



# Pour une conception sociétale et guidée par la valeur des futurs systèmes de télécommunications

**Eric Hardouin**

Orange - Directeur du domaine de recherche Connectivité Ambiante

**Les systèmes mobiles de 5<sup>e</sup> génération étant encore en cours de déploiement, l'industrie des télécommunications démarre la définition de la 6<sup>e</sup> génération. Si l'horizon de déploiement commercial de la 6G, 2030, paraît lointain, c'est pourtant dans les quelques années à venir que se dessineront les grandes orientations techniques qui sous-tendront la 6G. Nous sommes donc au bon moment pour nous interroger : quelle 6G voulons nous ?**

## Introduction

Le premier 6G Summit [1], qui s'est tenu à Levi en Finlande en avril 2019, peut être considéré comme l'évènement fondateur du lancement de la recherche internationale sur la 6G. Depuis, cette dernière s'est considérablement accélérée, notamment via le lancement de grands programmes collaboratifs en Chine, au Japon, en Corée, en Amérique du Nord et bien sûr en Europe, dont le fer de lance est le projet Hexa-X [2]. En parallèle, l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) a lancé un processus visant à définir des

standards globaux pour l'horizon 2030, comme l'UIT-2020 l'avait fait au cours de la décennie 2010-2020 pour la 5G. Le calendrier actuel de l'UIT prévoit ainsi de définir le cahier des charges de la 6G aux alentours de 2025. De manière notable, l'alliance NGMN <sup>1</sup>, qui a joué un rôle influent dans la définition des exigences de la 4G et de la 5G, a, elle aussi, lancé un projet sur la 6G, qui a conduit à la publication de deux livres blancs : l'un en 2021 sur la vision et les motivations de la 6G [3],

l'autre en 2022 sur des cas d'usage prospectifs de la 6G [4]. Le NGMN a récemment démarré le travail sur la définition des exigences de la 6G, dont les résultats sont attendus en mars 2023.

Le calendrier de la normalisation de la 6G, en particulier par le 3GPP <sup>2</sup>, l'organisation centrale de développement des standards de communication mobile, n'est pas encore défini. Néanmoins, il est probable que les discussions démarrent aux alen-

<sup>1</sup> NGMN : Next Generation Mobile Network

<sup>2</sup> 3GPP : 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project

tours de 2025, pour des spécifications qui seraient publiées en 2028. Si la normalisation figera les standards et les options techniques associées dans les détails nécessaires à une interopérabilité entre équipements, elle se nourrira pour cela des résultats des travaux de recherche actuellement en cours et à venir. Ceux-ci détermineront à la fois les grandes directions techniques prometteuses, leurs domaines d'emploi, les niveaux de performance atteignables associés, et les nouveaux usages que ces dernières permettront.

Le travail de recherche en cours est donc fondamental pour établir les bases de ce que pourrait être la 6G. Les efforts de recherche se concentrent actuellement sur les briques techniques de base, les cas d'usage, et nous sommes au tout début des réflexions sur le cahier des charges. Parmi les briques de base en rupture, la recherche progresse par exemple sur les surfaces intelligentes reconfigurables (voir encadré 1), les terminaux zéro énergie (voir encadré 2), l'usage du spectre TerraHertz (100 GHz - 3 THz), la perception et les communications conjointes par le réseau, l'accès direct par satellite et les plateformes de haute altitude (HAPs), ou encore l'usage de l'intelligence artificielle pour optimiser toutes les composantes des réseaux, y compris la couche physique [12]. A partir de 2023, devraient démarrer des réflexions sur le système 6G, c'est-à-dire la combinaison de différentes techniques dans une architecture complète visant à atteindre des niveaux de performance cibles. Au cours de cette phase seront aussi raffinées la définition et l'évaluation des briques techniques, les cas d'usage et le cahier des charges. Cette période de recherche au niveau système sera donc le moment où les grandes orientations de ce que sera la 6G se dessineront.

### Quelle 6G voulons nous ?

L'horizon d'exploitation des réseaux 6G vise la décennie 2030-2040. Chez Orange, nous souhaitons que la 6G soit conçue comme un outil pour répondre

**“ S’il est évidemment difficile de prédire le futur, beaucoup de ses enjeux sont clairs, car ce sont déjà des enjeux d’aujourd’hui. Au premier rang de ces derniers, on trouve la lutte contre le réchauffement climatique. ”**

aux enjeux de la société des années 2030. S'il est évidemment difficile de prédire le futur, beaucoup de ses enjeux sont clairs, car ce sont déjà des enjeux d'aujourd'hui. Au premier rang de ces derniers, on trouve la lutte contre le réchauffement climatique. L'un des objectifs de la conception de la 6G doit donc être d'aider la société du futur à réduire ses émissions de CO<sub>2</sub>. Ceci implique d'une part que la conception de la 6G minimise les émissions de CO<sub>2</sub> générées par les équipements réseaux et terminaux tout au long de leur cycle de vie, mais aussi de travailler dès maintenant à identifier des services de connectivité qui permettraient à différents secteurs de minimiser leur empreinte carbone, et les exigences techniques associées. La réduction des émissions de CO<sub>2</sub> implique naturellement une réduction de la consommation énergétique dans les réseaux.

Une autre bonne raison de réduire la consommation d'énergie est son coût. Pour minimiser les émissions de CO<sub>2</sub> comme les coûts d'exploitation des réseaux, toute croissance de la capacité ou des débits doit donc obligatoirement s'accompagner d'une augmentation au moins égale de l'efficacité énergétique. En d'autres termes, si la 6G augmente la capacité d'un site radio par un facteur 100, elle doit dans le même temps réduire d'un facteur 100 l'énergie nécessaire à la transmission d'un bit. En effet, il n'est pas envisageable pour un opérateur d'accroître sa consommation énergétique (hors extension de couverture), ce qui pourrait conduire à l'avenir à empêcher le déploiement de technologies trop gourmandes en énergie. Les autres

défis auxquels sera confrontée la société de 2030 incluent le besoin d'industries et d'une agriculture plus efficaces, de soins médicaux de qualité accessibles à coût abordable, y compris dans les déserts médicaux, le maintien à domicile des seniors, l'éducation pour tous, des transports plus sûrs, la démocratisation de l'accès à l'art et la culture, et bien d'autres comme définis dans les objectifs de développement durable des Nations Unies [5].

### Tirer les enseignements de la 5G

La conception de la 6G doit évidemment aussi tirer parti du retour d'expérience des technologies précédentes. Si la 5G n'en est qu'au début de son déploiement, de premières observations peuvent déjà être faites.

### La co-construction avec les futurs utilisateurs est clé

La 5G a été pensée dès le début pour répondre aux besoins d'acteurs industriels, élargissant ainsi le mouvement démarré au cours des évolutions de la 4G avec l'introduction de fonctionnalités spécialisées pour des services radio-mobiles professionnels (PMR <sup>3</sup>). Les besoins de ces acteurs étant spécifiques aux secteurs visés et très différents des besoins du grand public, un dialogue a été établi entre les acteurs de l'écosystème télécom et des représentants de différents secteurs, notamment l'industrie manufacturière, les transports, la santé, ou les ports. ●●●

<sup>3</sup> Professional Mobile Radio

●●● Ce dialogue, qui se poursuit toujours aujourd'hui, est profitable pour toutes les parties afin de définir des spécifications techniques répondant aux besoins de services sectoriels, mener des expérimentations et réfléchir ensemble à des modèles d'affaires pertinents.

Ce dialogue doit se poursuivre pour les évolutions futures de la 5G, et intégrer la 6G. L'avantage pour la 6G est que plusieurs canaux de collaboration privilégiés sont maintenant en place, tels que les associations 5G-ACIA avec l'industrie ou 5G-AA avec le secteur automobile, ou encore la participation bien établie d'acteurs de différents secteurs dans les projets collaboratifs nationaux ou européens. Ces secteurs pourront ainsi influencer plus en amont sur la définition de la 6G, pour un bénéfice mutuel accru car la technologie en sera plus adaptée et donc plus prompte à être adoptée. Cette coopération avec les futurs utilisateurs industriels doit donc se poursuivre et s'étendre vers d'autres secteurs pour lesquels les liens ne sont pas encore bien structurés. La diversité d'industries concernées demande sans doute à la fois des initiatives individuelles, telles que celles menées par Orange avec des partenaires, comme des initiatives structurées au sein d'associations sectorielles.

### **Ce dialogue doit aussi être mené avec les citoyens**

On a vu à l'occasion du déploiement de la 5G se développer une distance, voire une méfiance et dans certains cas une opposition d'une partie de la population vis-à-vis de la technologie. Cette situation peut s'expliquer par plusieurs facteurs : on peut citer entre autres une prise de conscience accrue de l'impact environnemental des réseaux et du numérique, et la crainte que la 5G augmente cet impact (nous invitons le lecteur à se rapporter à la référence [6] pour un éclairage sur cette question), un manque de communication vers le grand public sur la technologie de la part des acteurs « sachant », ayant laissé le champ libre à la circulation de contre-vérités (« avec la 5G on va déployer

beaucoup plus d'antennes que la 4G »<sup>4</sup>), ou à l'émergence de théories complotistes (par exemple imaginant un lien entre la 5G et la COVID-19). Certains expriment aussi le sentiment de se voir imposer des évolutions technologiques pour lesquelles ils n'ont pas leur mot à dire. Le rapport final de la Convention citoyenne sur le déploiement du réseau 5G à Rennes [7] dresse un panorama instructif de la perception de citoyens informés vis-à-vis de la 5G.

Chez Orange, nous pensons donc qu'il est nécessaire d'associer les citoyens à la conception de la 6G, de la phase de recherche jusqu'aux déploiements commerciaux. Ce lien à construire permettra de collecter des besoins et idées de futurs services souhaités, informer sur cette nouvelle technologie en construction tout au long de sa conception (ce qu'elle pourrait faire et à quelle échéance, ce qu'elle ne ferait pas, comment elle fonctionnerait, quelles seraient ses implications par exemple sur l'environnement), et recevoir des retours des futurs usagers sur ces développements. Ce faisant, nous augmenterons la confiance de toutes les parties prenantes sur la valeur et la pertinence de la technologie vis-à-vis des attentes des citoyens. Nous augmenterons aussi la confiance dans sa soutenabilité économique vis-à-vis des investissements à engager pour la déployer sur le réseau. Enfin, nous assurerons une information publique juste et scientifiquement fondée sur la technologie. La manière de créer ce

---

4 Cette idée trouve sa source dans le fait que la 5G utilisera des bandes plus hautes que la 4G, pour lesquelles la propagation est moins bonne ; pour assurer la même couverture qu'en 4G, il paraît donc logique qu'un nombre supérieur de sites radio serait nécessaire. En réalité, pour la bande 3,5 GHz, qui est aujourd'hui la bande principale de la 5G, une ingénierie radio adaptée combinant *beamforming* en voie descendante et repli sur des bandes plus basses en voie montante permet de déployer la 5G sur les sites radio de la 4G, tout en conservant la même couverture. En ce qui concerne la bande 26 GHz, pour laquelle les fréquences ne sont pas encore attribuées en France, une couverture nationale n'est pas envisagée car la capacité qu'elle apportera n'est pas nécessaire partout, alors qu'un tel déploiement coûterait très cher. Cette bande sera donc réservée à la couverture de zones spécifiques qui nécessitent une forte capacité, comme des gares, des aéroports, des emprises industrielles, ou des rues très fréquentées.

dialogue avec les citoyens demande encore à être précisée, mais deux principes se dégagent déjà :

- il devra inclure des citoyens (par exemple tirés au sort), et des représentants des citoyens (par exemple des élus, et/ou des institutions publiques comme les régulateurs) ;
- les attentes pouvant être très différentes en fonction des régions du monde, des pays, et des territoires au sein d'un pays, différentes initiatives seront nécessaires, à différentes échelles : locale, nationale, internationale.

Une source d'inspiration et d'enseignements sur la manière d'organiser un tel dialogue peut être trouvée dans les consultations citoyennes qui ont été menées par différentes municipalités au moment du déploiement de la 5G (comme celle de Rennes [7], déjà citée). Etant donné le calendrier de définition de la 6G, nous pensons que pour jouer pleinement son rôle d'influence, le dialogue avec les citoyens devrait démarrer au plus tard en 2023. Nous avons donc quelques mois pour préparer les modalités de ce dialogue avec les différentes parties prenantes.

### **Nous aurons encore beaucoup à apprendre de la 5G dans les années à venir**

En effet, la 5G est encore une "jeune" technologie, qui connaîtra des évolutions majeures dans les années à venir. On peut citer tout d'abord l'introduction de la 5G « *Standalone Architecture* » ou 5G SA, qui s'appuiera sur le cœur de réseau 5G. Ce dernier introduira les fonctionnalités de « *network slicing* », de très faible latence et de facilitation de la mise en œuvre du « *edge computing* », chacune de ces fonctionnalités constituant une rupture en soi. Mais la rupture principale viendra de la généralisation de la virtualisation / cloudification des réseaux, qui accompagnera le déploiement du cœur de réseau 5G. Cette révolution changera profondément la manière dont les réseaux sont déployés et exploités, demandant une évolution majeure des compétences des exploitants.

Les années qui viennent verront également le déploiement progressif de solutions de réseaux dites « désagrégées », qui permettront l'intégration de solutions élémentaires venant de fournisseurs différents (par exemple une unité radio (RU) d'un vendeur A, qui inclut la partie basse de la couche physique, avec une unité distribuée (DU) d'un vendeur B, qui inclut la partie haute de la couche physique) grâce à des interfaces ouvertes telles que définies par l'alliance O-RAN [8]. A ces ruptures techniques et d'écosystème s'ajouteront l'émergence de nouveaux services, comme les services de communication ultra fiable et/ou basse latence (URLLC) et de nouveaux modèles d'affaires avec les réseaux « non publics », où un acteur privé pourra combiner des éléments du réseau public avec des éléments de son propre réseau privé pour créer un service de connectivité 5G de bout-en-bout. Leur adoption comme leurs coût et complexité de fourniture par les opérateurs seront sources d'enseignements. Les retours d'expérience de la mise en œuvre sur le terrain de ces ruptures seront précieux pour la conception de la 6G, qui les intégrera nativement. Aussi est-il nécessaire d'attendre d'avoir un recul suffisant sur l'exploitation des réseaux 5G avant de se lancer dans la normalisation de la 6G. Une normalisation qui démarrerait en 2025/2026 serait compatible avec ce besoin.

### Quels futurs services grâce à la 6G ?

La réflexion sur les services qui seront rendus possibles par la 6G en est encore à ses débuts. L'écosystème télécom a déjà identifié un certain nombre de cas d'usages, qui permettront d'exploiter les performances plus élevées ou les nouvelles capacités attendues de la 6G [4].

Chez Orange, nous pensons que la 6G doit permettre des services qui apportent de la valeur à la société et des moyens pour traiter les futurs enjeux sociétaux et environnementaux auxquels nous devons faire face dans les années 2030. De ce point de vue, des services contribuant à la transformation de l'économie vers une empreinte carbone

#### Encadré 1

### Surfaces intelligentes reconfigurables

Les surfaces intelligentes reconfigurables (ou RIS, pour Reconfigurable Intelligent Surfaces) se comportent comme des miroirs pour les ondes électromagnétiques, dont les propriétés de réflexion peuvent être contrôlées par l'opérateur [13]. Bien utilisées, ces RIS ont le potentiel de façonner la propagation des ondes, en intérieur comme en extérieur, et par là d'améliorer la couverture, les débits et la capacité des réseaux. Comme ces RIS sont des éléments passifs, elles n'émettent pas de nouvelles ondes, et donc contribuent peu aux EMF. De plus, elles consomment peu d'énergie, et ne requièrent pas d'amplificateur de puissance, réduisant ainsi les matières premières nécessaires pour les construire. Les performances des RIS, leur domaine d'emploi et leur consommation énergétique sont toujours des sujets de recherche. Orange a développé un prototype de RIS afin d'expérimenter cette technologie (figure 1).

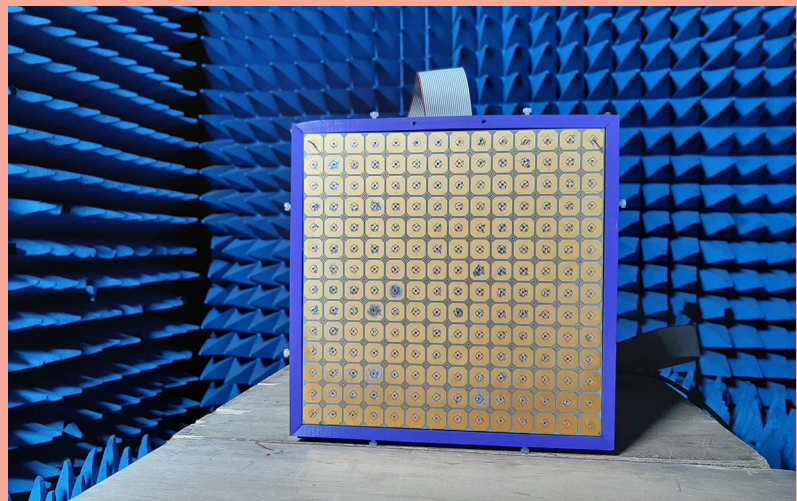


Figure 1 | Prototype de surface intelligente reconfigurable - Source : Orange.

et une consommation de ressources naturelles significativement réduites doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Parmi les cas d'usages déjà identifiés pour la 6G, les suivants sont particulièrement prometteurs du point de vue de la décarbonation ou d'autres sources de valeur sociétale :

- *Les expériences immersives* : de la vidéo à très haute définition (8K, 12K, 24K) et/ou volumétrique, combinée à de la réalité augmentée, virtuelle ou mixte, et complétée par la transmission d'autres sens comme le toucher. De tels services pourraient réduire les besoins de transport physique générateurs de CO<sub>2</sub>, et réduire les inégalités en termes d'accès à la formation, à la culture, ou aux soins médicaux ;

- *Les jumeaux numériques* : des représentations numériques détaillées et synchronisées en temps réel d'objets ou de systèmes complexes, comme des villes ou un ensemble de machines, afin par exemple d'optimiser des processus et réduire ainsi la consommation énergétique ou de matières premières ;

- *Les robots et systèmes autonomes* : pour rendre les robots plus efficaces et/ou capables d'interagir en toute sécurité avec des humains, dans l'industrie ou à la maison, par exemple pour aider au maintien à domicile des séniors.

Néanmoins, les cas d'usages déjà identifiés doivent faire l'objet d'une analyse plus poussée avant de devenir des services réels à l'ère de la 6G. En plus de leur faisabilité ●●●

**“ Nous pensons que les performances d’une future technologie de communication ne sont plus suffisantes pour motiver sa normalisation. Le facteur déclenchant de la normalisation doit être la valeur que la technologie apportera, à ses utilisateurs et à la société. ”**

●●● technique qui doit être confirmée, leur attrait pour les futurs utilisateurs, et donc leur pertinence vis-à-vis du marché, doit être évaluée, tout comme leur soutenabilité économique et environnementale. En effet, si l’un de ces critères n’était pas satisfait, ces services et les techniques sous-jacentes ne seraient pas déployés commercialement, ou ne seraient pas utilisés une fois déployés, ces deux éventualités constituant un gâchis de ressources. Il est bien entendu difficile d’estimer a priori ces différents aspects, et la manière d’y parvenir reste à définir. En ce qui concerne les aspects économiques et environnementaux, certaines indications peuvent être obtenues, comme par exemple la densité de sites radio nécessaire pour assurer un service donné.

Afin de maximiser la valeur apportée par la 6G, la co-conception avec ses futurs utilis-

teurs représente la voie à suivre. Ceci est vrai dans tous les domaines d’usages, et particulièrement pour l’objectif de faire de la 6G un outil pour minimiser les émissions de CO<sub>2</sub> à l’avenir. En effet, si l’on prend l’exemple de la production d’énergie, qui mieux qu’un énergéticien peut connaître l’évolution technologique de ce secteur dans la décennie 2030-2040, les contraintes auxquelles il devra faire face, et les besoins de connectivité et/ou de calcul associés ? Et le même principe vaut pour les transports, l’industrie manufacturière, la santé, etc. L’écosystème télécom doit donc renforcer ses collaborations avec les acteurs de ces différents secteurs en vue de construire ensemble la technologie qui répondra au mieux aux besoins de tous. Cela peut passer par exemple par des projets collaboratifs, nationaux ou européens, par des collaborations bilatérales, par des

échanges entre instances représentatives des différents secteurs, ou par la participation d’acteurs sectoriels à la normalisation de la 6G. Là encore, le plus tôt cette collaboration s’engagera, plus elle aura d’impact sur la conception de la 6G.

## Quelles exigences techniques pour la 6G ?

### Des exigences de performances guidées par la valeur

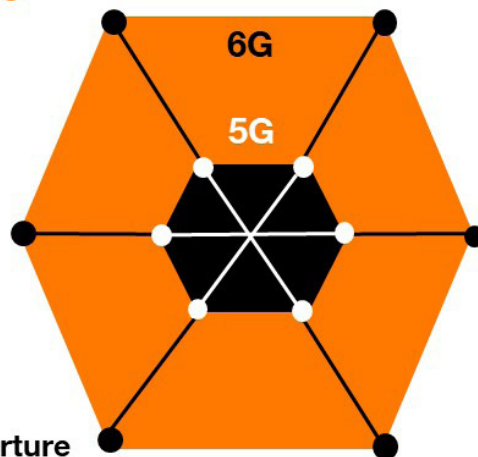
Les réflexions sur les exigences techniques de la 6G ont démarré, mais sont encore très préliminaires. En termes de performances, des améliorations des débits, de la capacité, de la latence ou de la densité d’objets connectés par des facteurs 10 ou 100 par rapport à la 5G sont avancés, voir par exemple [9, 10].

Nous pensons que les performances d’une future technologie de communication ne sont plus suffisantes pour motiver sa normalisation. Le facteur déclenchant de la normalisation doit être la valeur que la technologie apportera, à ses utilisateurs et à la société. Ainsi, nous pensons que les performances cibles de la 6G ne devront pas être définies uniquement sur la base de ce que la tech-

**Efficacité énergétique**  
Supérieure ou égale au gain de capacité

**Economie de l’exposition**  
Plus élevée

**Inclusion numérique (coût abordable, couverture des zones à faible densité)**  
Plus élevée



**Impact sur l’environnement de bout-en-bout**  
Minimal

**Sécurité**  
Plus élevée

**Résilience**  
Beaucoup plus élevée

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

nique permettra, mais plutôt sur la base de la valeur que ces performances permettront, via les nouveaux services qu'elles autoriseront. En d'autres termes, et pour prendre un exemple extrême, il sera nécessaire de savoir quels services des débits de 1 Térabit/s permettront, et à quel coût (d'investissement, énergétique, environnemental) ils seraient fournis, pour normaliser une technologie qui les permettrait, au-delà de leur pure faisabilité technique.

Certes, l'histoire du développement des télécommunications mobiles est pleine de contre-exemples à cette idée, où la mise à disposition de performances accrues a stimulé l'innovation de la part de développeurs d'applications ou de terminaux innovants, conduisant aux applications que nous utilisons quotidiennement aujourd'hui et dont les concepteurs de la 3G n'avaient pas forcément idée. Il n'est pas question ici de brider les possibilités d'innovation future, mais bien de guider le développement d'une technologie qui prenne en compte des exigences de retour sur investissement, à la fois *économique* (il faut que les investissements nécessaires à la R&D puis au déploiement des réseaux soient compensés par des revenus suffisants pour les différents acteurs de la chaîne de valeur) et *environnemental* (les économies de carbone obtenues grâce aux futurs réseaux doivent dépasser les émissions qui seront générées par la fabrication, l'usage et la fin de vie des équipements et terminaux associés). Une fois une confiance raisonnable acquise dans la valeur apportée par des services qui demandent des performances supérieures à celles de la 5G, pour leurs usagers et pour l'écosystème qui les fournira, nous pourrions en confiance définir les performances nécessaires comme exigences de conception. Lorsque la technologie sera définie et déployée, d'autres services innovants pourront être imaginés pour tirer parti de ces performances accrues.

Ce changement de paradigme demande de développer des méthodes transparentes et communes d'évaluation de la valeur, par exemple pour estimer la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> qui serait permise par tel ou tel service. Afin de permettre la re-

production des résultats et donc l'établissement d'un consensus autour des gains apportés par la 6G, les méthodes proposées devront être décrites précisément dans des publications à comité de lecture.

### Des exigences sociétales

Par ailleurs, nous pensons que la technologie se doit de satisfaire des exigences qui ne sont pas purement liées à la performance. Orange a ainsi proposé depuis quelques années de définir des exigences « sociétales » [11], en plus des traditionnelles exigences de performance. Ces exigences sociétales incluent l'efficacité énergétique, la réduction de l'empreinte environnementale (incluant aussi les émissions de CO<sub>2</sub> générées par la fabrication des équipements), la résilience, la sécurité, l'inclusion numérique et l'économie de l'exposition aux champs électromagnétiques (EMF), telles que résumées dans la figure 2. Pour une description plus détaillée de ces exigences, nous invitons le lecteur à se reporter à la référence [12].

Ces exigences sociétales doivent être considérées avec le même niveau d'attention que les exigences de performance. Ainsi, les solutions techniques candidates à la normalisation pour la 6G devront conduire à un système à la fois offrant des performances accrues, mais aussi satisfaisant ces exigences sociétales. Un travail de recherche est nécessaire pour définir des indicateurs pertinents pour ces dernières ainsi que des outils pour les évaluer. Et bien sûr, la satisfaction de ces exigences demande de développer des solutions techniques repoussant les limites de la technologie dans ces directions.

Ce travail sur des solutions satisfaisant ces exigences sociétales a déjà commencé depuis quelques années. On peut citer deux exemples de solutions innovantes qui s'attachent à la fois à augmenter les performances des réseaux, et à réduire leur empreinte environnementale ainsi que l'exposition aux champs électromagnétiques : *les surfaces intelligentes reconfigurables* (voir l'encadré 1) et *les terminaux zéro énergie* (voir l'encadré 2).

#### Encadré 2

## Terminaux zéro énergie

Les terminaux zéro énergie, ou *Zero-Energy Devices* (ZED), sont appelés ainsi car ils nécessitent très peu d'énergie pour fonctionner [14]. Si peu qu'ils peuvent être alimentés par des sources d'énergie renouvelables comme des panneaux solaires. Si la quantité de données à transmettre est très faible, ce qui est adapté à certains usages de l'IoT, la durée de vie de batterie de ces terminaux peut être très longue, potentiellement infinie. Les ZED fonctionnent sur le principe de la rétrodiffusion : comme les RIS, ils n'émettent pas de nouvelles ondes, mais modulent des ondes déjà présentes dans l'environnement, par exemple celles émises par les stations de base des réseaux mobiles. Dans le cas où l'émetteur est une station de base, le signal ainsi modulé doit être démodulé par un autre terminal situé à proximité, typiquement un smartphone. En fonction des usages, la démodulation s'appuie ainsi sur une détection « par la foule », qui demande le passage à proximité d'un autre terminal collaboratif, qui démodule le signal puis transfère l'information reçue vers une plateforme de service par sa connexion cellulaire. Un autre usage, qui est celui que nous étudions particulièrement chez Orange, est celui d'une étiquette intelligente, qui serait par exemple apposée sur des colis afin de faciliter leur suivi. Dans un entrepôt, un opérateur équipé de son smartphone pourrait ainsi contrôler la présence et la position des colis. Ce cas d'usage est similaire à celui du NFC, si ce n'est qu'il ne nécessite pas le déploiement de lecteur RFID portable ou de portail, ni la génération de signaux de lecture RFID. La figure 3 montre le prototype de ZED développé par Orange qui fonctionne sur la base d'un capteur solaire intégré.

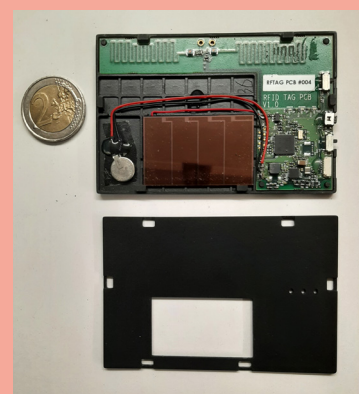


Figure 3 : Prototype de terminal zéro énergie- Source : Orange.

**“ La phase de recherche préliminaire à la normalisation doit être résolument orientée vers l'objectif de concevoir une technologie source de valeur pour la société, et qui soit sécurisée, résiliente et durable sur les plans environnemental et économique. ”**

### ●●● Des exigences opérationnelles

La 6G devra aussi satisfaire des exigences opérationnelles, qui concernent tout particulièrement le métier d'opérateur. Ces dernières incluent :

- l'automatisation des procédures de fourniture de services, afin par exemple d'optimiser le délai de livraison d'un service, de détecter et corriger automatiquement des problèmes, et d'améliorer le fonctionnement global du réseau ;
- la capacité pour les opérateurs d'ajuster les compromis entre différents objectifs d'optimisation du réseau, par exemple entre les besoins de capacité et de consommation énergétique, qui évoluent en fonction de la journée et des zones géographiques ;
- la flexibilité de la technologie pour évoluer afin de satisfaire de nouveaux besoins qui émergeraient dans le futur ;
- l'application dynamique des mises à niveau logicielles, pour faciliter l'intégration de nouvelles fonctionnalités sans perturber les services de connectivité.

A noter que les exigences sociétales d'efficacité énergétique, de sécurité, de résilience, d'économie de l'exposition aux ondes peuvent aussi être vues comme des exigences opérationnelles.

Ici à nouveau, la référence [12] fournira plus de détails au lecteur sur ces exigences opérationnelles.

### En synthèse

Si l'horizon de déploiement de la 6G, 2030, paraît lointain, les fondations de ce futur système seront vraisemblablement définies dans les trois prochaines années.

L'expérience de la 5G et les perspectives d'évolution du monde dans les années 2030, notamment vis-à-vis de l'enjeu majeur du changement climatique, appellent à concevoir différemment les futurs systèmes de télécommunication.

La phase de recherche préliminaire à la normalisation doit être résolument orientée vers l'objectif de concevoir une technologie source de valeur pour la société, et qui soit sécurisée, résiliente et durable sur les plans environnemental et économique. Par ailleurs, la 6G doit satisfaire à la fois des exigences de performance et des exigences sociétales. Ces dernières incluent la réduction de la consommation énergétique, la réduction de l'empreinte environnementale, la résilience, la sécurité, l'inclusion numérique et l'économie de l'exposition aux EMF. Enfin, la 6G doit se construire avec les différentes parties prenantes de la société pour maximiser la valeur qu'elle apportera à ses futurs utilisateurs, assurer sa pertinence économique, et communiquer la bonne information à tous sur les usages qu'elle permettra et selon quel calendrier.

Afin de réaliser cette vision, nous identifions les besoins de recherche suivants, et invitons la communauté de recherche à s'y pencher :

- Développement d'indicateurs de valeur et de méthodes communes d'évaluation de

### L'auteur

**Eric Hardouin** dirige le domaine de recherche "Connectivité Ambiante" d'Orange, en charge des études sur les réseaux d'accès et



de transport du futur et les modèles d'affaires associés. Eric a reçu le diplôme de doctorat en traitement du signal et télécommunications de Télécom Bretagne et de l'Université de Rennes 1 en 2004. Il a alors rejoint Orange, où il a mené des recherches sur la réduction d'interférence pour les réseaux mobiles. Entre 2008 et 2013, il a représenté Orange dans le groupe du 3GPP en charge de la normalisation de la couche physique du HSPA, du LTE et du LTE-Advanced (RAN WG1). De 2012 à 2015, Eric a dirigé la recherche d'Orange sur les réseaux sans fil. Il a co-dirigé le travail du NGMN sur les exigences de la 5G, publié dans le livre blanc du NGMN sur la 5G de 2014. Eric est co-auteur du livre "LTE et les réseaux 4G" (Eyrolles).

la valeur potentielle apportée par de futurs services numériques ;

- Définition d'indicateurs pour les exigences sociétales et de méthodes pour les évaluer ;
- Développement de techniques permettant d'améliorer les performances des réseaux tout en satisfaisant aux exigences sociétales ;
- Définition d'un cadre pour mettre en place et assurer dans la durée un dialogue entre l'écosystème télécom et des représentants de la société dans son ensemble, incluant citoyens, industries, acteurs publics et régulateurs.

Cette vision s'applique à la 6G, mais aussi aux technologies de réseaux du futur en général. ■

## Résumé

Alors que le déploiement de la 5G est en cours et que la recherche sur les briques technologiques bat son plein, l'écosystème télécom commence à travailler à la définition du cahier des charges de la 6G. L'expérience de la 5G et les perspectives d'évolution du monde dans les années 2030, notamment vis-à-vis de l'enjeu majeur du changement climatique, appellent à concevoir différemment les futurs systèmes de télécommunication. Nous pensons que les performances d'une future technologie ne sont plus suffisantes pour motiver sa normalisation. Le facteur déclenchant de la normalisation d'une future technologie doit être la valeur qu'elle apportera, à ses utilisateurs et à la société. Par ailleurs, la technologie se doit de satisfaire des exigences sociétales, en plus des traditionnelles exigences de performances. Ces exigences sociétales incluent la réduction de la consommation énergétique, la réduction de l'empreinte environnementale (incluant aussi les émissions de CO<sub>2</sub> générées par la fabrication des équipements), la résilience, la sécurité, l'inclusion numérique et l'économie de l'exposition aux champs électromagnétiques. Enfin, l'expérience de la 5G a montré les bénéfices d'une co-construction de la technologie avec ses futurs usagers, mais aussi les travers d'une information insuffisante du public sur la technologie. Un dialogue doit donc s'engager dès la conception des systèmes entre les acteurs technologiques et les différentes parties prenantes de la société, incluant futurs usagers, industriels comme grand public, mais aussi les acteurs publics et les régulateurs. L'article développe cette vision ainsi que les nouvelles questions de recherche qu'elle génère. ■

## Abstract

As 5G is currently being deployed and the research on 6G is vibrant, the telecom ecosystem has started to work on the definition of the requirements for 6G. The feedback from 5G and the world evolution perspectives in the years 2030, especially regarding the major stake of climate change, call for a change in the way we design future telecommunication systems. We think that the performance of a future technology is no longer sufficient alone to motivate its standardization. The trigger for specifying a future technology must be the value it will bring to its future users and society. Moreover, we think that technology has to satisfy societal requirements, in addition to traditional performance requirements. These societal requirements include the reduction of energy consumption, the reduction of its environmental footprint (including the CO<sub>2</sub> emissions generated by the life cycle of network equipment and terminals), resilience, security, digital inclusion and the awareness of the electromagnetic fields it generates. At last, the 5G experience has shown the benefits of co-designing the technology with its future users, but also the consequences of an insufficient information of the public about the technology. The telecom ecosystem therefore has to engage a dialogue with the society at large from the start of the system design, including citizens, industries, public services and regulators. The paper develops this vision and the research questions it raises. ■

## Références

- [1] 1<sup>er</sup> 6G Summit, Levi, Finland, March 2019, <http://www.6gsummit.com/6g-summit-2019-archive/>
- [2] Hexa-X (projet Horizon 2020), <https://hexa-x.eu/>
- [3] NGMN "6G Drivers and vision", avril 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)
- [4] NGMN, "6G use cases and analysis", février 2022, <https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/220222-NGMN-6G-Use-Cases-and-Analysis-1.pdf>
- [5] Objectifs de Développement Durables des Nations Unies, <https://sdgs.un.org/goals>
- [6] Livre blanc « 5G et Environnement », Comité Stratégique de Filière Infrastructures Numériques, mars 2022, <https://www.fttelecoms.org/communiques-et-dossiers-de-presse/la-filiere-infrastructures-numeriques-publie-le-nouveau-livre-blanc-5g-et-environnement/>
- [7] Convention citoyenne sur le déploiement du réseau 5G à Rennes, <https://www.debatpublic.fr/convention-citoyenne-sur-le-dploiement-du-reseau-5g-rennes-494>
- [8] O-RAN Alliance, <https://www.o-ran.org/>
- [9] 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/)
- [10] Samsung, "6G The Next Hyper- Connected Experience for All" <https://research.samsung.com/next-generation-communications>
- [11] Orange, "6G. Why?", Conférence européenne sur les réseaux et les communications (EuCNC) 2020, juin 2020.
- [12] Livre blanc "Orange's vision for 6G", Mars 2022, <https://oran.ge/386d9US>
- [13] 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, octobre 2021.
- [14] D. T. Phan-Huy et al., "Ambient Backscatter Communications in Mobile Networks: Crowd-Detectable Zero-Energy-Devices", 2021 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), 2021.