Cet aspect est très important pour le développement de la 5G car la bande 26 GHz offrira de très larges opportunités de déploiements de services 5G utilisant les ondes millimétriques. Ces services seront commercialisés à partir de 2019 et permettront la fourniture de liens d'accès et de « backhauling » hot spot de plusieurs gigabits, à haute densité et à haute flexibilité de configuration.

- L'utilisation de la bande 26 GHz sera essentielle pour la mise en place de capacités à ultra haut débit, à la densification nécessaires aux développements des nouvelles applications mais aussi à la transformation des secteurs industriels.

Notons également que les « petites cellules » pourront utiliser également cette bande et joueront également un grand rôle pour compléter le réseau en introduisant une meilleure capillarité du réseau pour augmenter la capacité et la densité et diminuer le temps de latence.

Question n°50. Êtes-vous favorable à la mise en œuvre d'une synchronisation entre réseaux TDD 5G dans cette bande ou d'une semi-synchronisation ? Pour quelles raisons ? Dans l'hypothèse d'une synchronisation, quel ratio temporel vous semble pertinent entre l'utilisation des fréquences en sens montant et en sens descendant ? Les paramètres de synchronisation doivent-ils être imposés dans les futures autorisations ou définis par une concertation entre les titulaires des fréquences ?

Une synchronisation entre réseaux TDD opérant dans la bande 24.25-27.5 GHz et utilisant la technologie « mMIMO » simplifierait la coexistence entre Opérateurs mais dans cette bande de fréquence elle n'apparaît pas nécessaire en raison d'une propagation à portée plus réduite du signal électro-magnétique. Ce qui est défavorable pour la portée est un plus pour l'isolement

entre cellules. Une semi-synchronisation (possibilité de modifier la direction d'un slot de la trame de référence utilisée pour la synchronisation) peut cependant être possible dans certains cas.

Question n°51. Selon vous quels seraient les critères pour évaluer l'impact sur la performance de la 5G de la coexistence avec les stations terriennes ? Qu'est-ce qui constituerait un impact significatif ? Quelle largeur de bande de garde ou distance de séparation serait nécessaire pour éviter tout brouillage ?

Il y aura impact sur les réseaux 5G si la présence des stations terriennes (EESS, SRS, FSS) amène à définir autour d'elles des zones d'exclusion ou de coordination (selon les cas) qui incluraient des zones urbaines ou des centres commerciaux pour lesquels l'implantation de réseaux 5G à 26 GHz est prévue. En tous cas, l'impact doit être minimisé en prenant en compte les caractéristiques réelles du terrain et du bâti pour déterminer ces aires. (On pourra se référer aux ordres de grandeur résultant des études CEPT). En tous cas il faut éviter à l'avenir l'implantation de stations terriennes opérant dans les 26 GHz au voisinage immédiat des zones urbaines.

Les distances de séparation varient en fonction du type de station terrienne et de l'environnement géographique (topologie, végétation, immeubles...) et doit être considéré au cas par cas. Le cas le plus critique est celui des stations SRS mais ces stations sont en nombre réduit. Il faut noter aussi que ces stations terriennes ne couvriront que des parties de la bande 24.25-27.5 GHz et qu'elles introduiront donc une différenciation entre les blocs de fréquences attribués.

D'une manière générale, l'emplacement des futures stations devrait être planifié à priori avant la procédure d'attribution, afin que les candidats aient une vue claire des restrictions potentielles et que celles-ci n'évoluent plus au cours de la licence.

Question n°52. L'attribution de la bande 26,5 - 27,5 GHz devrait-elle être conduite dans le cadre de la même procédure que la bande 3,4 - 3,8 GHz ? Même question pour la bande 25,5 - 26,5 GHz ? Même question pour la bande 24,25 - 25,5 GHz ?

Question n°53. Y a-t-il des contraintes techniques à réaménager la bande 26 GHz une fois l'intégralité des 3,25 GHz de la bande 26 GHz attribués ?

Question n°54. Quelle quantité minimale de fréquences à attribuer vous paraît nécessaire ? Quelles seraient les conséquences sur les performances 5G d'une canalisation de seulement 200 MHz de bande ? Un plafond de de fréquences vous paraît-il souhaitable pour la procédure ? Pendant la durée de l'autorisation ? Le cas échéant, quel plafond vous semble le plus pertinent ?

Pour la fourniture d'un service d'accès fixe par la 5G, déjà mis en place dans le spectre millimétrique aux USA par exemple, il est souhaitable qu'un minimum de 400 MHz de bande soit attribué, afin d'atteindre le Gigabit/s par secteur et assurer une connexion acceptable par abonné. Pour les applications d'ultra haut débit mobile, une largeur de bande de 400 MHz sera également nécessaire pour offrir des services lors d'évènements de masse sportifs, culturels ou artistiques.

Question n°55. Les équipements permettront-ils en 5G d'agréger entre eux plusieurs blocs de fréquences non contigus ? Quelles sont les contraintes éventuelles en termes de canalisation et espacement fréquentiels des blocs non contigus ?

Oui. Les équipements pourront agréger plusieurs blocs de fréquences non contigus entre eux sans contraintes particulières.

Question n°56. Toute ou partie de la bande 26 GHz devrait-elle faire l'objet d'une attribution sous un régime d'autorisation générale pour le déploiement de la 5G ? Pour quelles raisons ? Le cas échéant, quelles conditions techniques seraient pertinentes et nécessaires pour permettre l'utilisation de ces fréquences en 5G dans un tel cadre ?

Question n°57. Dans quelle mesure serait-il pertinent de prévoir des attributions locales sous le régime d'autorisation individuelle pour la bande 26 GHz ? Sur quel périmètre géographique les autorisations d'utilisation de fréquences seraient-elles les plus adaptées ?

Question n°58. Quels sont les avantages et inconvénients d'une autorisation individuelle nationale pour cette bande de fréquences ?

Partie 4. La bande 1427 - 1518 MHz

Question n°59. L'attribution de la bande 1452 - 1492 MHz devrait-elle être conduite en même temps que celle de la bande 3,5 GHz ? L'attribution du reste de la bande devrait-elle être conduite en même temps que celle de la bande 1452 - 1492 MHz ou ultérieurement ?

La bande 1.5 GHz est identifiée pour un usage de type SDL ; compte tenu de la configuration actuelle et des possibilités offertes par le 3GPP (une association à la bande 800 et 700), il est souhaitable et possible d'envisager 20MHz à 30MHz par opérateur disposant déjà de fréquences dans la bande 800.

Dans un contexte à trois opérateurs disposant des ressources dans la bande 800 MHz, Nokia considère que la seule opportunité réelle sera l'attribution de la bande 1427-1517 MHz, offrant en effet un total de 90 MHz (duquel il faut déduire le bloc 1427-1432 MHz, qui en pratique pourra uniquement accueillir des petites antennes).

Question n°60. Estimez-vous que la structure de bande proposée pour l'attribution soit pertinente ? Si non pourquoi ?

Il serait préférable d'attribuer l'ensemble de la bande en blocs de grande taille mais il est clair que la disponibilité de l'ensemble de la bande ne le permet pas. Le risque avec la solution proposée est de répartir chaque attribution en deux ou trois blocs non contigus, et donc de perdre en performances globales. La structure proposée correspond à l'état de fait résultant de l'utilisation actuelle des sous-bandes de fréquences constituant la bande 1427-1518 MHz.

Question n°61. Un plafond de fréquences vous paraît-il souhaitable pour la procédure? Pendant la durée de l'autorisation ? Le cas échéant, quel plafond vous semble le plus pertinent ?

- FIN DU DOCUMENT -