

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

SONDAGE sur les enjeux de la 6G

Prolégomènes

Bonjour, la 6^{ème} génération de systèmes de communications mobiles (6G) est actuellement en phase de recherche intensive à travers le Monde. Sa normalisation pourrait démarrer à partir de 2024, pour un déploiement commercial à partir de 2030.

Le Comité Stratégiques de Filière « Infrastructures Numériques », a proposé, dans son contrat de filière avec l'Etat, de contribuer à une vision française de la future norme des réseaux de communication 6G.

Pour alimenter cette réflexion, un groupe de travail regroupant académiques, industriels et institutionnels a été lancé. Il a identifié une série d'enjeux sur lesquels il entend travailler. Nous vous sollicitons pour vérifier la pertinence de ces enjeux, identifier les acteurs français qui y travaillent et les actions déjà entreprises sur le sujet, et enfin, mobiliser ceux d'entre-deux qui sont disposés à aider à la rédaction d'une série de « prises de position » permettant de structurer une vision française et ainsi aider à lancer des actions concrètes auxquelles l'Etat peut contribuer notamment au France2030. Il s'agira de rédiger un texte de quelques pages pour positionner l'enjeu au sein de la future 6G, d'identifier les contributeurs français sur le domaine et de faire des recommandations d'actions pour répondre à cet enjeu.

Les enjeux ont été regroupés en cinq types :

- *Enjeux techniques*
- *Enjeux d'architecture et de déploiement*
- *Enjeux d'usages*
- *Enjeux transverses de souveraineté,*
- *Enjeux de fréquences*

Si vous recevez ce questionnaire, c'est que les partenaires du CSF (académiques, industriels, pôles de compétitivité, Ministères) vous ont identifié comme un acteur potentiellement intéressé et contributeur pertinent pour la réflexion. Vos réponses seront essentielles pour nous permettre d'atteindre nos objectifs. Nous vous remercions par avance de votre contribution essentielle pour faire de notre pays un leader en Europe et dans le Monde des communications de demain.

Le choix d'un outil souverain (gestion DGE) contraint l'ergonomie du sondage (deux URL pour couvrir l'ensemble des enjeux et nécessité d'un texte d'accompagnement hors sondage pour expliciter les enjeux du fait de la limitation du texte des questions etc..) le texte ci-après vous guide sur le sens des questions posées avec un numéro dédié à chaque item.

- [Partie 1 \(Section 1 à 3\) :](#)

https://resana.numerique.gouv.fr/public/information/consulterAccessUrl?cle_url=198370644B20FZVNfBztdMFUzB2IXd1VrCzYFJFU8A2hQbVQ1XWcHNQA1VjFUNQM0AjsFNQ==

- [Partie 2 \(Section 4 à 6\) :](#)

https://resana.numerique.gouv.fr/public/information/consulterAccessUrl?cle_url=1308354323VD4EZFFdBzsDbgdhBGoEJFRqDDFVdFU8DWZVaAdmDjQFNwM2UzQCYwE2Bz4CMA==

Merci de votre temps et de votre contribution à la réflexion nationale

Le CSF infrastructures numériques

Table des matières

SONDAGE sur les enjeux de la 6G	1
Prolégomènes.....	1
1. PARTIE 1 : Enjeux techniques	4
1.1 Consommation énergétique et impact environnemental.....	4
1.2 IA et gestion des ressources	4
1.3 Mieux tirer parti de la dimension spatiale dans les réseaux (antennes...).....	4
1.4 Composants	4
1.5 Cyber.....	4
1.6 Virtualisation: environnement d'exécutions, Edge / Cloud	4
1.7 Joint communication & Sensing	4
1.8 Désagrégation matérielle (Open RAN)	4
1.9 Modularité et réparabilité des équipements	5
1.10 Transport optique.....	5
2. Enjeux déploiement/architecture	5
2.1 NTN (non terrestrial network): satellite...,	5
2.2 Réseaux mobilité V2X (lien PFA).....	5
2.3 NaaS: Modèle économique, Réseaux privés	5
2.4 Edge / Cloud	5
2.5 Fixed Wireless Access (FWA): radio pour THD fixe	5
2.6 Partage fibre accès/radio	6
3. Questionnaire #3 Enjeux Usages.....	6
3.1 La 6G, outil pour une société durable	6
3.2 Adhésion.....	6
3.3 Mobilité V2V, V2I (PFA)	6
3.4 Métavers industriel	6
3.5 Santé.....	6
3.6 Agri/Agro?	6
3.7 Localisation.....	6
3.8 Typologies des réseaux versus usages	7
4. Questionnaire #4 Enjeux transverses : souveraineté.....	7
4.1 Standards :.....	7
4.2 Brevets – maturation.....	7
4.3 Compétences.....	7
4.4 Taille critique des PME	7

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

4.5 Cyber sécurité.....	7
4.6 Composants.....	7
4.7 Open Source	8
5. Questionnaire #5 Enjeux Transverses : Fréquences.....	8
5.1 NTN bandes dédiées.....	8
5.2 THz (fonction des usages).....	8
5.3 Partage de spectre entre 5G et 6G.....	8
6. Question ouverte.....	8
Questionnaire#1 enjeux techniques	8
Informations.....	8

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

1. PARTIE 1 : Enjeux techniques

1.1 Consommation énergétique et impact environnemental

Explication : La 6G devra prendre en compte des objectifs de consommation énergétique de ses composantes (réseau d'accès, cœur, services) et de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre associées. Les futures normes, produits et services devront intégrer l'objectif de limiter la consommation énergétique lors de la conception et de l'utilisation de la 6G. Par ailleurs, la 6G sera à l'origine de consommation de ressources naturelles (fabrication des terminaux et objets connectés aux réseaux...).

1.2 IA et gestion des ressources

Explication : L'intelligence artificielle envahit l'ensemble des technologies numériques. Pour la 6G, l'IA peut devenir un élément clef de la gestion des réseaux ((re-)configuration des fonctions, optimisation des performances, sécurité, maintenance par exemple) mais pourrait aussi devenir un élément majeur des couches radio.

1.3 Mieux tirer parti de la dimension spatiale dans les réseaux (antennes...)

Explication : On imagine l'intégration de surfaces intelligentes dans le réseau radio 6G. Ces dernières seraient composées de méta-matériaux (matériaux artificiels) qui les rendraient configurables mais aussi très économe en énergie. Par ailleurs des évolutions des mécanismes multi-antennes (e.g. massive MIMO, XL MIMO, cell free MIMO) se développent pour optimiser l'efficacité spectrale des communications.

1.4 Composants

Explication : Les communications 6G nécessiteront dans les terminaux comme dans les réseaux d'accès des composants électroniques (RF, ASICs numérique, SOCs, processeurs IA...) de nouvelle génération, capables d'atteindre les performances attendues de ces réseaux. C'est particulièrement le cas pour les systèmes RF mmWave et les nouvelles bandes de fréquence de type « Térahertz » / bandes millimétriques.

1.5 Cyber

Explication : Les architectures de réseaux 6G entraîneront des vulnérabilités nouvelles (fonctions largement distribuées et décentralisées, ouvertes et programmables etc...) et aussi des architectures de cyber sécurité innovantes liées à ces configurations (y compris en utilisant des technologies de type IA).

1.6 Virtualisation: environnement d'exécutions, Edge / Cloud

Explication : Ces dernières années, la recherche sur les réseaux s'est fortement orientée vers les réseaux définis par logiciel (SDN) et la virtualisation des fonctions réseau (NFV). Ces technologies, au cœur de la future 6G, s'appliquent sur des environnements d'exécution (orchestration, hyperviseurs...) de type « cloud » alliés à des distributions des fonctions de calcul propres aux réseaux publics et privés (edge, far edge...).

1.7 Joint communication & Sensing

Explication : Les capacités de perception de l'environnement en tant que partie intégrante du réseau ont été identifiées comme une nouvelle caractéristique des futurs systèmes 6G. Il existe des cas d'utilisation applicables à l'amélioration des performances du réseau lui-même, mais aussi des cas d'usages innovants où la détection dans l'espace peut être proposée en tant que service aux utilisateurs ou aux applications externes au réseau.

1.8 Désagrégation matérielle (Open RAN)

Explication : L'open RAN est devenu un sujet de recherche et de développement avec la 5G. Certains pays (US, Inde) investissent de façon très importante sur le sujet pour en faire un outil de souveraineté en limitant les dépendances vis à vis d'équipementiers étrangers. Un réseau d'accès sans fil ouvert (Open RAN) est un concept faisant suite à la virtualisation du RAN et à la désagrégation d'équipements monolithiques jusqu'ici propriétaires. Cette désagrégation est une opportunité pour élargir la standardisation et donc l'interopérabilité des éléments de réseau d'accès sans fil (RAN), notamment sur une norme unifiée d'interconnexion pour des éléments matériels de type boîte transparente (White Box) et des éléments logiciels issus de différents fournisseurs.

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

L'architecture Open RAN intègre une pile logicielle de station de base modulaire pour équipement standard qui permet aux composants de bande de base et d'unités radio de différents fournisseurs de fonctionner harmonieusement ensemble.

1.9 Modularité et réparabilité des équipements

Explication : Les équipements déployés dans les réseaux 6G (terminaux, accès, cœur etc...) devront être conçus pour maximiser leur durée d'usage, respecter des contraintes légales et faciliter l'acceptabilité par les usagers, ce qui implique notamment une conception modulaire pour faciliter leur réparabilité et évolutivité. Il faudra que les matériels et logiciels développés prennent en compte ces contraintes dès leur conception.

1.10 Transport optique

Explication : Les réseaux de transport optiques joueront un rôle essentiel dans l'atteinte des exigences de performance des futurs réseaux. Les performances attendues de la 6G (débit, latence, nombre de terminaux sur une zone) impactent les fonctions de transport (optique) nécessaires au fonctionnement des réseaux eux-mêmes (transport réseau d'accès-cœur, relations edge-cloud etc...).

2. Enjeux déploiement/architecture

2.1 NTN (non terrestrial network): satellite...,

Explication : Les réseaux 6G seront nativement multi technologies avec notamment des capacités satellitaires donnant ainsi une 3^{ème} dimension aux infrastructures de communication. Les évolutions de la dernière décade sur le domaine avec l'arrivée des constellations LEO ont mis en évidence l'intérêt de ce type d'architecture pour améliorer la couverture et la qualité d'expérience. Par ailleurs, les concepts de la 6G permettent d'envisager des évolutions du segment sol et du segment satellite avec des fonctions réseaux embarquées et des besoins de capacités d'interaction directe entre satellites.

2.2 Réseaux mobilité V2X (lien PFA)

Explication : Un des cas d'usages majeurs des technologies XG est leur apport aux mobilités avec des capacités de communication dite V2X (véhicule- véhicule (V2V), véhicule-infrastructure (V2I)). Les déploiements des réseaux et services correspondants devront prendre en compte les contraintes liées à la mobilité (qualité de service, couverture, sécurité, certification / validation). Le CSF devra interagir avec la filière automobile/mobilité pour notamment synchroniser les ruptures technologiques des télécommunications et la maintenance en condition opérationnelle du parc de véhicules en circulation.

2.3 NaaS: Modèle économique, Réseaux privés

Explication : Les technologies xG (notamment via la virtualisation des fonctions) permettent de mettre en place de nouveaux modèles d'affaires, notamment pour les réseaux privés mais aussi les solutions de type MVNO, avec des ouvertures vers des modèles de type Network as a Service (NaaS).

2.4 Edge / Cloud

Explication : Les technologies de type 6G se basent sur une utilisation forte de solutions de type Cloud (fonctions réseaux virtualisées, centralisées, distribuées notamment en bordure de réseau) avec des capacités de co-hébergement entre les fonctions réseau et les fonctions de service. Ceci peut conduire à l'arrivée sur le marché des équipementiers et ou des opérateurs, de concurrents issus du monde de l'hébergement (de type GAFAM).

2.5 Fixed Wireless Access (FWA): radio pour THD fixe

Explication : Un des cas d'utilisation des technologies 6G sera comme pour la 4G et la 5G l'utilisation de liaisons dites fixes pour permettre une meilleure couverture des services THD fixe. Pour certains pays (US, Inde) il s'agit même d'un enjeu majeur.

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

2.6 Partage fibre accès/radio

Explication : La connectivité des éléments réseaux de la 6G (notamment RAN) nécessiteront des moyens de connectivité fixe à très haut débit de type fibre. On peut envisager des solutions de partage entre les réseaux d'accès fixes de THD (de type FTTX) et les réseaux de distribution mobiles.

3. Questionnaire #3 Enjeux Usages

3.1 La 6G, outil pour une société durable

Explication : La 6G a le potentiel de permettre à la société dans son ensemble (villes, industries, agriculture, etc.) de devenir plus durable. Afin de guider le développement de la technologie vers cet objectif, il est nécessaire d'identifier les besoins en télécommunications futurs de différents secteurs d'activité, notamment pour une plus grande durabilité. Cela implique une participation de représentants de ces secteurs d'activité dans les réflexions sur la 6G, dès la phase actuelle de recherche.

3.2 Adhésion

Explication : Les premiers déploiements des réseaux 5G ont démontré l'importance de se préoccuper de l'adhésion des citoyens à l'arrivée d'une nouvelle technologie. Avec la 6G et certaines de ces configurations de déploiement (nouvelles fréquences, nouvelles fonctionnalités comme le sensing, etc...), il convient donc de mieux anticiper les enjeux de communication, d'explication et d'adhésion par les usagers finaux, notamment sur la dimension contribution / impact sur le développement durable.

3.3 Mobilité V2V, V2I (PFA)

Explication : La technologie 6G vise à révolutionner l'industrie de la mobilité s'appuyant de façon extensive sur des connexions sans fil. La 6G vise un impact positif sur les services et les applications de mobilité. La connectivité (densité, couverture), la latence, la sécurité de la 6G devront permettre de déployer de nouveaux services en mobilité du véhicule de plus en plus autonome et connecté à son environnement.

3.4 Métavers industriel

Explication : Le métavers a d'abord été envisagé pour le monde du consommateur final où, à ce jour, il n'a pas reçu l'accueil escompté, cependant les concepts et les technologies sous-jacentes s'appliquent parfaitement au monde industriel mêlant jumeau numérique, connectivité des objets, réalité augmentée, traitement temps réel de masse de données changeant le rôle de l'opérateur au sein de l'usine. La 6G avec ses nouvelles capacités sera-t-elle l'outil majeur de cette nouvelle révolution industrielle ?

3.5 Santé

Explication : la 6G peut apporter des outils majeurs pour déployer de façon extensive des services de médecine 4P en permettant en temps réel de collecter des informations (constantes physiologiques, images...), en facilitant la réalisation d'exams ou d'opérations à distance, en palliant les conséquences des déserts médicaux en facilitant les échanges patients/professionnels de santé.

3.6 Agri/Agro?

Explication : L'agriculture intelligente aura un rôle essentiel à jouer pour relever les défis du développement durable. L'agriculture intelligente peut améliorer considérablement l'environnement agro-écologique ainsi que le rendement et la qualité des produits agricoles, et elle peut, par exemple réduire l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques, atténuant ainsi la pollution des terres agricoles et améliorant la durabilité des activités agricoles. La 6G peut être « la clé » de l'agriculture intelligente pour rendre la culture et la production agricoles plus soutenables.

3.7 Localisation

Explication : Avec l'arrivée de la 6G et de fonctions liées à la localisation des objets/terminaux (la localisation et la détection seront intégrées dès le départ dans la norme pour permettre des applications et des cas d'utilisation spécifiques). De nouvelles opportunités seront donc offertes pour les applications de localisation et de détection, qui impacteront notre façon de vivre, d'interagir avec notre environnement, ainsi que des filières industrielles.

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

3.8 Typologies des réseaux versus usages

Explication : La 6G sera une ombrelle qui intégrera de multiples configurations réseaux en lien avec les usages supportés. Ce terme englobant conduira à de multiples structurations des réseaux d'accès et cœurs (en lien avec l'utilisation de technologies cloud par exemple) s'appuyant sur des bandes de fréquence elles aussi multiples en fonction des usages visés (public, privé, domaine applicatif...)

4. Questionnaire #4 Enjeux transverses : souveraineté

4.1 Standards :

Explication : Gagner la bataille des standards est essentiel à la maîtrise des technologies XG. Sur la 5G la France a été quasi absente. Pour la 6G, il s'agit non seulement de connaître les standards mais aussi de pouvoir en influencer les contenus en y poussant des solutions technologiques conçues et développées par les équipes de recherche Françaises. Il s'agit de contribuer aux réunions dans les organismes ad hoc (3GPP...) avec une délégation française suffisante pour peser sur les débats et les votes, d'informer les parties prenantes françaises des enjeux et résultats de ces réunions, voire d'élaborer des positions françaises (et/ou européennes) multi acteurs (équipementiers (grands groupes, PME) / opérateurs / Etat) avec une coordination efficiente.

4.2 Brevets – maturation

Explication : Les versions des standards de communication mobile (et donc la 6G) comportent des dimensions liées au dépôt de brevets dits essentiels qui permettront de valoriser les savoir-faire des concepteurs des technologies retenues. Il convient que les équipes de recherche publiques et privées soient sensibilisées à cette dimension. Par ailleurs, des capacités de maturation des briques à TRL bas doivent être développées en lien avec les industriels notamment PME.

4.3 Compétences

Explication : Les compétences nécessaires à la conception et au développement des briques technologiques, produits et services de la 6G seront essentielles à la compétitivité de la filière française. Cela passe par la motivation des étudiants à fort potentiel à poursuivre leurs études dans des cursus de type technologies numériques (informatique, télécommunications...). Cela recouvre aussi les formations tout au long de la vie, pour préserver l'employabilité des équipes en places, pour le déploiement et le Maintien en Conditions Opérationnelles des nouvelles générations de réseaux qui devront être disponibles. Il s'agit par exemple de disposer de compétences duales télécom/IT incluant les compétences additionnelles de type cloud, IA, cyber sécurité et/ou numérique responsable.

4.4 Taille critique des PME

Explication : Les PME innovantes de nos écosystèmes doivent pouvoir être accompagnées par la filière de façon à développer leur savoir-faire. Il existe un enjeu de taille critique pour leur permettre d'exister dans les technologies, produits et services de la 6G.

4.5 Cyber sécurité

Explication : La cyber sécurité des réseaux 6G est un enjeu technologique (cf. ci-dessus) mais il s'agit aussi d'un enjeu de souveraineté du pays (et de l'Europe) pour lui permettre de disposer des outils nécessaires à la certification et/ou au test cyber des produits/services développés par les acteurs français (notamment PME) et étrangers avant déploiement dans les réseaux opérationnels. Par ailleurs des capacités (de type CERT) de partage d'information (vulnérabilités...) paraissent utiles voire indispensables.

4.6 Composants

Explication : La 6G impliquera l'évolution de l'interface radio, notamment avec de nouvelles bandes de fréquence. Du côté des terminaux/objets comme du côté du réseau d'accès, de nouveaux composants électroniques devront donc être développés pour traiter de façon optimale (et durable) les fonctions attendues. Par ailleurs, l'introduction de technologies de type IA au sein même des couches réseaux se traduiront sans doute par des besoins en termes d'IA embarquée au sein des produits 6G avec des matériels spécifiques. La maîtrise

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

de ces briques de base devient donc un enjeu de souveraineté pour tous les pays. Le croisement de la 6G avec des initiatives européennes de type Chip act peut s'avérer utile.

4.7 Open Source

Explication : Les fonctions réseaux virtualisées (NFV), les orchestrateurs, les logiciels de contrôle réseau (SDN), les fonctions du RAN ou du cœur peuvent faire appel à des briques logicielles open sources. Les capacités d'intégration de ces briques, de gestion appropriée des licences associées constituent alors un enjeu pour la maîtrise des systèmes ainsi que pour les modèles économiques.

5. Questionnaire #5 Enjeux Transverses : Fréquences

5.1 NTN bandes dédiées

Explication : L'un des changements significatifs de la 6G par rapport aux générations de communication mobile précédentes est qu'elle inclura désormais des réseaux non terrestres (Non Terrestrial Network-NTN) permettant ainsi aux architectures de réseau 2D classiques de fonctionner dans un espace 3D. Les plateformes de basse altitude (LAP) et de haute altitude (HAP), les véhicules aériens sans pilote (UAV) et les satellites pourront notamment être exploités par des réseaux non terrestres (NTN). Des configurations de type LEO (Low earth orbit) dans des configurations de déploiement de type constellations et GEO (orbite géostationnaire) sont envisagées avec des bandes dédiées (L,S, Ka...).

5.2 THz (fonction des usages)

Explication : La communication dans la gamme sous-téraherz (sous-THz) est envisagée pour être rendue possible par les systèmes 6G. Avec la capacité unique de servir des débits de données très élevés, la communication sous- THz peut permettre les vitesses extrêmes et les faibles latences nécessaires pour permettre des cas d'utilisation 6G tels que la communication holographique professionnelle haute résolution. Ce sont donc des usages dédiés qui guideront le déploiement de ces bandes de fréquences.

5.3 Partage de spectre entre 5G et 6G

Explication : Les bandes de fréquences sub-6 GHz (3,5 – 6 GHz) et celles situées dans le domaine des ondes millimétriques (mmWave, 24 – 100 GHz) sont les deux nouvelles bandes exploitées par les technologies de communication 5G. Les nouvelles gammes de fréquences envisagées pour la 6G comprennent la bande de 7 à 20 GHz, la bande W (au-dessus de 75 – 110 GHz), la bande D (110 GHz à 175 GHz), les bandes entre 275 GHz et 300 GHz, et dans la gamme THz (0,3-10 THz). Cependant la 6G devra également exploiter les bandes basses actuellement utilisées par la 4G et la 5G. L'arrivée de la 6G, comme pour la 5G, posera la question du partage des bandes de fréquences entre 5G et 6G, afin de permettre une introduction de la 6G sans perturber les services sur la 5G.

6. Question ouverte

Outre les enjeux cités, voyez-vous d'autres enjeux à prendre en compte ?

Questionnaire#1 enjeux techniques

Informations

- Nom-prénom
 - Structure
 - PME/GG/Académique/autre
 - Position
 - @mel
-
- 1.1 Consommation énergétique : Pour votre structure : Cet enjeu est ?*

« Structurer une réflexion sur les enjeux post-5G : virtualisation et 6G »

- Structurant
 - Important
 - Faible
 - Négligeable
- 1.1 Pour votre structure : Cet enjeu est déjà pris en compte dans votre activité : OUI/NON Comment ?*
- 1.1 Pour votre structure : Vous disposez en interne des compétences nécessaires à sa maîtrise ?*
 - OUI
 - NON
- 1.1 Pour votre structure : Vous êtes prêt à contribuer à la réflexion du CSF sur cet enjeu ?*
 - OUI
 - NON

- 1.2 IA gestion ressources : Pour votre structure : Cet enjeu est ?*
 - Structurant
 - Important
 - Faible
 - Négligeable
- 1.2 Pour votre structure : Cet enjeu est déjà pris en compte dans votre activité : OUI/NON Comment ?*
- 1.2 Pour votre structure : Vous disposez en interne des compétences nécessaires à sa maîtrise ?*
 - OUI
 - NON
- 1.2 Pour votre structure : Vous êtes prêt à contribuer à la réflexion du CSF sur cet enjeu ?*
 - OUI
 - NON

- 1.3 Dimension spatiale (antennes) : Pour votre structure : Cet enjeu est ?*
 - Structurant
 - Important
 - Faible
 - Négligeable
- 1.3 Pour votre structure : Cet enjeu est déjà pris en compte dans votre activité : OUI/NON Comment ?*
- 1.3 Pour votre structure : Vous disposez en interne des compétences nécessaires à sa maîtrise ?*
 - OUI
 - NON
- 1.3 Pour votre structure : Vous êtes prêt à contribuer à la réflexion du CSF sur cet enjeu ?*
 - OUI
 - NON

Etc....