

## Chapitre 3

# Évolution technique en 5G

### 1. Cas d'usage

La cinquième génération des réseaux mobiles a apporté des évolutions techniques importantes par rapport aux standards précédents. Parmi ces évolutions figure le très haut débit, beaucoup plus important que la 4G, la réduction de la latence jusqu'à 1 milliseconde, la fiabilité et la grande capacité du réseau en nombre d'objets connectés.

Ces évolutions techniques reposent sur des innovations technologiques en rapport avec l'architecture du réseau, qui font appel au cloud, à la virtualisation et au Network Slicing et qui font évoluer la partie radio pour plus d'efficacité tout en réduisant la consommation d'énergie et le coût d'exploitation. Les plus importantes de ces innovations font l'objet de ce chapitre.

Les utilisations de la 5G sont réparties dans trois volets majeurs :

- eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*) : le haut débit mobile amélioré ;
- CC&URLLC (*Critical Communications and Ultra Reliable and Low Latency Communications*) : les communications critiques, à ultra haute fiabilité et faible latence ;
- mIoT (*massive Internet of Things*) : l'Internet des objets massif.

## 1.1 eMBB

Il s'agit du service classique de connexion à Internet sur des smartphones ou tablettes. L'un des objectifs de la 5G est d'atteindre des débits de transferts de données cent fois plus importants que ceux réalisés en 4G. Cela rend plus fluides la navigation web, le streaming vidéo, les appels vidéo et la réalité virtuelle. En plus, cela ouvre la possibilité pour d'autres cas d'usage sous le volet eMBB. Par exemple, en aviation, eMBB peut fournir à un avion en plein vol un débit de 1,2 Gb/s.

L'eMBB repose sur les innovations suivantes :

- l'usage d'un spectre de fréquence plus large avec des fréquences millimétriques (*mm Wave* ou *mmW*) qui permettent d'atteindre les 20 Gb/s théoriques avec, bien entendu, une portée beaucoup plus limitée ;
- l'évolution des antennes utilisées avec l'usage du mMIMO (*massive Multi Input Multi Output*) et du *beamforming*. En 5G, il est possible de cibler une direction particulière, un client particulier. C'est le beamforming ou formation de faisceaux. Tandis qu'en 4G, le signal est diffusé par l'antenne dans toutes les directions de son champ de propagation.

## 1.2 CC&URLLC

Une communication critique est une communication dont l'échec n'est pas envisageable car il peut y avoir des conséquences très graves, dont la perte de vies. C'est pourquoi ces communications doivent avoir une fiabilité et une sécurité maximales, ainsi qu'une latence très faible et le plus proche possible de 0 ms. Ainsi, elles sont dites communications à ultra haute fiabilité et faible latence URLLC.

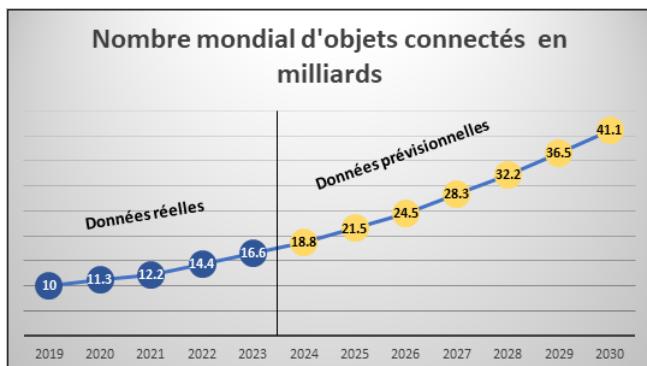
Les domaines où l'on trouve des communications critiques sont les services d'urgence (protection civile, ambulanciers, police), la santé (télémédecine et surveillance à distance), le transport (véhicules autonomes et systèmes de gestion de trafic), l'infrastructure critique (réseaux électriques et systèmes dont l'interruption même brève n'est pas tolérée) et l'industrie intelligente (automatisation et cycles de production dont l'arrêt peut avoir des conséquences graves pour la sécurité des employés et pour le résultat de l'entreprise).

Les communications critiques reposent sur les points suivants :

- Edge Computing : le traitement de l'information à la périphérie réduit considérablement la latence. Il permet aussi d'améliorer la sécurité des données puisque celles-ci restent sur place et le risque d'exposition aux attaques est minimisé.
- mMIMO : la multiplication du nombre de connexions grâce au mMIMO apporte plus de fiabilité et améliore la qualité du signal.
- Le Network Slicing : la création de réseaux spécifiques permet d'optimiser les ressources et de séparer les flux, ce qui assure la fiabilité et la sécurité.
- Les mécanismes de redondance intégrés permettent d'assurer la transmission des données.
- L'optimisation des protocoles de transport et de signalisation permet davantage de fiabilité et une réduction maximale de la latence.
- Le renforcement des protocoles de sécurité.

### 1.3 mIoT

Ci-dessous l'évolution du nombre mondial en milliards d'objets connectés, selon l'entreprise allemande IoT Analytics. Les données de 2024 sont prévisionnelles puisque le chiffre 18,8 milliards est l'estimation du nombre d'appareils IoT connectés dans le monde en fin d'année 2024.



Évolution du nombre mondial d'objets connectés de 2019 à 2030

Entreprise fondée et implantée en Allemagne, IoT Analytics est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de la veille stratégique et des informations du marché de l'Industrie 4.0 (IoT, intelligence artificielle, cloud, etc.). Leurs principaux axes de travail dans l'ensemble de la pile technologique comprennent les applications IoT, les plateformes et logiciels IoT, la connectivité et le matériel IoT et l'IoT industriel. Des entreprises comme Qualcomm, Huawei, Oracle et Sony leur font confiance pour leurs informations sur le marché. Ainsi, les données de IoT Analytics sont considérées comme source fiable pour les statistiques relatives à l'IoT.

L'annexe 1 détaille en anglais et en français la méthodologie d'IoT Analytics dans le comptage du nombre d'objets connectés.

Le mIoT est aussi connu par mMTC (*massive Machine Type Communications*). Dans des lieux comme les usines, les gares, les stades, les moyens de transport ou les centres de congrès, le mIoT doit supporter un grand nombre de machines, pour des usages professionnels ou personnels, d'une manière transparente, en générant une quantité immense de données et avec des débits de transfert très élevés.

Parmi les cas d'usage du mIoT :

- le développement des villes intelligentes : gestion intelligente du trafic, gestion des déchets et la surveillance environnementale ;
- l'agriculture de précision : surveillance des sols, évaluation de la santé des cultures et contrôle de l'irrigation ;
- dans le domaine de la santé : appareils de santé portables, surveillance à distance des patients et suivi des actifs hospitaliers ;
- l'automatisation industrielle : maintenance prédictive dans les usines, suivi des actifs et optimisation des processus.

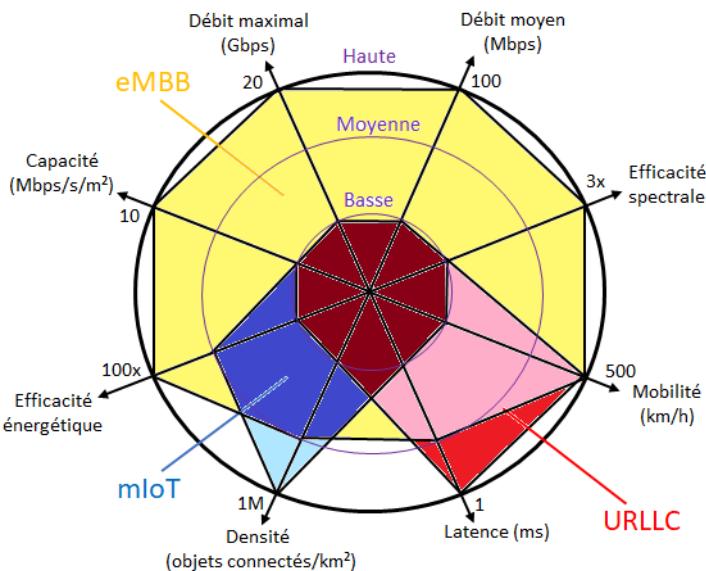
Ci-dessous les défis techniques du mIoT :

- L'évolutivité : pour la conception de réseaux capables d'accueillir plusieurs dizaines de milliers d'appareils connectés au km<sup>2</sup> (source : le site d'Orange), il faut relever un défi de taille. Il faut reposer sur des protocoles évolutifs, des schémas d'adressage et des mécanismes de routage avec une efficacité optimale.
- L'efficacité énergétique : les protocoles de communication doivent prendre en compte l'usage de batteries dans l'alimentation des objets connectés. Celles-ci doivent fonctionner le plus longtemps possible et ne doivent pas être remplacées fréquemment. Ainsi, les protocoles doivent être économies en énergie. En outre, des conceptions matérielles à faible consommation sont exigées.
- La connectivité : une connectivité fiable pour tous les appareils doit être garantie, quelles que soient les conditions. Des protocoles de communication robustes sont essentiels.
- La gestion des données : le mIoT génère des quantités énormes de données. Cela implique des techniques efficaces d'agrégation, de compression et de stockage des données.
- La sécurité et la confidentialité : la sécurité est peut-être le défi le plus difficile à relever de nos jours. Plus il y a de données, plus les réseaux sont vulnérables. Les métiers de la cybersécurité seront de plus en plus créés avec l'augmentation des volumes de données tous les jours. Sécuriser les réseaux mIoT contre les cyberattaques et garantir la confidentialité des données est plus qu'essentiel.
- La qualité de service (QoS) : c'est très complexe d'équilibrer les exigences de qualité de service de diverses applications (par exemple, surveillance en temps réel, rapports périodiques) au sein d'un réseau partagé. Cependant, c'est indispensable.

Le mIoT reposera sur les techniques qui assurent une connectivité à très grande fiabilité, une très grande capacité du réseau, une efficacité optimale de la consommation d'énergie et de l'exploitation des ressources et une sécurité de pointe. Citons le mMIMO, l'usage des basses fréquences, le beamforming, le Network Slicing, l'Edge Computing et la virtualisation.

## 1.4 Importance des fonctionnalités clés de la 5G

L'évolution technologique des réseaux 5G doit prendre en charge huit fonctionnalités clés synthétisées par l'illustration ci-dessous. L'importance de ces *features* varie selon le cas d'usage. Par exemple, en eMBB ou en mIoT, la latence peut être supérieure à 1 ms, voire atteindre des valeurs observées en 4G, ce qui n'est pas toléré en URLLC. Un débit moyen de 100 Mb/s est exigé en eMBB, mais en mIoT et en URLLC le très haut débit n'est pas primordial.



### Importance des fonctionnalités clés de la 5G

Afin de prendre en charge les huit fonctionnalités et les trois cas d'usage et étant donné la croissance accélérée des réseaux 5G, toutes les bandes de fréquences doivent être exploitées. C'est l'objet de la prochaine section.

## 2. Spectre de fréquences

Les porteuses des télécoms vont de 400 MHz à 100 GHz, mais les bandes sous licence vont de 600 MHz à 39 GHz. Elles sont réparties en deux catégories :

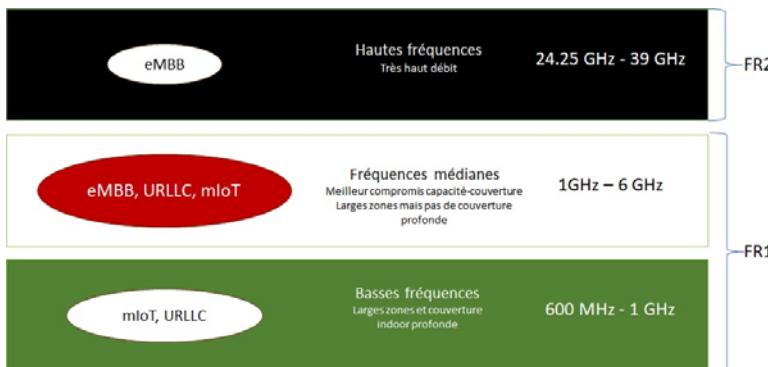
<b>FR1</b>	<b>450 MHz - 6 GHz</b>
<b>FR2</b>	<b>24.25 GHz - 52.6 GHz</b>

FR2 correspond aux hautes fréquences, également appelées fréquences mmW. FR1 est divisée en fréquences basses (en dessous de 1 GHz) et médianes (1 GHz – 6 GHz).

Ainsi, FR1 et FR2 donnent trois plages de fréquences à utiliser en 5G :

- **Basses fréquences** : généralement utilisée pour un déploiement rural, cette plage de basses fréquences, avec ses meilleures caractéristiques de propagation, est destinée à couvrir de grandes zones avec une bande passante maximale de 100 MHz pour une porteuse. Une couverture *indoor* profonde est garantie avec les basses fréquences.
- **Fréquences médianes** : destinée au déploiement de la 5G dans un contexte urbain ou suburbain, cette plage intermédiaire est le meilleur compromis entre la couverture et la capacité. Ici aussi, la bande passante maximale est de 100 MHz.
- **Hautes fréquences (FR2)** : la bande passante est plus élevée vers l'utilisateur (bande passante maximale de 400 MHz), mais la propagation est plus faible avec les hautes fréquences. Cette gamme est destinée aux environnements urbains denses (couverture de type « hotspot »).

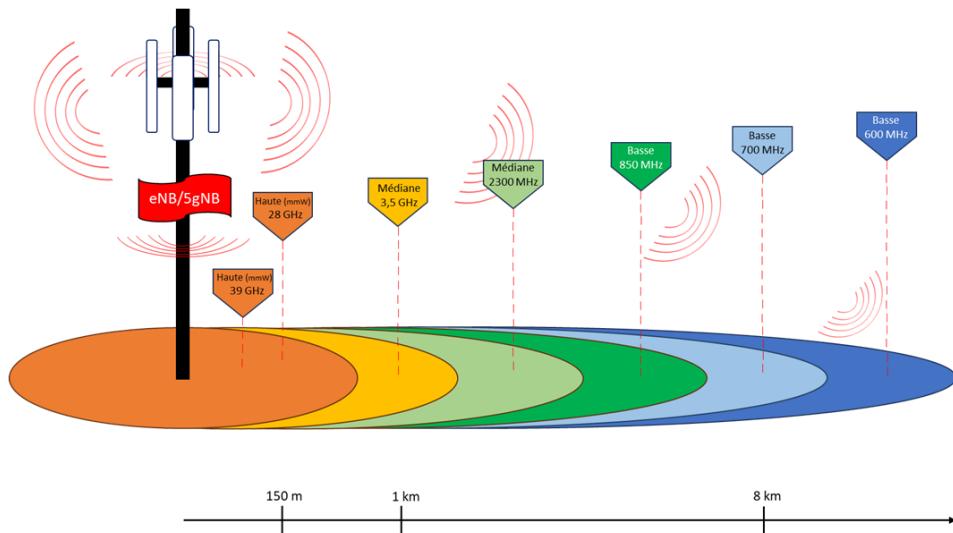
L'illustration suivante synthétise le mapping des cas d'usage majeurs de la 5G sur ces trois plages de fréquences.



### Mapping cas d'usage 5G vs spectre de fréquences

Chez Orange en France, c'est la bande de fréquences 3,5 GHz (3,4 - 3,8 GHz) qui sera utilisée en priorité pour le réseau mobile 5G. Cette bande médiane ou bande C est considérée comme la bande cœur de la 5G.

La figure ci-dessous schématisise la couverture radio en fonction de la fréquence. Il s'agit d'un site 4G/5G mais les fréquences millimétriques sont uniquement utilisées en 5G.



### Portée des fréquences utilisables en 5G

En se référant aux données de l'UIT, la portée du signal ne dépend pas que de la bande de fréquences utilisée ; elle est aussi impactée par l'environnement.

Le tableau suivant synthétise la portée en zone urbaine et rurale de trois bandes de fréquences : basse (700 MHz), médiane (3.5 GHz) et haute fréquence (26 GHz) :

Catégorie	Bandes	Portée en zone urbaine	Portée en zone rurale
FR 1	700 Mhz	2 km	8 km
	3.5 GHz	400 m	1.2 km
FR 2	26 GHz	150 m	-

### 3. Évolution des antennes

Le déploiement de la 5G avec un usage des fréquences traditionnelles, déjà utilisées en 2G, 3G et 4G, ne nécessite pas forcément l'ajout d'antennes 5G. Il est possible de se limiter à une intégration de la 5G par de simples mises à jour sur les sites existants.

Cependant, pour la fréquence 3.5 GHz par exemple, ou pour les fréquences mmW, il est nécessaire de réaliser des opérations sur l'infrastructure du réseau. Au moins l'ajout d'une antenne 5G est requis pour un déploiement qui, dans un premier temps, se fait par extension de l'architecture 4G (5G NSA ou *Non-Standalone 5G*) sans l'ajout de nouveaux sites 5G. Selon la demande des opérateurs, la deuxième phase de déploiement consiste à ajouter de nouveaux sites 5G SA (*Standalone*).