



**Livre Blanc**

# **La vision d'Orange pour la 6G**

**Mars 2022**





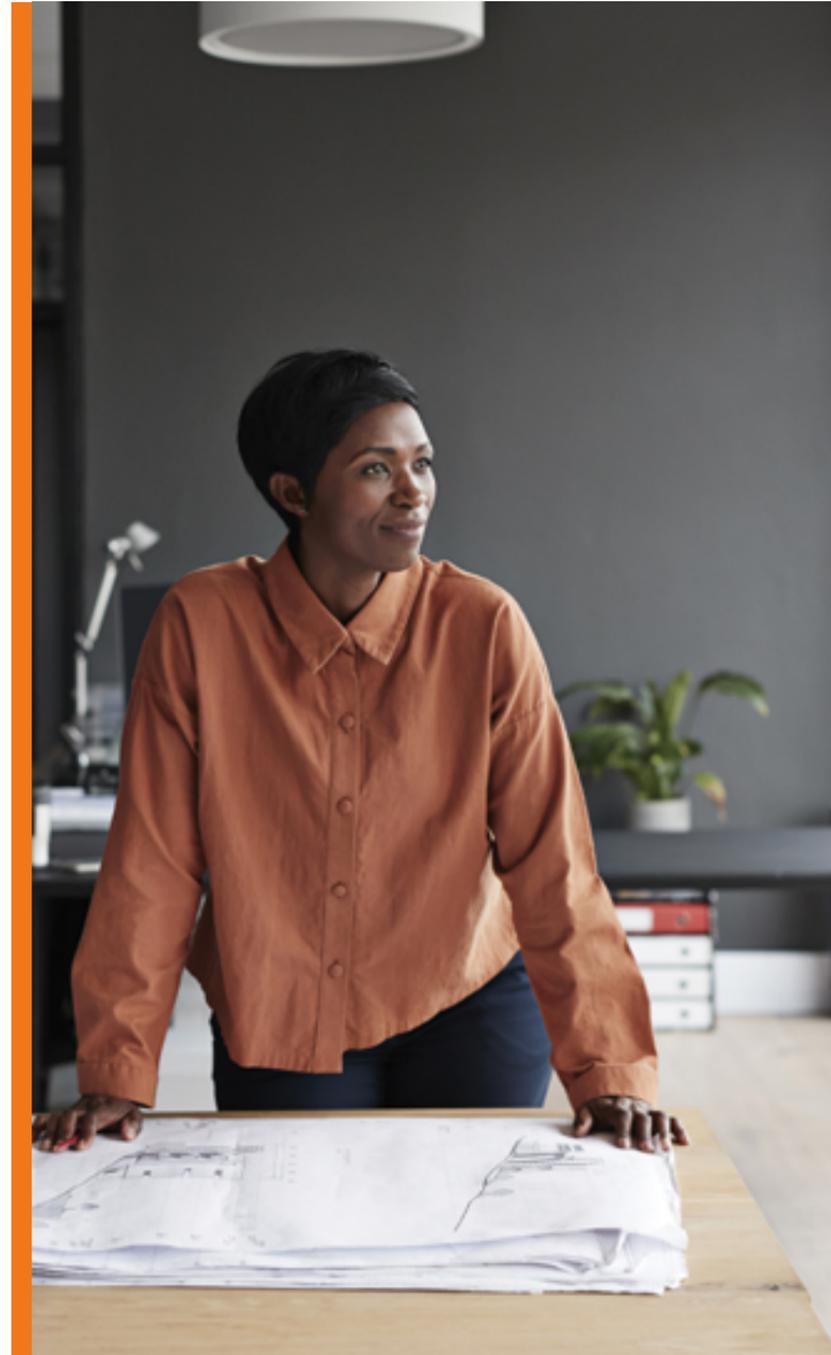
# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>1. Pourquoi la 6G ?</b>	<b>5</b>
<b>2. Quelques cas d'usages de la 6G</b>	<b>10</b>
Une expérience immersive	12
Jumeaux numériques	12
Robots et systèmes autonomes	13
E-Santé	13
<b>3. Les exigences de la 6G</b>	<b>14</b>
Les exigences sociétales d'Orange pour la 6G	15
Les exigences opérationnelles d'Orange pour la 6G	19
<b>4. Solutions techniques candidates pour la 6G</b>	<b>20</b>
Principes de conception clés	20
Briques technologiques 6G	24
<b>5. À retenir</b>	<b>30</b>
Une 6G qui crée de la valeur pour la société	30
Une 6G basée à parts égales sur les exigences sociétales et opérationnelles	30
La 6G conçue pour la société, avec la société	31
<b>Références</b>	<b>32</b>

## Introduction

Avec l'ambition de se préparer pour l'avenir, Orange contribue à la conception de la sixième génération de communications mobiles, c'est-à-dire la 6G. Orange participe activement à plusieurs projets de recherche collaboratifs sur la 6G et à des initiatives majeures, notamment le projet européen phare Hexa-X [1], l'Alliance NGMN [2] et le Forum Mondial IOWN [3]. En tant que partenaire de confiance, nous nous engageons à donner à chacune et à chacun les clés d'un monde numérique responsable. A ce titre, nous estimons que nous devons être une source d'inspiration, insuffler une vision, et fournir une explication éclairée de cette future technologie actuellement en développement.

Ce livre blanc présente donc la vision d'Orange pour la 6G, certains de ses cas d'usage, ainsi que ses avancées technologiques et solutions possibles.



## 1. Pourquoi la 6G ?

**Les communications numériques sont devenues la pierre angulaire de la société dans de nombreuses régions du monde. Parallèlement à la numérisation des espaces de travail, à l'adoption généralisée du télétravail et de l'enseignement à distance, et à la montée en puissance de la télémédecine, les communications mobiles s'ancrent de plus en plus profondément dans nos modes de vie et nos habitudes, aussi bien dans les sphères professionnelles que privées. Le développement des communications mobiles s'est déroulé sur des générations successives, de la première génération basée sur des systèmes analogiques (il y a plus de trois décennies) à la cinquième génération (5G), en cours de déploiement.**

Les systèmes de communication mobile sont régulièrement mis à niveau au sein d'une génération afin de répondre à la croissance du trafic, aux évolutions liées aux exigences de sécurité, et aux retours d'expériences opérationnels, entre autres. Après la 2G, la 3G et la 4G, la 5G suit une trajectoire similaire. Environ

tous les 10 ans, l'écosystème des communications mobiles élabore un système basé sur les techniques les plus récentes, en réexaminant parfois les principes de conception initiaux de la technologie en vigueur.

Cette périodicité provient du temps nécessaire à la recherche, à la normalisation, à l'harmonisation internationale du spectre et à l'industrialisation : environ 10 ans entre les concepts techniques et le lancement commercial, comme illustré dans la figure ci-dessous.

Ces dernières années, la 6G a été présentée comme la nouvelle génération de technologie de communication mobile et fait déjà l'objet d'activités de recherche intenses. Bien que la 6G ait déjà reçu l'attention des médias, les recherches sur la 6G n'en sont qu'à leurs débuts. Les études sur de nouvelles perspectives d'usage et des techniques potentielles n'ont démarré que récemment. En effet, l'écosystème des télécommunications prévoit des déploiements commerciaux de la 6G à compter de 2030.

Quant à savoir à quoi ressembleront, en 2030, les services, les capacités et les réseaux 6G, la question reste ouverte. Mais comme pour tout système de télécommunications, la 6G sera définie progressivement, avec l'établissement d'un consensus au sein de l'écosystème concernant ses objectifs de conception et ses solutions techniques. La phase de construction d'un consensus est déjà en cours grâce à l'échange d'idées et de résultats lors de conférences de recherche, et au sein de projets collaboratifs et d'organisations professionnelles. Elle comprend des analyses sur les services futurs, les performances, la faisabilité pratique à un coût abordable, la valeur ajoutée et l'impact environnemental.

La conception d'une technologie de communication pour les années 2030 repose sur 1) la compréhension des besoins futurs en matière de services à l'horizon 2030 et au-delà, 2) l'étude de techniques améliorant les performances par rapport à la pointe de la technologie et 3) la combinaison de différentes techniques pour construire un système de communication mobile répondant aux besoins et contraintes identifiés. En règle générale, les deux premières étapes se nourrissent mutuellement : les nouvelles exigences de service stimulent la recherche, tandis que l'augmentation des performances inspire de nouveaux services. C'est dans cette phase que nous sommes actuellement pour la 6G.

La troisième étape commencera lorsque les services cibles et les capacités techniques seront suffisamment compris pour définir des objectifs de conception, ou exigences, ce qui est attendu pour 2023. L'établissement d'un consensus aboutira lors de la normalisation, qui définit les exigences de service, les architectures, les interfaces et les protocoles, qui devront être respectés au niveau mondial. En effet, une norme mondiale commune est essentielle pour garantir des

coûts abordables grâce à des économies d'échelle, l'interopérabilité et une itinérance internationale. La date de publication des spécifications de la 6G n'a pas encore été décidée, mais aux alentours de 2028 est une hypothèse raisonnable, avec une normalisation commençant vers 2025.

L'objectif d'Orange est de faire en sorte que la 6G apporte de la valeur à la société dans les années 2030, de manière sécurisée, résiliente et durable écologiquement et économiquement.

La plupart des enjeux anticipés pour les années 2030 sont déjà d'actualité, par exemple le changement climatique, la crise de la biodiversité, le besoin d'éducation et de soins de santé pour tous, l'autonomie des seniors, une industrie, une agriculture, des transports et une logistique plus efficaces, une production et des usages durables de l'énergie, la résilience face à des crises massives et successives, la sécurité, la confidentialité, la souveraineté et l'égalité.

Les difficultés associées devraient s'accroître à mesure que la population mondiale se développera, vieillira, affluera dans des villes plus grandes ou plus denses, dans un contexte d'impacts plus graves du changement climatique.

L'écosystème des communications numériques s'engage déjà à relever certains de ces défis. Cependant, des communications plus performantes peuvent contribuer à les affronter plus efficacement. En outre, le paysage technologique évoluera dans plusieurs autres domaines, par exemple la santé, la robotique et les transports, requérant des capacités de communication mobile améliorées.

Ce livre blanc fournit un aperçu du processus de développement actuel de la 6G. Il propose également une voie pour concrétiser la vision sociétale et environnementale d'Orange pour la 6G.

<sup>1</sup> Nous pouvons dater le lancement de l'effort de recherche mondial sur la 6G au 1er Sommet sur la 6G (1st 6G Summit), qui s'est déroulé en avril 2019 à Levi en Finlande.

Les usages et services exploitant les capacités attendues de la 6G sont en gestation. La section 2 présente certains des principaux cas d'usage actuellement identifiés comme sources de valeur par Orange. Les exigences découlant des cas d'usage identifiés, ainsi que de contraintes opérationnelles, jouent un rôle clé dans l'élaboration d'une technologie. Un aperçu des exigences d'Orange pour la 6G est donné à la section 3. La section 4 passe en revue certaines des techniques actuellement éligibles à l'intégration dans le futur système 6G, avec un accent particulier sur des techniques dont Orange a été le fer de lance, afin de répondre aux enjeux de la durabilité environnementale et de l'exposition aux champs électromagnétiques. La section 5 conclut le livre blanc sur la façon dont nous devons construire la 6G en impliquant les futurs utilisateurs et toutes les parties prenantes.



**“L’objectif d’Orange : faire en sorte que la 6G apporte de la valeur à la société dans les années 2030, de manière sécurisée, résiliente et durable écologiquement et économiquement.”**

**“Les systèmes de communication mobile 2G, 3G et 4G n’ont cessé d’évoluer depuis leur lancement, la 5G suivant une trajectoire similaire.”**



	Recherche sur les briques de base	Recherche sur le système	Développement		
			Normalisation	Tests	Lancements
<b>6G</b> calendrier prévu	2014 : concept de surfaces intelligentes reconfigurables	2021 : lancement des premiers projets de recherche européens (Hexa-X)	2026 : lancement des études techniques	2028 : premières spécifications	2030 : lancement
<b>5G</b>	2007 : concept du massive MIMO	2012 : lancement des premiers projets de recherche européens (METIS-2020)	2016 : lancement des études techniques	2018 : premières spécifications	2020 : lancement en France
<b>4G</b>	1988 : concept de l'OFDM codé	2004 : lancement des premiers projets de recherche européens (WINNER)	2005 : lancement des études techniques	2008 : premières spécifications	2012 : lancement en France
<b>3G</b>	1989 : CDMA pour les communications cellulaires	1989 : lancement du premier programme de recherche européen (RACE)	1991 : début des activités ETSI 1998 : création de 3GPP	1999 : premières spécifications	2004 : lancement en France
<b>2G</b>	1958 : modulation numérique MSK	1982 : lancement du projet MARATHON en France	1982 : lancement des études techniques	1987 : première spécifications	1992 : lancement en France

Figure 1 : Développement d’une technologie de réseau mobile

**“La 6G est actuellement en phase de recherche initiale, avec des déploiements commerciaux prévus à partir de 2030.”**

## 2. Quelques cas d'usages de la 6G

Depuis les premières discussions sur la 6G, plusieurs organisations et projets ont travaillé à l'identification de cas d'usage emblématiques. Le programme de recherche 6G Flagship en Finlande [4] a ouvert la voie dans ce domaine via un livre blanc [5], qui identifiait un premier ensemble de cas d'usage tenant compte des différents types de terminaux attendus à l'ère de la commercialisation de la 6G.

Différentes entreprises ont ensuite publié leurs propres livres blancs, présentant leur vision, des cas d'usage envisagés et des exigences relatives à la 6G. Des projets européens collaboratifs ont également commencé début 2021 dans le cadre du programme européen Horizon 2020 [6].

Parmi ces projets 6G, le projet phare Hexa-X [1], vise à développer une

vision 6G et une structure intelligente de briques technologiques connectant les mondes humain, physique et numérique. L'un des premiers livrables du projet Hexa-X identifie un large ensemble de cas d'usage [7]. D'autres organisations telles que la NGMN travaillent elles aussi sur des cas d'usage. La NGMN a produit en 2021 un livre blanc présentant la vision des opérateurs pour la 6G [8] et, en février 2022, un livre blanc axé sur les cas d'usage [9].

Chez Orange, nous pensons que la 6G doit rendre possible des services qui apporteront de la valeur à la société et répondront aux enjeux sociétaux et environnementaux futurs, comme nous l'avons initialement présenté dans [10]. En particulier, en plus d'optimiser sa propre empreinte carbone, la 6G peut contribuer à transformer l'économie

pour réduire les émissions de carbone, comme l'exige l'Accord de Paris en vue de limiter le réchauffement climatique. En effet, la 6G peut contribuer à réduire l'impact environnemental de divers secteurs (transport, industrie, etc.) en permettant de nouveaux services pour optimiser leur consommation d'énergie et l'utilisation des ressources naturelles.

Parmi les autres exemples de valeur que la 6G peut apporter aux personnes et à la société, on peut citer la réduction des inégalités d'accès à l'éducation et à la santé, des industries et une agriculture plus efficaces et des transports plus sûrs. La 6G est ainsi reconnue comme un moyen d'atteindre certains des 17 objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies, notamment l'ODD n° 9 : "bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation".

Vous trouverez ci-dessous un sous-ensemble de cas d'usage prometteurs de la 6G qui, selon Orange, profiteront aux personnes et à la planète, illustrant le potentiel de la 6G. De nombreux autres nouveaux services et usages sont susceptibles d'émerger à l'avenir. Les cas d'usage actuellement identifiés doivent être mieux analysés du point de vue de la faisabilité technique, de la pertinence commerciale et de la durabilité économique et environnementale pour devenir de véritables services à l'ère de la 6G.



**“La 6G peut contribuer à réduire l'impact environnemental de divers secteurs (transport, industrie, etc.) en permettant de nouveaux services pour optimiser leur consommation d'énergie et l'utilisation des ressources naturelles.”**

### Une expérience immersive

**La pandémie a accru l'utilisation de la communication vidéo, la transformant en un outil crucial pour le travail et l'éducation, mais également en un moyen d'accès à divers services tels que la santé, la culture, le sport, etc. La 5G est sur le point d'introduire et de généraliser la réalité augmentée (AR), la réalité virtuelle (VR) et la réalité étendue (XR). Avec la 6G, l'expérience devrait devenir totalement immersive, de sorte que les utilisateurs distants connectés via un système de visioconférence puissent se comporter et procéder comme s'ils se trouvaient dans la même pièce. Cette expérience sera possible grâce à la transmission de vidéos de haute qualité, telles que la vidéo volumétrique, et à la combinaison d'éléments réels et virtuels pour améliorer la collaboration entre les personnes.**

La communication de sens supplémentaires, tels que le toucher, est également envisagée pour faciliter les interactions. Cette expérience entièrement immersive est l'un des constituants du métavers, tout comme d'autres constituants (l'intelligence artificielle, la technologie blockchain ou les jumeaux numériques).

Chez Orange, nous pensons que l'expérience immersive recèle un fort potentiel pour apporter de la valeur aux personnes et à la société, en particulier en évitant les transports inutiles. En outre, l'immersion améliorera les systèmes d'enseignement et d'apprentissage à distance, la médecine à distance, et donnera un accès plus large à la culture (par exemple via des visites immersives dans les musées, la participation à distance à des événements culturels avec la sensation d'être sur scène au côté des artistes). Elle permettra de nouvelles créations dans les domaines

artistiques et donnera une nouvelle dimension au divertissement. Outre l'amélioration de l'expérience utilisateur des communications immersives, la 6G devrait réduire le coût de fourniture de ces services et donc démocratiser leur accès.

### Jumeaux numériques

**Un jumeau numérique est une réplique numérique d'un objet physique ou de toute autre entité, comme un réseau. Les fonctionnalités 5G peuvent faciliter la collecte des données requises pour maintenir la synchronisation d'un jumeau numérique avec l'entité qu'il reflète. La 6G devrait permettre le développement et la généralisation des jumeaux numériques, grâce à des capacités accrues pouvant contribuer à conserver une image précise de systèmes complexes. Par ailleurs, les techniques 6G devraient être en mesure de fournir une synchronisation en temps réel (ou presque) entre une entité physique et sa représentation numérique.**

Les jumeaux numériques peuvent être un outil de gestion des actifs, tels que des machines complexes, et des flux d'objets et de personnes pour diverses applications, par exemple dans les villes intelligentes, les bâtiments intelligents ou l'agriculture intelligente. En effet, au-delà de l'assistance grâce à la visualisation numérique, les jumeaux numériques permettent d'exécuter divers algorithmes, y compris l'IA, sur les représentations numériques. Il peut s'agir, par exemple, d'anticiper l'évolution d'un système ou de tester plusieurs solutions dans l'espace numérique avant de les appliquer dans le monde réel.

Les jumeaux numériques peuvent nettement contribuer à préserver l'environnement : la représentation numérique peut être utilisée pour améliorer la gestion des déchets dans les villes ou optimiser les itinéraires

logistiques afin de minimiser la consommation d'énergie. Les jumeaux numériques peuvent également apporter de la valeur à la société et aux personnes en exploitant les informations fournies par les cartes numériques de divers environnements dans un but de protection. Ils peuvent en effet aider à prévenir les accidents ou à surveiller l'environnement pour prédire des dangers naturels. Le champ complet des services et applications qui exploiteront ce concept est encore à déterminer.

### Robots et systèmes autonomes

**La robotique et les systèmes autonomes, tels que les drones, dans les usines industrielles et autres secteurs représentent une catégorie proéminente de cas d'usage 5G. Grâce à une fiabilité accrue et à une latence réduite, la 5G couvre à la fois les marchés grand public et des secteurs verticaux, devenant ainsi une solution viable pour connecter des machines soumises à des contraintes de service strictes.**

**La 6G devrait confirmer cette tendance et permettre un changement d'échelle afin de gérer la croissance du trafic et l'augmentation du nombre de terminaux et de machines connectées, ainsi que la complexité accrue et le nombre croissant de contraintes simultanées qui en résultent.**

Une réduction supplémentaire de la latence peut s'avérer nécessaire pour faciliter la coexistence des robots et des travailleurs humains dans un même espace (les cobots). De surcroît, une meilleure communication avec et entre les robots facilite l'adaptation des lignes de production à des séries limitées, réduisant ainsi les défaillances et le gaspillage d'énergie et de matériaux. Les robots peuvent également remplacer les humains pour des tâches dangereuses.

L'utilisation de robots pourrait se généraliser au-delà du secteur industriel, avec une présence

croissante à la maison et dans la vie quotidienne dépassant les utilisations actuelles comme tondeuse ou aspirateur. Cette généralisation peut soutenir des usages bénéfiques à la société et à l'environnement. Lorsqu'ils sont déployés à domicile, les robots peuvent améliorer le bien-être de l'individu, par exemple en facilitant le quotidien des personnes touchées par une déficience physique, ou en aidant les personnes âgées à rester vivre chez elles.

### E-Santé

**La 6G peut favoriser le déploiement d'un service d'e-Santé, avec diverses applications.**

Comme pour l'expérience immersive, les patients qui vivent dans des déserts médicaux pourraient bénéficier de services de consultation à distance, avec des possibilités d'examen à distance supplémentaires. Naturellement, cela requiert une large couverture réseau, y compris pour les zones rurales et montagneuses, qui soit viable économiquement (voir la section des exigences en matière d'inclusion numérique, p. 17). En outre, les jumeaux numériques peuvent être utilisés pour imiter le corps humain grâce à un réseau de capteurs qui surveillent un ensemble de données biologiques en temps réel, renforçant le pronostic et la prévention des problèmes de santé. Des informations plus détaillées sur la santé et le corps d'un individu exigeront de hauts niveaux de sécurité et de confidentialité.

Les cas d'usage sont un outil puissant pour guider le développement d'une technologie, car ils donnent une idée des performances et des capacités requises. La section suivante présente la vision d'Orange concernant les exigences de la 6G.



### 3. Les exigences de la 6G

Le développement de la 6G se concentre actuellement sur la vision, les cas d'usage et les briques technologiques. Les discussions sur les exigences restent à un stade précoce. Les exigences découlent en général d'une description consolidée de la vision et des cas d'usage, ainsi que d'une compréhension des possibilités techniques, qui ne sont pas encore disponibles pour la 6G. Nous pensons que le travail de développement des exigences de la 6G doit englober des exigences commerciales, opérationnelles, environnementales, sociétales et techniques sur lesquelles les parties prenantes de la 6G peuvent s'accorder.

Différentes visions des exigences de la 6G ont été exprimées dans la littérature, en particulier pour les exigences de performances.

Les améliorations de performances suggérées dépassent souvent celles de la 5G d'un ou plusieurs ordres de grandeur [5, 11, 13, 14]. Par exemple, des valeurs de débit de 100 Gbit/s à 1 Tbit/s sont envisagées pour les communications holographiques/immersives, ainsi qu'une densité de connexion de 10 -

100 millions de terminaux par km<sup>2</sup> pour les machines connectées, entre autres exigences de performances. En effet, la 6G devrait atteindre des performances supérieures à celles de la 5G pour permettre de nouveaux services et soutenir la croissance attendue du trafic. Cependant, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour définir les valeurs d'exigence exactes que nous devons viser.

Nous pensons que la normalisation des exigences de performance de la 6G devrait à terme être motivée par la valeur sociétale et économique qu'elles permettront, et être soutenue par un intérêt suffisant du marché. L'expérience opérationnelle acquise grâce aux fonctionnalités et aux exigences récemment introduites avec les réseaux 5G, notamment la fiabilité et la latence, devra également être prise en compte (y compris l'adoption et les coûts de fourniture). En règle générale, les meilleures performances réseau de la 6G devront s'accompagner de moyens garantissant la fourniture de ces performances avec certains niveaux de qualité de service, afin que les opérateurs puissent s'engager à cet égard envers leurs clients. En outre, le débit et la capacité de la liaison montante (du terminal au réseau) devront faire l'objet

d'une attention particulière pour répondre à la demande attendue en contenu généré par les utilisateurs ou les machines, y compris à grande échelle, par exemple en streaming vidéo de haute qualité dans des lieux bondés.

À ce jour, le travail le plus important sur les exigences provient du projet Hexa-X, dont les valeurs sociétales, telles que le développement durable, la fiabilité et l'inclusion, sont au cœur de la vision de la

6G. Les exigences liées à ces valeurs ont été envisagées par le biais d'indicateurs clés de valeur (KVI), tout comme l'amélioration de la perspective conventionnelle des performances techniques via des indicateurs clés de performance (KPI). Hexa-X a établi un plan pour le développement à venir de la technologie, qui aidera à affiner les KPI et les KVI.

### Les exigences sociétales d'Orange pour la 6G

La fourniture efficace et durable des services décrits à la section 2 exige des performances réseau supérieures, notamment des capacités et des débits de données plus élevés, mais aussi des exigences supplémentaires ne ciblant pas la performance pure. Nous avons introduit ces dernières comme des exigences sociétales dans [15], qui sont résumées dans la figure ci-dessous.

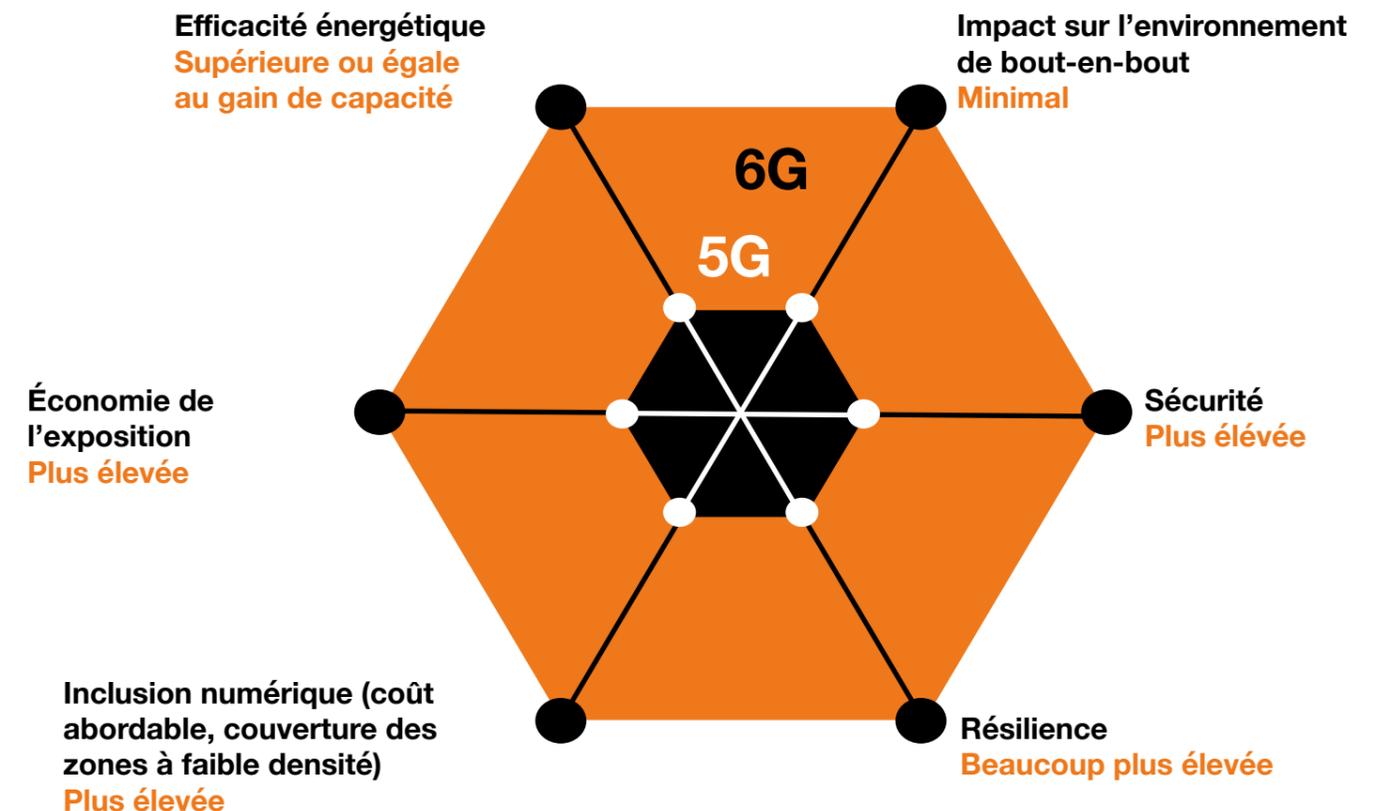


Figure 2 : La vision d'Orange pour les exigences sociétales de la 6G

## Haute efficacité énergétique

Les mesures effectuées sur les réseaux Orange pour la 2G, la 3G et la 4G ont indiqué que chaque génération mature de technologie de communication mobile a réduit l'énergie nécessaire à la transmission d'un bit d'informations selon un facteur de 10 par rapport à la génération précédente. Jusqu'à la 4G, cette amélioration était obtenue grâce à une combinaison de progrès techniques, permettant d'augmenter le débit de transmission de données tout en maintenant la consommation d'énergie à des niveaux acceptables du point de vue pratique. Lors de la conception de la 5G, une attention particulière a été portée à l'efficacité énergétique, ce qui a conduit à la spécification de solutions dédiées pour économiser l'énergie, permettant ainsi au gain d'efficacité énergétique de la 5G d'atteindre un facteur 10 d'ici 2025 et un facteur 20 d'ici 2030, selon les études d'Orange.

Comme la 6G fournira davantage de capacité, sa conception doit réduire encore l'énergie consommée par bit transmis et par zone couverte. L'objectif d'efficacité énergétique de la 6G doit au minimum correspondre au gain de capacité, afin de ne pas augmenter la consommation d'énergie globale du réseau. Mais il est nécessaire d'étudier des architectures et des technologies pour réduire davantage la consommation d'énergie. Une orientation prometteuse consiste à optimiser l'efficacité énergétique selon une approche de conception globale de l'ensemble de la chaîne des Technologies de l'Information et

de la Communication (TIC), impliquant la conception des services et des protocoles Internet en plus des réseaux.

## Impact minimal sur l'environnement

Au-delà de l'énergie consommée pendant le fonctionnement des réseaux 6G, leur impact global sur l'environnement doit être minimisé. Cela inclut les ressources abiotiques (minerais, eau, etc.) consommées pendant la fabrication des équipements et terminaux réseau, ainsi que le CO2 émis pendant la durée de vie de ces derniers, de la fabrication à la fin de vie.

Pour répondre à cette exigence, il est nécessaire d'étendre le partage de l'infrastructure et d'augmenter la durée d'usage du matériel grâce à une réparabilité, une modularité et une évolutivité améliorées, ainsi qu'une efficacité de recyclage accrue. Les nouvelles techniques de connectivité réutilisant les ondes radio existantes au lieu d'en transmettre de nouvelles peuvent elles aussi réduire la quantité de matériaux requis pour fabriquer l'équipement, comme indiqué dans la section 4.

La 6G est le premier système dont l'impact environnemental global est pris en compte lors des phases initiales de recherche et de conception.

## Résilience, sécurité et confidentialité élevées

La résilience, la sécurité des données et la confidentialité ont été des objectifs de conception majeurs pour tous les systèmes de communication mobile. À mesure que le rôle des télécommunications devient de plus en plus essentiel pour les activités quotidiennes, le travail, l'éducation, la santé, les services publics et les industries, l'importance de ces enjeux s'accroît en conséquence.

La conception de la 6G doit donc fournir des moyens d'assurer de hauts niveaux de résilience, de sécurité et de confidentialité pour le système 6G. Cela inclut le renforcement du niveau général de protection, en tirant parti des progrès techniques récents, ainsi que la mise en place de solutions pour diminuer le risque de défaillances ou d'attaques associés aux nouvelles fonctionnalités et solutions techniques qui seront introduites avec la 6G (par exemple, la convergence des réseaux fixes et mobiles, le rôle croissant de l'IA et les communications THz). Le réseau doit pouvoir être autonome localement s'il est isolé de ses autres parties.

La 6G doit également contribuer au développement d'environnements réseau fiables malgré des écosystèmes multipartites potentiellement non sécurisés, où la portée du service couvre plusieurs domaines gérés par différentes entités potentiellement en concurrence (par exemple, un service de réseau privé virtuel 6G qui répondrait aux besoins d'une entreprise internationale). Cela implique des méthodes spécifiques pour garantir la

disponibilité, la sécurité et la confidentialité des services et des données dans des infrastructures multipartites, afin de fournir un niveau de confiance global suffisant pour ces services.

Dans l'ensemble, la 6G doit faciliter l'engagement des opérateurs réseau sur des accords de niveau de service (SLA) spécifiant les niveaux de qualité, de sécurité et de disponibilité des services.

## Inclusion digitale

Alors que les technologies de télécommunication se font de plus en plus omniprésentes dans les activités humaines, il est impératif pour la société que chacun puisse accéder aux services numériques avec un niveau de qualité approprié. Actuellement, certaines personnes n'ont pas accès aux services Internet en raison de problèmes de couverture réseau, de savoir-faire ou de revenus.

Dans le premier cas, le problème est essentiellement économique, car les zones mal couvertes sont souvent peu peuplées ou difficiles d'accès. Par conséquent, le chiffre d'affaires attendu des utilisateurs ne compense pas le coût de l'infrastructure réseau. Les zones rurales sont particulièrement concernées par cette situation. Couvrir ces zones implique de réduire le coût des infrastructures réseau par kilomètre carré de couverture. Les mesures possibles incluent des sites radio moins coûteux (y compris l'équipement, l'énergie et la connectivité au cœur de réseau), l'extension de la portée des sites radio pour réduire leur nombre, l'accès à des bandes de fréquence basses supplémentaires ou l'utilisation de réseaux non terrestres (NTN, voir section 4). La 6G doit être conçue pour répondre à ces besoins.

Les difficultés d'accès au réseau peuvent aussi résulter d'un manque de savoir-faire quant à l'utilisation d'un smartphone ou d'un ordinateur. Une formation peut remédier à ce problème, comme celle dispensée par les Orange Digital Centers, ainsi que des interfaces plus simples et plus intuitives, telles que les interfaces vocales. Ces dernières constituent un domaine de recherche technique qui devrait progresser de manière significative en parallèle des recherches sur la 6G.

Et enfin, le coût du service peut empêcher certaines personnes d'accéder à la connectivité. Cette situation peut être résolue par une aide publique ou des offres commerciales spéciales, comme le "Coup de Pouce" d'Orange en France.

### Des communications économes en exposition

Une solution classique pour étendre la capacité du réseau consiste à augmenter le spectre de transmission, ce qui nécessite l'utilisation de bandes de fréquences supplémentaires. Cependant, utiliser une bande de fréquence supplémentaire augmente la puissance transmise et donc l'exposition aux champs électromagnétiques (CEM) qui en résulte. Les opérateurs sont soumis à une réglementation stricte concernant l'exposition aux CEM.

Dans la plupart des pays, les régulateurs nationaux définissent

les limites des CEM en fonction des directives publiées par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP), établies d'après l'analyse de résultats scientifiques. Mais certains pays (par exemple l'Italie et la Pologne) ou certaines villes (Bruxelles, Paris, etc.) ont adopté des limites plus contraignantes, parfois dix fois plus basses que les directives de l'ICNIRP.

L'exposition aux CEM induite par les réseaux actuels est largement inférieure aux limites recommandées par l'ICNIRP. Cependant, les limites très strictes risquent d'affecter l'expansion de la capacité du réseau sans fil à l'avenir, du moins avec les techniques de transmission actuelles. En d'autres termes, tôt ou tard, les systèmes actuels ne parviendront plus à utiliser de nouvelles bandes de fréquence dans les zones soumises aux limites d'exposition aux CEM les plus strictes, ou cela se fera au prix d'une réduction de la puissance d'émission dans les nouvelles bandes ou les bandes existantes, réduisant ainsi la couverture. Par conséquent, la conception de la radio 6G doit tenir compte de cette situation pour devenir économe en exposition aux champs électromagnétiques et permettre d'étendre la capacité sans augmentation significative des CEM.

Orange insiste sur l'importance de définir des exigences sociétales et de les inclure comme l'un des critères de conception initiaux pour la 6G, en plus des indicateurs clés de performance "traditionnels" (débits, capacité, latence, fiabilité, densité de connexion, etc.). Ces exigences sociétales doivent être considérées avec la même importance que les exigences de performances dans la conception du système 6G.

### Les exigences opérationnelles d'Orange pour la 6G

**Outre ces exigences sociétales, la future technologie 6G doit aussi répondre à des exigences opérationnelles afin de garantir une exploitation des réseaux efficace en termes de coût. Notez que les exigences sociétales ci-dessus en matière d'efficacité énergétique, de sécurité, de résilience et d'économie de l'exposition peuvent également être considérées comme des exigences opérationnelles.**

En général, le maintien de coûts de déploiement et d'exploitation de réseau abordables est une exigence essentielle pour garantir une durabilité économique.

L'automatisation des procédures de fourniture de services est cruciale pour les opérateurs proposant un portefeuille de services étendu et complexe, afin d'optimiser le délai de livraison d'un service, de réduire le risque d'instructions de configuration erronées, de gérer des réseaux à adaptation dynamique (changements de topologie réseau ou évolution des demandes client, par exemple) et d'améliorer le fonctionnement global du réseau.

L'automatisation requiert une capacité de surveillance complète du système afin de collecter les données de fonctionnement nécessaires à l'exécution des algorithmes d'automatisation.

Les compromis entre différents objectifs d'optimisation doivent pouvoir être configurés par l'opérateur, en fonction des besoins de service et opérationnels.

Par exemple, la capacité pourrait être prioritaire sur une faible consommation d'énergie dans

une zone très fréquentée pendant la journée, mais cette situation s'inverserait la nuit.

La flexibilité pour des évolutions futures, y compris sur l'interface radio, doit être garantie pour permettre la prise en charge de nouveaux besoins non anticipés lors de la conception initiale.

L'application dynamique des mises à niveau logicielles est essentielle pour faciliter l'intégration de nouvelles fonctionnalités sans perturber les services de connectivité.



**“En outre, l'impact environnemental de la fabrication des équipements doit être évalué, y compris le transport et la fin de vie.”**

# 4. Solutions techniques candidates pour la 6G

Comme tout nouveau système de communication mobile, la 6G introduira des innovations technologiques pour relever les défis associés aux exigences décrites précédemment et rendre possibles des usages novateurs. Dans cette section, nous fournissons plus de détails techniques sur les principes de conception clés et les briques techniques candidates identifiés pour répondre aux exigences d'Orange en matière de 6G.

## Principes de conception clés

Nous présentons ci-après quelques principes et directives de conception clés considérés par Orange comme particulièrement pertinents pour la 6G et les réseaux fixes associés au-delà de 2030, conformément à sa vision de la 6G.

### Surveiller la consommation d'énergie et évaluer l'impact environnemental intégré

L'impact environnemental de la 6G doit être considéré pour toutes les phases du cycle de vie des équipements 6G. Les équipements réseau 6G doivent donc prendre en charge la surveillance intégrée de leur consommation d'énergie basée sur une architecture et des protocoles de mesure standardisés. Cela permettra aux opérateurs réseau de mieux identifier les parties du réseau gourmandes en énergie ou sous-utilisées et de comprendre leur comportement, afin de les optimiser et de les gérer de manière plus économe en énergie.

En outre, l'impact environnemental de la fabrication des équipements doit être évalué, y compris le transport et la fin de vie. Les fabricants d'équipements 6G devront systématiquement fournir un inventaire du cycle de vie (ICV) de l'équipement de sorte que les opérateurs

disposent de comptes fiables pour leurs impacts indirects. Les résultats de cette évaluation et de cette surveillance pourraient être partagés avec les utilisateurs finaux pour encourager des usages de la connectivité conscients de leur impact sur l'environnement.

### Consommer zéro Watt à charge nulle

La 6G doit adapter de manière dynamique la consommation d'énergie du réseau à sa charge réelle. En l'absence de données à transmettre, les sites radio doivent être en mesure de ne consommer presque aucune énergie. Ce changement a déjà été initié en 5G avec l'introduction des "modes de veille avancés", qui permettent d'éteindre l'équipement de la station de base radio pendant de longues périodes lorsqu'il n'y a pas de trafic à transférer. L'amélioration et l'extension de ce principe sont indispensables pour configurer des périodes de veille avec plus de flexibilité et de granularité.

### La modularité matérielle et logicielle comme socle pour prolonger la durée d'utilisation de l'équipement

L'augmentation de la durée d'utilisation des équipements réseau et des terminaux favorise la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, des déchets électroniques et de l'utilisation de matériaux et de ressources rares. Afin d'atteindre cet objectif, la modularité matérielle et logicielle est prometteuse pour améliorer la réparabilité de l'équipement et faciliter l'intégration de nouvelles fonctionnalités.

Côté matériel, les fabricants doivent fournir des informations sur le démontage, la disponibilité des pièces de rechange et leur distribution, comme défini dans [16]. Au-delà de la réparabilité, cela facilitera aussi le recyclage de l'équipement.

Côté logiciel, la conception du réseau doit cibler plus de modularité et aller vers une

conception basée sur des micro-services élémentaires susceptibles d'être utilisés dans un environnement cloud natif, "en tant que service" pour instancier les fonctions réseau.

Pour continuer à améliorer la modularité et l'évolutivité, un couplage lâche doit accompagner cette conception, afin de rompre les dépendances vis-à-vis d'intentions de service prédéfinies, qui risqueraient d'entraver l'évolution ou le remplacement d'un bloc fonctionnel spécifique.

### Extension et renforcement du partage des ressources

Améliorer le partage des ressources réseau et de l'infrastructure entre différents opérateurs permettra de mieux répondre à la croissance du trafic et aux besoins en capacité sans multiplier les équipements, économisant ainsi de l'énergie et des coûts de conception.



L'architecture et la conception de la 6G doivent nativement faciliter le partage entre plusieurs opérateurs et permettre à un opérateur de services de gérer la qualité du service fourni via une infrastructure partagée.

### Intégration de tous les types de réseaux d'accès pour tirer pleinement parti de leurs capacités

**La convergence fonctionnelle et l'intégration de réseaux terrestres sans fil, filaires et non terrestres (satellites, etc.) dans un réseau multi-accès unique devraient offrir une couverture abordable et une consommation d'énergie optimisée partout et à tout moment.**

Cela augmentera la résilience grâce à la diversité des interfaces radio/filaires et tirera parti des terminaux multi-interfaces se connectant au cœur de réseau. L'intégration multi-accès inclut la possibilité de déchargements automatiques et d'une connectivité transparente entre les réseaux cellulaires et les réseaux fixes, Wi-fi et fibre, en fonction des besoins en capacité et des considérations de consommation d'énergie, selon une approche "toujours mieux connectée" et "soucieuse de l'énergie".

### La 6G conçue comme un réseau fiable

**Plus que la sécurité, la confiance sera un aspect clé de la conception de la 6G. Elle doit exploiter la contextualisation, l'informatique confidentielle et des éléments sécurisés pour assurer une**

**sécurité à la demande. Des KPI de sécurité et des accords de niveau de sécurité et de confidentialité sont essentiels pour aider à qualifier et quantifier la confiance et évaluer le niveau d'assurance requis. Ces KPI doivent par exemple être la capacité à prouver l'isolation à l'intérieur d'une tranche (slice) de réseau et entre les tranches.**

Les clients doivent toujours pouvoir vérifier l'état de sécurité de leurs services de connectivité 6G. De plus, étant donné que l'IA devrait fournir un processus décisionnel plus efficace pendant le fonctionnement du réseau, elle risque d'introduire des vulnérabilités ou des préoccupations en matière de confidentialité concernant le modèle d'IA ou sa mise en œuvre. Par conséquent, il est nécessaire d'assurer une supervision appropriée par un opérateur humain et selon des règles spécifiques, ou en liant l'action de l'IA à un type "d'espace autorisé" pour répondre aux questions de sécurité, d'éthique et d'explicabilité.

### La 6G conçue comme cloud native

**La 6G devrait favoriser une transformation des réseaux conduisant à l'introduction des technologies logicielles (virtualisation en particulier). Les technologies de l'information (IT) jouent un rôle déterminant dans l'introduction de techniques d'automatisation du réseau, de la gestion des commandes de service à l'exécution et à la garantie des services.**

Il est donc indispensable que les réseaux, le cloud et les infrastructures IT interagissent pour assurer l'exécution et la gestion cohérentes des services de connectivité. Les approches basées sur le cloud permettront d'améliorer la résilience des réseaux 6G et faciliteront la fourniture de services à la demande au moyen d'interfaces de programmation d'applications (API) ouvertes.

Lors de leur introduction en 5G, la cloudification du réseau, l'informatique de périphérie (edge computing) et la désagrégation du réseau bouleverseront la façon dont nous déployons et exploitons les réseaux. La 6G s'appuiera sur ces ruptures technologiques et son développement doit tirer parti des enseignements issus de leur mise en œuvre sur le terrain à l'ère de la 5G.

### La 6G conçue autour de l'IA

**Le fonctionnement du réseau assisté par l'IA devrait permettre une automatisation complète des procédures de fourniture de services, avec une utilisation optimisée des ressources, de manière réactive. Le bon fonctionnement de l'IA requiert des architectures et des procédures spécifiques pour recueillir les données opérationnelles pertinentes en quantités suffisantes.**

L'IA devrait fournir des performances et/ou une efficacité améliorées à toutes les étapes de l'opération d'un réseau 6G, même pour le traitement du signal au niveau de la couche physique. Une communication radio efficace nécessite un traitement complexe

des signaux pour atténuer les interférences et les problèmes de propagation radio, permettant ainsi une utilisation optimale des ressources radio. L'IA et les technologies d'apprentissage automatique sont en cours d'étude dans le cadre des recherches sur la 6G afin d'améliorer davantage l'efficacité du traitement du signal de l'infrastructure réseau et des terminaux. L'IA pourrait améliorer les performances grâce à l'optimisation conjointe dans un seul traitement de tâches complexes, aujourd'hui optimisées séparément, tandis que l'efficacité de traitement du matériel spécialisé dans l'IA pourrait augmenter l'efficacité énergétique des terminaux et équipements réseaux 6G.

À terme, l'apprentissage automatique au niveau de la couche physique pourrait découvrir les caractéristiques des canaux radio et apprendre à communiquer sur ces derniers le plus efficacement possible, définissant ainsi l'interface radio (par exemple, les schémas de modulation et de codage de canal).

Toutefois, la faisabilité pratique d'une telle interface radio définie par l'IA reste pour l'heure incertaine. L'optimisation de tâches individuelles complexes, telles que l'amélioration de la formation de faisceaux en massive MIMO et la gestion de ces faisceaux, semble plus mature et est déjà à l'étude dans le cadre des évolutions de la 5G.



### Briques technologiques 6G

#### Vers davantage de spectre, nouvelles bandes de fréquences et partage du spectre

**Utiliser davantage de spectre offre la solution la plus immédiate pour augmenter la capacité des réseaux sans fil. Des efforts supplémentaires pour identifier des bandes de fréquence nouvelles ou réutilisables inférieures à 6 GHz restent une priorité afin d'améliorer le haut débit mobile de manière abordable, en particulier pour faciliter l'inclusion numérique dans les zones à faible densité. Cependant, la rareté du spectre en dessous de 6 GHz nécessite d'autres moyens pour augmenter significativement la quantité de spectre accessible.**

La réponse pourrait en partie dépendre de nouvelles allocations de spectre dans les bandes comprises entre 100 GHz et 300 GHz. L'utilisation du spectre appelé sub-téraherz (sub-THz), voire du spectre THz, a été identifiée comme l'une des principales innovations candidates pour la 6G. Le principal avantage de ces bandes réside dans la large disponibilité spectrale (jusqu'à plusieurs GHz), permettant une très grande capacité et des débits de plusieurs Gbit/s. Cependant, ce débit ne devrait être atteint que sur des portées limitées et en vue directe entre émetteur et récepteur. Ces bandes peuvent donc offrir un intérêt pour des cas d'usage précis impliquant l'échange de

grandes quantités de données dans des environnements spécifiques, par exemple, le téléchargement ultra-rapide ou la télé-présence.

Les bandes inférieures, bien adaptées à la couverture extérieure et urbaine, laissent moins d'espace à du nouveau spectre. Cependant, une certaine amélioration spectrale pourrait être obtenue en densifiant le réseau là où c'est nécessaire et grâce à des techniques plus avancées d'antennes multiples (entrées multiples, sorties multiples - MIMO) telles que le MIMO distribué [17] et la conception sans cellule [18], ou par surcharge de support [19] (par exemple, via l'accès multiple non orthogonal).

Enfin, à mesure que les ressources de spectre s'amenuisent, une autre tendance peut être envisagée, à savoir le partage de spectre pour certains cas d'usage. Les bandes spectrales qui ne sont pas optimales pour les déploiements à grande échelle dans tout le pays peuvent potentiellement être exploitées par d'autres systèmes de licence, tels que les attributions localisées. Ces systèmes, associés aux quantités importantes de bandes sans licence, pourraient également constituer une option pour certains déploiements locaux 6G, si des schémas d'accès au spectre et de partage suffisamment efficaces voient le jour.



#### Perception et imagerie radio

**L'idée générale de la perception radio est d'utiliser les ondes radio transmises pour la communication pour détecter des objets ou des mouvements dans l'environnement, d'une manière similaire à un radar. Ce type de détection est étudié avec les bandes de fréquence du Wi-fi pour le comptage de personnes, la reconnaissance de posture et même la surveillance du rythme cardiaque, depuis plusieurs années [20].**

Cependant, les bandes de fréquence plus élevées et les bandes passantes plus larges envisagées pour la 6G, ainsi que l'augmentation des capacités de traitement, permettront une amélioration considérable de la résolution de détection. Par exemple, la distance d'un objet pourrait être estimée avec une précision subcentimétrique. Parmi les exemples d'applications figurent la détection du trafic routier, la reconnaissance de gestes pour une interface homme-machine ou même l'analyse de la composition chimique de l'air ou d'objets par spectroscopie [21], mais la plupart des applications sont encore à imaginer. La perception peut être mise en œuvre côté terminal, permettant de nouveaux services "portatifs", ou côté réseau, en exploitant l'infrastructure en place pour de nouveaux services à valeur ajoutée fournis par les opérateurs de réseau.

D'autre part, les données acquises grâce à la perception radio pourraient améliorer

l'efficacité des communications en fournissant des informations contextuelles aux équipements 6G, ce qui permettra de renforcer l'optimisation de leur configuration ou de leur traitement.

#### Des systèmes photoniques plus efficaces

**Aujourd'hui, presque tout le trafic mobile est converti en flux de données optiques depuis l'antenne jusqu'au cœur de réseau. Les systèmes et dispositifs photoniques joueront donc un rôle fondamental dans l'évolution de la connectivité et des fonctions réseau vers la 6G.**

Dans la perspective de la croissance du trafic requise par les services envisagés pour les années 2030, nous pensons qu'un changement de paradigme est nécessaire pour que la consommation d'énergie et l'empreinte carbone puissent être maintenues à des niveaux durables. Orange est membre du Forum mondial "Innovative Optical and Wireless Network (IOWN)", qui vise à fournir de telles capacités avancées de faible consommation d'énergie et de bande passante ultra-large, grâce à des technologies de pointe basées sur la photonique de nouvelle génération.

Orange a identifié les orientations techniques suivantes pour les futurs réseaux optiques, particulièrement intéressantes pour les réseaux mobiles 6G.

En plus de réduire fortement la consommation d'énergie, les dispositifs photoniques

permettront de réduire la latence globale des réseaux 6G grâce à une intégration photonique plus poussée, des dérivations optiques et des fonctions de commutation optique coordonnées.

Les technologies cloud, les architectures SDN et la virtualisation des fonctions réseau doivent être prises en charge, ainsi que l'évolution du matériel optique, afin d'éviter la multiplication des équipements tout en garantissant une fiabilité élevée du réseau avec des systèmes de sauvegarde et de la redondance de liens optiques.

Les fibres multicœurs et à cœur creux pourraient constituer une avancée technologique majeure dans les années à venir. Certaines fibres à cœur creux ont récemment montré des performances susceptibles d'augmenter considérablement les taux de transfert de données par fibre [22]. Le développement de ces nouvelles fibres doit être envisagé pour les réseaux optiques à très faible latence.

### Plates-formes satellites et à haute altitude (HAP)

**Les récentes avancées en matière de conception de satellites et de techniques de lancement ont nettement réduit le coût de déploiement de constellations de satellites en orbite terrestre (très) basse, tandis que les capacités électroniques et d'antennes avancées ont permis une progression significative du débit par satellite.**

Les satellites, tout comme les plates-formes à haute altitude qui incluent divers types de dirigeables opérant dans la stratosphère, sont étudiés comme de possibles solutions économiques pour fournir une connectivité sur de vastes zones à des terminaux standards (smartphones, capteurs). Si les coûts et les performances sont confirmés, les satellites et/ou les HAP deviendraient des contributeurs

majeurs à l'inclusion numérique. En outre, grâce à leur large couverture et à leur capacité à diriger des faisceaux vers la demande de trafic, les réseaux satellites ou HAP pourraient s'avérer particulièrement utiles pour améliorer la résilience globale de la communication 6G et la continuité de service, en aidant les segments terrestres où et quand une couverture complémentaire est nécessaire.

Cependant, outre l'adaptation de l'interface radio et de l'architecture réseau qui sera traitée par le secteur des télécommunications, il ne faut pas négliger le fait que l'intégration d'une infrastructure de réseau mobile dans un satellite ou une HAP reste difficile, car il faut faire face aux contraintes spécifiques de ces environnements de déploiement (contraintes d'énergie strictes, conditions météorologiques, etc.).

En outre, la question de la coexistence des spectres reste un défi de taille. L'identification, l'étude et l'attribution traditionnelles (par exemple, par l'ITU) pour chaque système de bandes de fréquence avec certaines caractéristiques pourraient être complétées par des approches surmontant la nature limitée des ressources spectrales. Par exemple, le développement de techniques de partage de spectre flexibles qui maintiennent une isolation adéquate entre les différentes communications tout en garantissant des coûts de licence de spectre raisonnables.

Les satellites et les HAP sont déjà envisagés pour l'accès direct 5G, et même 4G, et pourront potentiellement être utilisés à des fins commerciales avant 2030. En 6G, ils seraient intégrés nativement dans la conception du système, unifiant ainsi les composantes aériennes et terrestres dans un seul système. Cela permettrait une continuité de service entre les deux types d'accès avec une granularité géographique fine, permettant par exemple au satellite de combler de petites lacunes de la couverture terrestre.

### Surfaces intelligentes reconfigurables (RIS)

**Orange étudie actuellement deux briques techniques candidates pour fournir une connectivité sans fil avec un impact environnemental réduit et une exposition aux CEM contrôlée : les surfaces intelligentes reconfigurables (Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS) et les terminaux zéro énergie.**

Une RIS est un nouveau type de nœud "passif" du réseau dans le sens où elle ne génère pas d'ondes radio supplémentaires [23]. Lorsqu'elle est éclairée par une onde radio incidente, la RIS renvoie cette onde. Selon nous, les RIS et la réflexion qu'elles induisent doivent rester sous le contrôle du réseau. Une application est particulièrement intéressante pour un opérateur de réseau, à savoir une RIS réfléchissant l'onde incidente dans la direction souhaitée, comme illustré à la Figure 3.

En contrôlant ces "miroirs" intelligents, un opérateur peut façonner la propagation sans fil pour créer des "environnements sans fil reconfigurables, intelligents et durables", comme décrit dans [24]. Nous avons ainsi démontré que de telles surfaces peuvent assister la formation de faisceaux d'une antenne pour augmenter le débit de données vers le terminal cible et simultanément réduire l'exposition aux CEM autour de l'antenne [25].

Les RIS sont des solutions candidates pour améliorer la couverture et les débits de données dans les environnements intérieurs et extérieurs sans transmettre d'ondes radio supplémentaires. En outre, les RIS ont le potentiel de réduire les coûts et la consommation d'énergie par rapport au déploiement de points d'accès radio complémentaires. Les applications potentielles des RIS, leurs méthodes de conception et les évaluations de leur coût et de leur consommation d'énergie sont encore en phase de recherche. Aujourd'hui,

les principaux défis de recherche sont les performances de réflexion des RIS, l'efficacité énergétique, le coût et le contrôle des RIS et, enfin, la coexistence entre les opérateurs de RIS.

Concernant le premier aspect, Orange a développé son premier prototype de RIS (Figure 4), remarquablement précis, car la phase de réflexion est contrôlable en continu plutôt que discrètement, contrairement à la plupart des solutions actuelles [26]. Pour les autres aspects, nous recherchons activement des solutions, et un essai sur le terrain avec des partenaires d'Orange doit être mis en place dans les mois/années à venir dans le cadre du projet européen RISE-6G (2022-2024) [27].

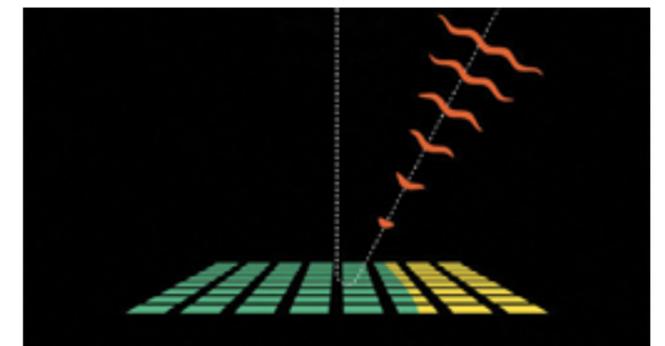


Figure 3 : Concept de réflexion intelligente

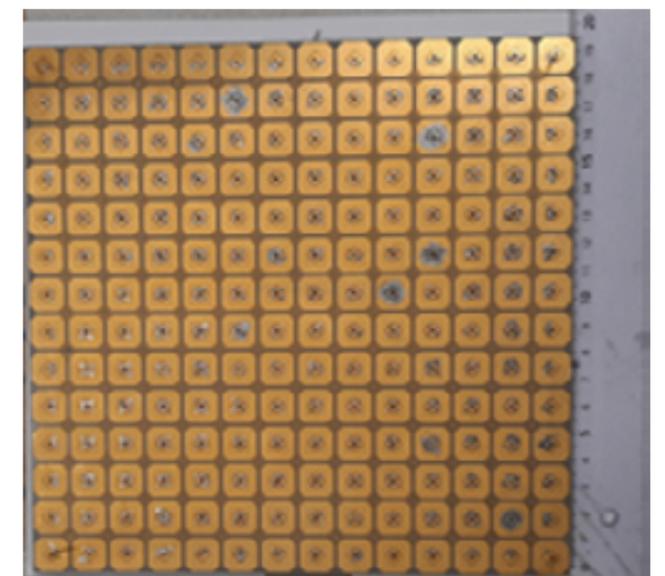


Figure 4 : Premier prototype de RIS d'Orange

“Les exigences sociétales et de performance doivent bénéficier du même niveau d’attention dans la conception du système 6G.”



### Terminaux zéro énergie

Abordons maintenant un nouveau type de terminal autonome en énergie, d’où son nom de terminal zéro énergie (Zero-Energy Device, ZED) [28]. À l’instar d’une RIS, un ZED est “passif” dans le sens où il ne génère pas d’onde radio supplémentaire. Un ZED réfléchit dans toutes les directions, ou rétrodiffuse les ondes ambiantes pour communiquer, tout en modulant légèrement le signal rétrodiffusé avec un message. Ainsi, un ZED n’a pas besoin d’un amplificateur de puissance et nécessite donc peu d’énergie pour fonctionner, si peu qu’il est capable d’utiliser des sources d’énergie renouvelables comme des panneaux solaires.

Un ZED est détectable par la foule, car il peut être détecté par tous les terminaux environnants et les stations de base du réseau d’un opérateur. Un terminal connecté au réseau, typiquement un smartphone, pourrait simultanément démoduler les signaux d’une station de base et le message d’un ZED. À l’inverse, lorsqu’un ZED est éclairé par une onde générée par un terminal, il rétrodiffuse cette onde. Une station de base connectée au terminal pourrait simultanément démoduler les signaux du terminal et le message du ZED.

Un ZED détectable par la foule est similaire à une étiquette RFID. Cependant, contrairement à une étiquette RFID, il ne requiert pas le déploiement de lecteurs RFID portables ou de portail, ni la génération de signaux de lecture RFID. Le ZED détectable par la foule doit

uniquement être proche d’un terminal connecté au réseau.

Les terminaux ZED contribueraient ainsi au développement durable de la 6G en permettant de déployer des objets connectés ne nécessitant pas de charge électrique et en économisant sur les matériaux de construction (par exemple, pas d’amplificateur de puissance, petite batterie), en particulier pour des services de l’Internet des Objets. Cependant, les applications potentielles des ZED et la conception de solutions restent pour l’heure au stade de la recherche.

Nous avons présenté un premier cas d’utilisation des ZED lors du Mobile World Congress 2021 : le concept de “suivi d’actifs à partir de rien” [29], où les signaux identifiant les ZED détectables par la foule sont suivis sans ondes, énergie ou équipement supplémentaires. Nous avons également présenté de premiers prototypes de ZED détectables par la foule. Ces prototypes rétrodiffusent des ondes TV, 4G ou 5G ambiantes pour communiquer et récoltent l’énergie solaire pour assurer leur alimentation. Orange recherche activement des solutions aux autres défis tout en préparant de futurs essais sur le terrain avec des partenaires du projet Hexa-X.

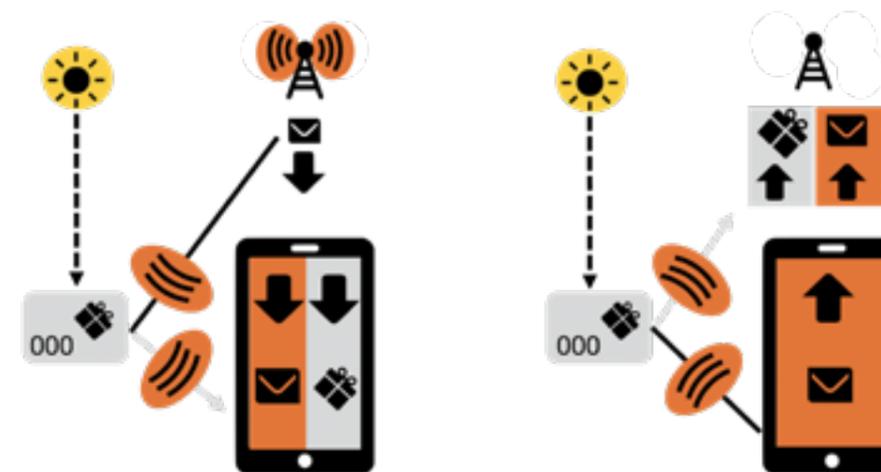
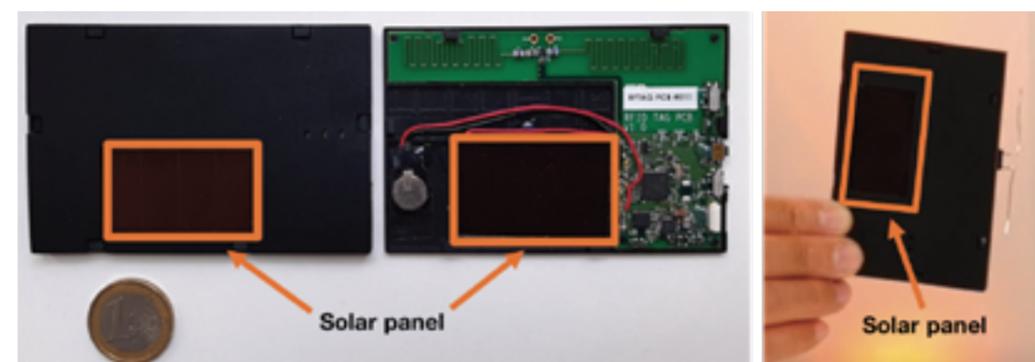


Figure 5 : Concept de terminal zéro énergie (ZED) détectable par la foule



a) Étiquettes solaires de rétrodiffusion TV et 4G      b) Étiquette solaire de rétrodiffusion 5G

Figure 6 : Les premiers prototypes de ZED détectables par la foule d’Orange



## 5. À retenir

La 6G fait actuellement l'objet d'un effort de recherche international intense, avec en ligne de mire un déploiement commercial à partir de 2030. Compte tenu de l'impact des télécommunications sur la société, le développement actuel de la 6G contribue à définir la future société numérique.

### Une 6G source de valeur pour la société

L'objectif d'Orange est de faire en sorte que la 6G apporte de la valeur à la société dans les années 2030, de manière sécurisée, résiliente et durable écologiquement et économiquement. Parmi les différentes manières d'apporter de la valeur, contribuer à la transformation de l'économie vers une réduction significative de l'empreinte carbone et de la consommation des ressources naturelles constitue un objectif majeur.

D'autres types de valeur que la 6G pourrait apporter incluent un meilleur accès à l'éducation et aux soins de santé, une industrie et une agriculture plus efficaces, des transports plus sûrs et de meilleures conditions de vie dans l'ensemble.

Orange participe activement à diverses initiatives majeures concernant la 6G, où nous partageons notre vision et contribuons à la recherche et au développement de solutions techniques, pour que cette vision devienne une réalité.

### Une 6G basée à parts égales sur des exigences sociétales et opérationnelles

La 6G, comme toute future technologie TIC, doit répondre à des exigences de performances pour faire face à l'augmentation du trafic et aux besoins de débit, de fiabilité et de latence des applications futures. Mais elle doit également répondre à des exigences sociétales, telles que la réduction de sa consommation d'énergie, l'impact global sur l'environnement, y compris

les émissions de CO<sub>2</sub>, permettre l'inclusion numérique, une sécurité et une résilience élevées, ainsi qu'une faible exposition aux CEM.

Les exigences sociétales et de performance doivent bénéficier du même niveau d'attention dans la conception du système 6G. Un effort de recherche dédié est nécessaire pour préciser ces exigences sociétales et étudier les méthodes permettant de les évaluer.

### Une 6G conçue pour la société, avec la société

Alors que la recherche avance en parallèle sur les cas d'usage, les exigences et les solutions techniques candidates, il est important que la communauté de chercheurs

en télécommunications engage un dialogue avec les futurs utilisateurs et parties prenantes, afin de les informer des nouvelles opportunités de services attendues grâce à la 6G et de recueillir leurs commentaires, leurs idées et leurs besoins.

Ce dialogue sera déterminant pour guider le développement de la technologie 6G, tout en assurant la pertinence de son offre de services pour le marché et la société.

En outre, ce dialogue est nécessaire pour que la société maximise la valeur qu'elle tirera de la 6G. Par exemple, concevoir la 6G pour aider à réduire les émissions de carbone d'un secteur vertical particulier requiert des informations de ce secteur quant à son évolution dans les années 2030 à 2040, ainsi que sur les besoins associés

en matière de services de communication. Il sera important de recueillir suffisamment de preuves initiales d'intérêt pour les services futurs et les technologies associées avant d'engager la normalisation de la 6G. Les premières discussions en normalisation sur la 6G étant attendues en 2025, il faudrait que ce dialogue sociétal démarre prochainement.

Des travaux sont nécessaires pour développer un cadre et une méthodologie appropriés afin de s'assurer que les concepteurs de la 6G collaborent convenablement et efficacement avec les représentants de la société dans son ensemble, notamment les citoyens, les industries, les services publics et les régulateurs. Nous espérons que ce livre blanc constituera une étape en ce sens.

<sup>2</sup>Ces initiatives comprennent le projet européen phare Hexa-X et trois autres projets ICT-52 financés par la Commission européenne (RISE-6G, MARSAL, DEDICAT-6G), la NGMN Alliance et l'IOWN Global Forum. Par ailleurs, Orange participe activement à la 6G-IA Association [30], qui représente l'écosystème de recherche européen dans l'entreprise commune "Réseaux et services intelligents européens" [31], le cadre européen de la recherche collaborative sur les évolutions de la 5G et la 6G pour la période 2021-2027.

**“Il est important que la communauté de chercheurs en télécommunications engage un dialogue avec les futurs utilisateurs et parties prenantes”**

# Références

- [1] Hexa-X (Horizon 2020 Project), <https://hexa-x.eu/>
- [2] Next Generation Mobile Networks Alliance (NGMN), <https://www.ngmn.org/>
- [3] Innovative Optical and Wireless Network (IOWN) Global Forum, <https://iowngf.org/>
- [4] 6G Flagship, University of Oulu, 6G flagship <https://www.oulu.fi/6gflagship/>
- [5] M. Latva-aho, K. Leppänen (eds.), “Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence,” Sept. 2019, <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526223544.pdf>
- [6] Horizon 2020 Work Program, EU, Horizon 2020 | Horizon 2020, [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020_en)
- [7] Hexa-X deliverable D1.2, “Expanded 6G vision, use cases, and societal values – including aspects of sustainability, security, and spectrum,” April 2021, [https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/05/Hexa-X\\_D1.2.pdf](https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/05/Hexa-X_D1.2.pdf)
- [8] NGMN “6G Drivers and vision”, April 2021, [https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0\\_final.pdf](https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0_final.pdf)
- [9] NGMN, “6G use cases and analysis”, Feb. 2022, <https://www.ngmn.org/highlight/ngmn-identifies-6g-use-case.html>
- [10] Orange, A vision of future networks, 1st 6G Summit, Levi, Finland, March 2019.
- [11] ITU-T, FG NET-2030 Sub-G1, “Representative use cases and key network requirements for Network 2030”.
- [12] NTT DOCOMO, “5G Evolution and 6G”, [https://www.docomo.ne.jp/english/corporate/technology/whitepaper\\_6g/](https://www.docomo.ne.jp/english/corporate/technology/whitepaper_6g/)
- [13] Samsung, “6G The Next Hyper-Connected Experience for All” <https://research.samsung.com/next-generation-communications>
- [14] G. Liu et al., “Vision, Requirement, and Architecture of 6G Mobile Network Beyond 2030”, China Communications, Sept. 2020.
- [15] Orange, “6G. Why?”, European Conference on Networks and Communications (EuCNC) 2020, June 2020.
- [16] ITU-T, Recommendation ITU-T L.1023, “Assessment method for circular scoring”.
- [17] J. Zhang, E. Björnson, M. Matthaiou, D. W. K. Ng, H. Yang and D. J. Love, “Prospective Multiple Antenna Technologies for Beyond 5G,” in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Aug. 2020.
- [18] G. Interdonato, E. Björnson, H. Q. Ngo, P. Frenger, and E. G. Larsson, “Ubiquitous cell-free massive MIMO Communications,” EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2019.
- [19] Z. Ding, L. Yuanwei, Jinho Choi, Qi Sun, M. ElKashlan, Chih-Lin I and H. V. Poor, “Application of Non-Orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks.” IEEE Communications Magazine 55, Feb. 2017.
- [20] F. Adib, et al., “Smart Homes That Monitor Breathing and Heart Rate”, CHI ‘15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, April 2015.
- [21] C. De Lima et al., “Convergent Communication, Sensing and Localization in 6G Systems: An Overview of Technologies, Opportunities and Challenges”, in IEEE Access, vol.9, 2021.
- [22] G. T. Jasion et al., “0.174 dB/km Hollow Core Double Nested Antiresonant Nodeless Fiber (DNANF)”, OFC 2022.
- [23] M. Di Renzo et al., “Smart radio environments empowered by reconfigurable AI meta-surfaces: an idea whose time has come,” EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2019.
- [24] E. Calvanese Strinati et al., “Reconfigurable, intelligent, and sustainable wireless environments for 6G smart connectivity,” IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 10, pp. 99–105, Oct. 2021.
- [25] N. Awarkeh, D. -T. Phan-Huy and R. Visoz, “Electro-Magnetic Field (EMF)-aware beamforming assisted by Reconfigurable Intelligent Surfaces,” 2021 IEEE 22nd International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2021.
- [26] R. Fara, P. Ratajczak, D.-T. Phan-Huy, A. Ourir, M. Di Renzo and J. de Rosny, “A Prototype of Reconfigurable Intelligent Surface with Continuous Control of the Reflection Phase,” to appear in IEEE Wireless Communications Magazine, 2022.
- [27] RISE-6G (Horizon 2020 Project), <https://rise-6g.eu/>
- [28] D. -T. Phan-Huy, D. Barthel, P. Ratajczak, R. Fara, M. Di Renzo and J. de Rosny, “Ambient Backscatter Communications in Mobile Networks: Crowd-Detectable Zero-Energy-Devices,” 2021 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), 2021.
- [29] <https://www.orange.com/en/newsroom/press-releases/2021/mwc-2021-orange-showcases-latest-innovations-networks-cyber-security>
- [30] 6G Smart Networks and Services Industry Association (6G-IA), <https://6g-ia.eu/>
- [31] Smart Networks and Services Joint Undertaking, EU, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/smart-networks-and-services-joint-undertaking>



Contact : [contact.6Gresearch@orange.com](mailto:contact.6Gresearch@orange.com)  
La vision d'Orange pour la 6G - Livre Blanc  
Mars 2022