



de la 4G à la 5G

est-ce une étape si facile à franchir ?

Questions de Roberto Armani (Elektor)

Chaque jour, nous sommes inondés de publicités sur les merveilles des récentes concessions 5G. Il ne fait aucun doute qu'elles apportent une contribution essentielle à la vitesse du réseau, mais tout ce qui brille n'est pas vraiment de l'or, non ? Dans cet entretien avec Nemo Galletti, directeur italien d'une entreprise spécialisée dans la production d'antennes pour les réseaux de télécommunications, nous examinons les différences entre la 5G et l'ancienne technologie 4G. Nous vérifions également si quelque chose n'a pas été « caché sous le tapis » par les fournisseurs.

Roberto Armani : Nemo, pouvez-vous nous parler de votre expérience dans le domaine des télécommunications ?

Nemo Galletti (Radio Frequency Systems) : 2024 est ma 40^e année dans l'industrie des télécommunications. Je travaille actuellement chez Radio Frequency Systems, une société dirigée par Nokia, et je suis spécialisé dans les composants passifs principalement déployés dans les réseaux mobiles, tels que les alimentations spécifiques, les antennes, les guides d'ondes et les câbles rayonnants.

Roberto : Comment décririez-vous la 5G en quelques mots ?

Nemo : La 5G désigne la cinquième génération de réseau mobile sans fil. Par rapport aux réseaux mobiles de la génération précédente, ses avantages les plus importants peuvent être résumés en trois caractéristiques clés : la vitesse, la capacité et une latence plus faible.

Roberto : Dans le détail, en quoi la technologie 5G diffère-t-elle des générations précédentes (c'est-à-dire la 4G) ?

Nemo : Il y a des aspects technologiques essentiels

apportés par les réseaux 5G, qui diffèrent des générations de réseaux mobiles précédentes :

- **Vitesse de transfert des données :** Par rapport à la 4G, la 5G offre des vitesses de transfert de données nettement plus élevées. Alors que les réseaux 4G offrent des vitesses de téléchargement allant jusqu'à plusieurs centaines de mégabits par seconde en général, les réseaux 5G peuvent atteindre des débits de plusieurs gigabits par seconde. Toutefois, au lieu de « peuvent atteindre », nous devrions plutôt dire « pourraient atteindre », comme nous l'expliquons plus loin.
- **Temps de latence :** La latence fait référence au temps nécessaire pour que les données voyagent d'un appareil à l'autre sur un réseau. Alors que les réseaux 4G ont généralement un temps de latence de l'ordre de quelques dizaines de millisecondes, les réseaux 5G peuvent atteindre un temps de latence très faible de l'ordre de quelques millisecondes seulement.
- **Capacité du réseau :** Les réseaux 5G offrent une capacité de réseau nettement supérieure à celle de la 4G. Cela signifie que les réseaux 5G peuvent gérer simultanément un nombre beaucoup plus important d'appareils connectés sans une dégradation des performances.
- **Efficacité spectrale :** La technologie 5G est conçue pour être plus performante au niveau spectral que les technologies précédentes. Cela signifie qu'elle peut transmettre plus de données en utilisant la même quantité de spectre radio. La 5G permet cela grâce à des techniques de modulation avancées, à une utilisation plus efficace des bandes de fréquences disponibles et à l'utilisation de bandes de fréquences plus élevées.
- **Découpage du réseau :** La 5G introduit le concept de découpage du réseau, qui permet aux opérateurs de créer plusieurs réseaux virtuels au sein d'une seule infrastructure de réseau physique. Chaque tranche de réseau peut être optimisée pour des cas d'utilisation ou des applications spécifiques, telles que le haut débit mobile amélioré, la communication ultra-fiable à faible latence et les déploiements massifs de l'IdO.



Figure 1. Tableau de l'utilisation mondiale des fréquences 5G. (Source de toutes les images, sauf indication contraire : Radio Frequency Systems)

- **Edge computing** : Les réseaux 5G permettent des capacités d'*Edge computing*, en rapprochant les ressources de calcul de la périphérie du réseau. Cela réduit la distance que les données doivent parcourir, améliorant la latence et permettant un traitement plus rapide pour les applications qui nécessitent une analyse des données en temps réel ou des réponses à faible latence.
- **Amélioration de la connectivité** : La 5G prend en charge des fonctions de connectivité avancées, telles que le filtrage spatial et les systèmes d'antennes MIMO massives. Ces technologies améliorent la qualité du signal, augmentent la couverture du réseau et améliorent la capacité et les performances globales du réseau. Le filtrage spatial permet au réseau de concentrer son signal sur des appareils spécifiques, tandis que le système MIMO utilise plusieurs antennes pour améliorer la qualité et la capacité du signal.
- **Fréquences d'ondes millimétriques** : La 5G introduit l'utilisation de bandes de fréquences plus élevées, y compris les fréquences d'ondes

millimétriques (mmWave). Ces bandes à haute fréquence offrent des largeurs de bande beaucoup plus importantes, ce qui permet des débits de données plus rapides.

Roberto : On associe souvent la 5G au déploiement de nouvelles fréquences radio. Quelles sont les bandes de fréquences existantes ou qui seront déployées pour les réseaux 5G ? Sont-elles différentes selon les pays ?

Nemo : Les organismes de normalisation de la 5G ont défini des bandes spécifiques qui seront utilisées par la 5G. Elles sont identifiées par la lettre *n* suivie d'un chiffre. Les principales bandes de fréquences *nXX* existantes ou qui seront attribuées à la 5G sont énumérées dans la **figure 1** (mais de nombreuses autres bandes peuvent être utilisées). Pour *n78*, la bande la plus utilisée, des valeurs plus précises ont été indiquées dans le même tableau.

Le tableau de la figure 1 est une simplification. L'Europe n'adopte pas les mêmes fréquences dans tous les pays. Par exemple, l'Allemagne ne prévoit pas d'utiliser la bande *n41* pour la 5G, tandis que

Tableau 1. Codes de bandes de fréquences mondiales et attribution des fréquences.

Code de bande de fréquence	Fréquence (GHz)	Europe	USA/Canada	Chino	Japan	Corée	Australie
28	0,7	x	x		x		x
n40	2,3						x
n41	2,5		x	x			
n78	3,5	3,4-3,8	3,7-4,3	3,3-4,9	3,6-4,9	3,4-3,7	3,5
n257	28	x	x	x	x	x	x
n258	26	x	x				x

►
Figure 2. Une tour 4G (5G) typique pour les bandes 700 MHz et 1 800 MHz, avec une vue détaillée de l'intérieur d'un réflecteur.



les sous-bandes de la bande la plus utilisée, la n78, seront probablement différentes d'un pays à l'autre. La tendance en Europe est de rester en dessous de 3,8 GHz dans cette bande. Étant donné que les diverses fréquences utilisées par la 5G sont très différentes, on pourrait plutôt se demander laquelle est la meilleure. Nous avons vu que la 5G utilise des fréquences basses, moyennes et hautes. Une basse fréquence (définie comme une émission électromagnétique avec une fréquence de l'ordre de centaines de MHz), a la capacité de pénétrer les obstacles et d'atteindre une distance beaucoup plus grande qu'une haute fréquence, mais peut transporter moins de données par unité de temps (typiquement exprimées en bits par seconde ou bit/s). Une haute fréquence (de l'ordre du GHz), au contraire, a une portée beaucoup plus faible mais peut transporter beaucoup de données par unité de temps. C'est pourquoi une connexion peu fiable (c'est-à-dire perturbée) à une bande de haute fréquence peut parfois être plus lente qu'une bande de fréquence plus basse mais avec une bonne connexion.

Par conséquent, nous ne pouvons pas affirmer qu'une bande de fréquences est meilleure qu'une autre, car il existe différentes fréquences pour différents usages, et le meilleur réseau 5G est celui qui fait bon usage des

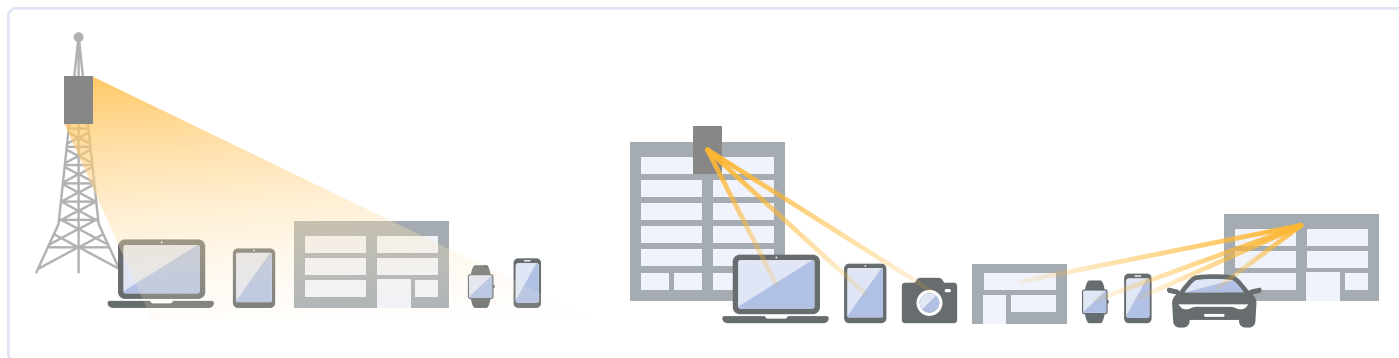
trois bandes de fréquences en fonction des besoins spécifiques du moment. Un flux vidéo, l'accès à des e-mails, ou un thermostat intelligent connecté à une maison intelligente, ont des exigences différentes en termes de bande passante !

C'est aussi pour cette raison que les nouveaux smartphones 5G utilisent une technologie appelée « commutation adaptative de faisceau », qui leur permet de passer d'une bande de fréquence à l'autre pour maintenir une connexion stable. Cette fonction permet de maximiser les avantages d'une connexion via plusieurs fréquences en même temps. C'est particulièrement vrai pour les fréquences millimétriques, comme la bande haute n257/n258, la très haute fréquence permet un débit de données extrêmement élevé, mais même un temps nuageux ou brumeux peut avoir un impact négatif sur un faisceau d'ondes millimétriques. Sans commutation adaptative du faisceau, nous ne pourrions pas confier notre connexion à une transmission millimétrique. Les fréquences 5G les plus utilisées, du moins dans un premier temps, seront les fréquences moyennes, ou « sub 6 », qui sont comprises entre 1 et 6 GHz. Par rapport aux ondes millimétriques, ces fréquences permettent un bon débit de données, une pénétration suffisante pour traverser les murs, et sont moins sujettes aux interférences. Enfin, les basses fréquences seront idéales pour les appareils, les capteurs, l'IdO, les contrôleurs et les maisons intelligentes, où un faible débit de données suffit, mais où une forte pénétration et une faible latence sont nécessaires.

Roberto : Le débat sur les fréquences inclut également celui des antennes 5G. Sont-elles différentes de celles de la 4G ?

Nemo : En principe, les antennes 4G et 5G ne sont théoriquement pas différentes. Pourtant, elles sont impactées par certaines technologies innovantes introduites avec la 5G. Nous nous concentrerons ici sur deux éléments, dont l'un est physique, c'est-à-dire que la taille du dipôle doit être aussi proche que possible de la moitié de la longueur d'onde (λ). La formule simplifiée pour calculer la longueur optimale (en mm) d'un dipôle $\lambda/4$ est la suivante : vitesse de la lumière [m/s] / fréquence [kHz] / 2.

Les dipôles peuvent avoir la même taille ou un multiple de la longueur d'onde, leur forme peut être linéaire, en V ou coudée, mais leur taille est toujours proportionnelle à la longueur d'onde. Nous avons vu que la fréquence la plus basse pour la 5G est de 700 MHz, ces dipôles seront donc plus longs que ceux utilisés à 800 MHz par la 4G, alors que pour les ondes millimétriques, la 5G déploie une matrice composée de plusieurs réseaux de dipôles dont la taille est minimale. Pour donner un ordre d'idée, à 700 MHz, la longueur typique d'un dipôle $\lambda/4$ est de 214 mm, alors qu'à 28 GHz, elle est de 5,35 mm.



▲

Le deuxième élément est lié à la technologie, car l'antenne 4G « traditionnelle » se compose d'un réseau vertical de dipôles pour chaque fréquence, monté sur un réflecteur. Sur la **figure 2**, vous pouvez voir une station cellulaire typique avec un ensemble de réflecteurs montés selon le schéma d'émission classique de 120°, tandis que l'image encadrée dans le coin inférieur droit montre la structure interne d'un réflecteur. Dans ce cas, nous voyons à l'intérieur les dipôles à polarisation croisée de 700 MHz (éléments dorés), et à l'intérieur de ceux-ci, les dipôles blancs plus petits pour la bande de 1,8 GHz. À partir de la bande moyenne, les antennes 5G sont souvent constituées d'un réseau de matrice d'antennes, avec plusieurs antennes verticales en parallèle, initialement 6×6 ou 8×8, jusqu'à 32×32 dans la version 15, et plus dans les versions ultérieures. La quantité et la taille des matrices augmentent avec la fréquence, gérées en mode actif de manière à réaliser le MIMO Massif et la formation de faisceaux.

Il en résulte que les antennes pour les bandes basses ne seront pas très différentes de celles que nous voyons pour la 4G, mais les antennes typiques de la 5G pour les bandes plus élevées seront comme des boîtes rectangulaires ou carrées, devenant de plus en plus petites avec l'augmentation de la fréquence.

Roberto : Vous avez mentionné le MIMO Massif, la formation de faisceaux et les matrices d'antennes dipolaires. S'agit-il de nouvelles technologies ?

Nemo : Le MIMO massif et la formation de faisceaux par le biais de matrices de dipôles ne sont pas des technologies nouvelles. Cependant, lorsque nous parlons de déploiement mobile commercial, la première apparition de ces technologies a eu lieu il y a environ 20 ans avec les réseaux Wimax. Pour plusieurs raisons, les réseaux Wimax n'ont pas évolué comme prévu, de sorte que cette approche est restée confinée à des applications spécifiques. Ce n'est qu'avec la 5G que nous voyons l'utilisation étendue de ces solutions. MIMO (entrées multiples, sorties multiples) utilise les techniques de la diversité spatiale et du multiplexage spatial. Les signaux de données indépendants et codés séparément, appelés « flux », sont transmis par différentes antennes en réutilisant la même période de temps et la même ressource de fréquence. Dans le MIMO multi-utilisateurs (MU-MIMO), l'émetteur envoie simultanément différents flux à différents utilisateurs, en utilisant les mêmes ressources temporelles et fréquentielles. L'efficacité spectrale et

la capacité peuvent être améliorées en ajoutant des antennes supplémentaires pour prendre en charge davantage de flux. L'effet MIMO repose sur le fait qu'un signal radio entre l'émetteur et le récepteur est influencé par son environnement, les réflexions sur les bâtiments et autres obstacles entraînant de multiples trajets de signaux. Les divers signaux réfléchis atteindront l'antenne de réception avec des retards, une atténuation et une direction de déplacement variables. Lorsque plusieurs antennes de réception sont déployées, chacune d'entre elles reçoit une version légèrement différente du signal, qui peut être combinée mathématiquement pour améliorer la qualité du signal transmis. On parle alors de « diversité spatiale ». On y parvient également en transmettant le signal radio par l'intermédiaire de plusieurs antennes, chaque antenne envoyant, dans certains cas, des versions du signal modifiées.

En plus de la diversité spatiale, le multiplexage spatial augmente la capacité de la liaison radio en utilisant les multiples chemins de transition comme des canaux supplémentaires pour le transport des données. Le multiplexage spatial permet d'envoyer des flux de données multiples et uniques entre l'émetteur et le récepteur, ce qui augmente considérablement le rendement, et permet également à plusieurs utilisateurs du réseau d'être pris en charge par un seul émetteur. Comme le montre la **figure 3**, la formation de faisceaux utilise des technologies d'antenne avancées pour concentrer un signal mobile dans une direction spécifique, plutôt que de le diffuser dans une zone étendue.

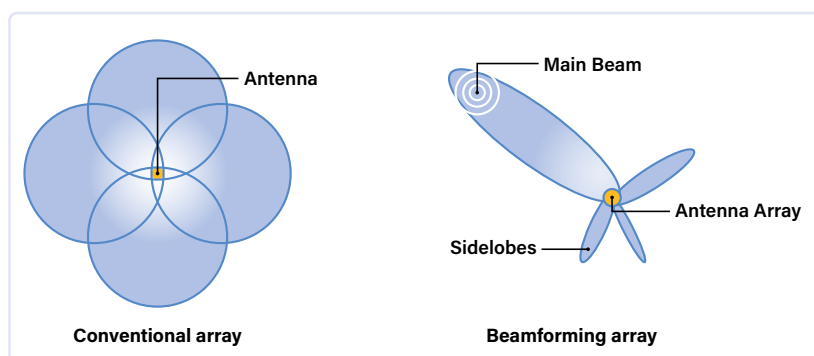
Roberto : Pourriez-vous nous expliquer plus en détail son principe de fonctionnement ?

Nemo : La **figure 4** montre les diagrammes de rayonnement d'une antenne dipôle standard (à gauche) et

Figure 3. Différence entre l'empreinte de diffusion standard d'une tour 4G (à gauche) et celle d'une tour 5G moderne et optimisée, dotée de capacités d'orientation du faisceau (à droite).

Figure 4. Diagrammes de rayonnement d'une antenne réseau dipôle standard (à gauche) et d'une antenne réseau 5G de dernière génération (à droite) avec capacité de formation de faisceau.

▼



d'une antenne réseau 5G de dernière génération (à droite) avec des capacités de formation de faisceau. La technologie de formation de faisceau permet de concentrer le signal mobile dans une direction spécifique, plutôt que de le diffuser dans une zone étendue. Cette technique réduit les interférences entre les faisceaux dirigés dans des directions différentes, ce qui permet de déployer des réseaux d'antennes plus importants, et est donc associée à la technologie MIMO massive.

La formation de faisceaux tridimensionnels, facilitée par le grand nombre d'antennes dans un système MIMO massif, crée des faisceaux horizontaux et verticaux vers les utilisateurs, augmentant les débits de données à la demande, en « suivant » la requête d'un utilisateur mobile. Des algorithmes complexes ont été développés pour coordonner les informations spatiales obtenues à partir d'un *signal de référence sur l'état du canal* (CSI-RS) afin de permettre à la station de base de communiquer avec plusieurs appareils en même temps et de manière indépendante. Le CSI-RS est un signal envoyé par la station de base à l'*élément utilisateur* (UE), permettant à l'UE de calculer les informations sur l'*état du canal* (CSI) et de les renvoyer à la station de base. Ces informations sont utilisées par le système MIMO pour effectuer un grand nombre de traitements de signaux, en utilisant les CSI pour représenter la fonction de transfert du canal sous la forme d'une matrice.

Roberto : Quelle est la situation de l'Europe par rapport aux autres pays en ce qui concerne le déploiement de la 5G ?

Nemo : Depuis 2016, l'UE a établi un plan général de déploiement de la 5G, fixant les étapes suivantes :

- Premiers réseaux d'essai d'ici à la fin de 2018.
- Services commerciaux 5G complets dans au moins une grande ville d'ici à la fin de 2020.

- Couverture 5G complète dans les zones urbaines et continuité de la couverture sur les principaux axes de transport (routes, chemins de fer) d'ici à la fin de 2025.
- En mars 2021, une nouvelle étape a été franchie : couverture 5G de toutes les zones habitées d'ici à la fin de 2030.

À la fin de l'année 2020, 23 pays de l'UE ont atteint l'objectif d'avoir au moins une grande ville entièrement couverte par la 5G. Quatre pays seulement n'ont pas pu atteindre cet objectif.

Selon les dernières études, la Commission européenne prévoit que 11 pays seulement atteindront la fin de l'année 2025 avec une couverture 5G complète de toutes les zones urbaines et des principaux axes de transport. En d'autres termes, le déploiement de la 5G en Europe progresse lentement, et la liste des 13 pays qui seront à la traîne comprend également des noms inattendus (à vous d'identifier les « surprises ») : l'Autriche, la Tchéquie, l'Estonie, l'Allemagne, l'Irlande, la Pologne, la Lituanie, la Slovaquie, la Belgique, la Bulgarie, la Croatie, Chypre et la Grèce.

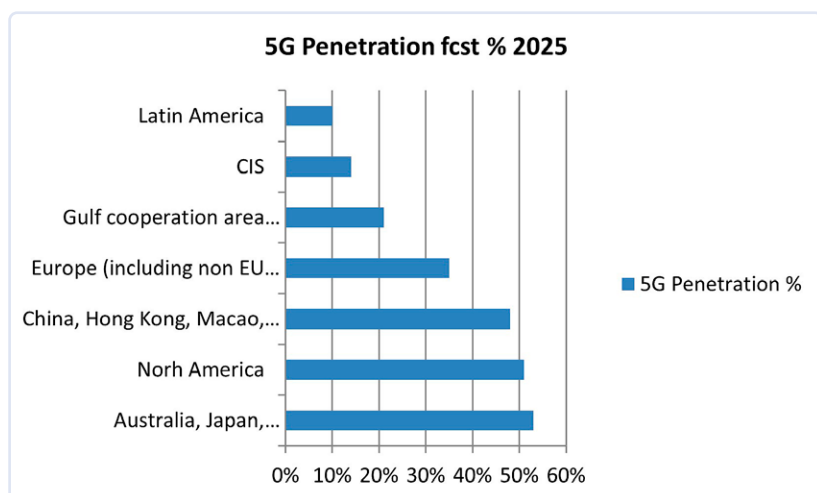
Selon les prévisions de la GSM Association, d'ici à la fin de 2025, le pourcentage de connexions mobiles 5G par rapport au total des connexions sera illustré dans le diagramme de la **figure 5**.

Est-ce que c'est bon ? Certainement pas, dirais-je. L'Europe obtiendra un score misérable de 35 %. En plus, il est important de considérer que la définition de « la pénétration de la 5G » en termes de nombre de connexions 5G est un concept générique, puisque la 5G est mise en œuvre en plusieurs phases (ou étapes) le long d'un calendrier. Donc le « nombre de connexions 5G » ne signifie pas que les services 5G seront disponibles et utilisés sur une connexion 5G en réalité.

Roberto : Quelles sont les étapes de la mise en œuvre de la 5G ?

Nemo : Elles sont conçues par le 3GPP, l'organisme de normalisation des télécommunications mobiles le plus important au monde. Il regroupe sept organismes d'élaboration de normes de télécommunications comme ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA et TTC, qui fournissent les spécifications pour les technologies de télécommunications cellulaires, y compris l'accès radio, le réseau central et les fonctionnalités de service. Le 3GPP a basé le déploiement de la 5G sur des phases qui peuvent coexister et qui aboutiront à la mise en œuvre « finale » de la 5G dans un délai qui dépend de la rapidité des investissements dans l'infrastructure. Aujourd'hui, chaque opérateur est positionné à une étape intermédiaire sur ce chemin dans chaque pays. Malheureusement, je peux dire que l'Europe est généralement en retard par rapport à d'autres pays, tels que les États-Unis, la Chine et la Corée du Sud,

Figure 5. Prévision mondiale de la progression de la 5G d'ici à 2025. (Source : GSMA).



qui sont plus avancés dans le déploiement de la 5G. En ce qui concerne les phases 15, 16, 17 et 18 de l'évolution de la 5G, dont la normalisation a été achevée par le 3GPP, l'Europe devrait avoir commencé le déploiement de la phase 18 d'ici à la fin de 2023 (voir le **tableau 2**).

Roberto : Alors, où en est la 5G aujourd'hui ?

Nemo : Dans la plupart des cas, à l'exception des zones d'essai particulières, la 5G se situe entre la phase 15 et la phase 16.

La première étape de la 5G est appelée 5G NR (New Radio). Il s'agit en effet d'une mise à niveau complexe, mais ce n'est que la première étape. Pour simplifier, la 5G NR est liée à l'accès radio et à tous ses protocoles et interfaces de contrôle. Comme le montre le **figure 6**, l'élément utilisateur 5G est connecté au réseau d'accès radio 5G via l'interface NR-Uu. Le réseau d'accès radio (Radio Access Network) de la 5G, constitué de gNB (nœud B de la 5G, l'unité de bande de base), a été conçu pour avoir ses propres fonctions de contrôle, mais cette fonction de contrôle est mise en œuvre de manière native par quelques réseaux seulement. Étant donné que le déploiement complet d'une fonction de contrôle centrale 5G nécessitera du temps et des investissements massifs, la plupart des opérateurs mobiles mettent en œuvre la première phase de la fonction de contrôle 5G sur la fonction de contrôle centrale 4G. Nous parlons de 5G-NSA (*non-standalone*) pour faire la différence avec la (future) 5G-SA (*standalone*). Dans le cas de la 5G-NSA, l'expérience

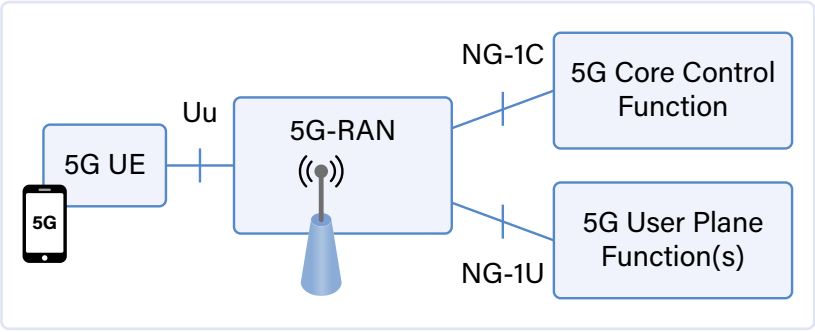


Figure 6. L'UE (élément utilisateur) 5G connecté avec le 5G-RAN (Radio Access Network) avec ses propres fonctions de base (-1C) et d'utilisateur (-1U).

de l'utilisateur ne bénéficiera que d'une amélioration de 15 à 50 % du débit de données et d'une réduction de la latence, ce qui est encore loin des améliorations spectaculaires promises par la 5G-SA finale. Mais, car il y a un « mais ». Même pour la 5G-NSA, il faut une condition préalable, avec une couverture réseau 4G pleinement efficace. Or, certains pays sont loin de fournir une couverture 4G complète, dans les zones rurales ou même le long des principaux axes de communication à l'intérieur de ces pays (autoroutes, chemins de fer).

Roberto : D'après vos propos, je comprends que la transition ne se fait pas sans difficulté. Y a-t-il peut-être un excès de prudence de la part des fournisseurs, qui entraîne des retards dans la mise en œuvre de la 5G ?

Nemo : La 5G est très ambitieuse et nécessite d'énormes investissements. Pour les entreprises privées, ces investissements sont directement liés aux revenus escomptés. Et c'est là que se trouve le problème, du moins en Europe, car le retour sur investissement n'est pas satisfaisant, du fait que dans plusieurs pays, les gens sont satisfaits des

Tableau 2. Phases de déploiement de la 5G (lancements).

Phase (Lancement)	Année de mise en œuvre ou de définition	Objectif	Statut (mars 2024)
15	2018	Prise en compte des concepts d'accès à la nouvelle radio (NR).	Terminé.
16	2020	Achèvement de la NR, y compris les fréquences sans licence et l'accès par satellite.	Terminé.
17	2022	Définition de services supplémentaires tels que MIMO amélioré, amélioration du partage du spectre, amélioration de la couverture, inclusion de bandes de fréquences jusqu'à 71 GHz, prise en charge améliorée des réseaux privés, IdO industriel, dispositifs NR à faible complexité, edge computing, pilotage du trafic d'accès, prise en charge de la commutation et du fractionnement, automatisation du réseau pour la 5G, découpage du réseau, service V2X avancé, prise en charge de plusieurs USIM et autres services.	Non achevé. Son activation est toujours en cours et affectée par plusieurs retards.
18	2023	Également définie comme la <i>Advanced 5G</i> . Les nouvelles spécifications comprennent l'edge computing, l'énergie et l'infrastructure intelligentes, les relais embarqués, l'évolution du service de téléphonie multimédia IMS, le positionnement à faible consommation et à haute précision pour les appareils IdO industriels, l'amélioration du découpage du réseau.	Définition des spécifications achevée. Reste encore à mettre en œuvre.
19	2024	Le 3GPP travaille actuellement à la définition des caractéristiques de cette version <i>Advanced 5G</i> .	Ni entièrement définie ni mise en œuvre.

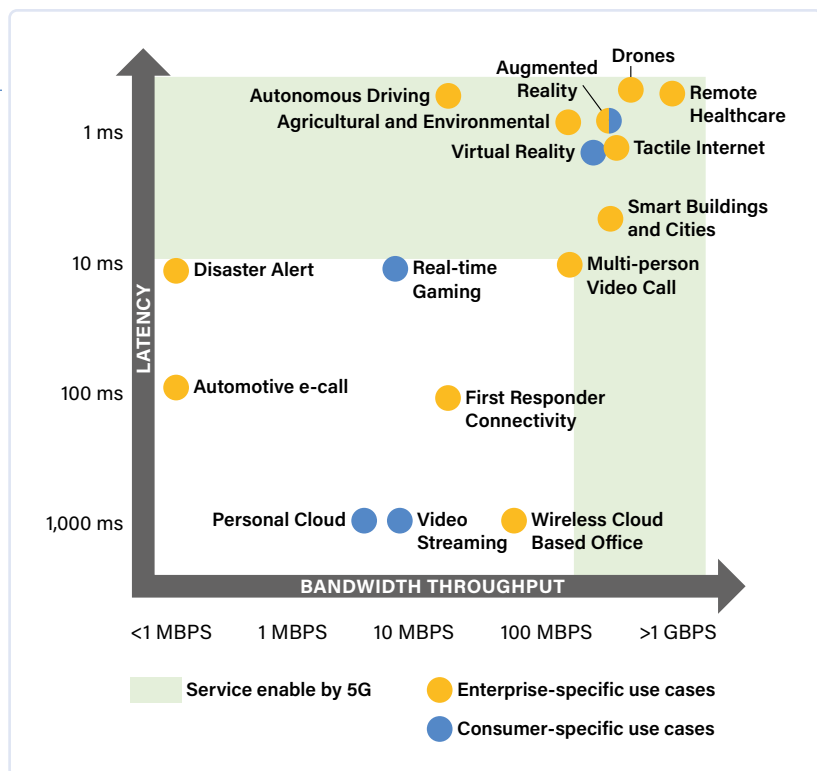
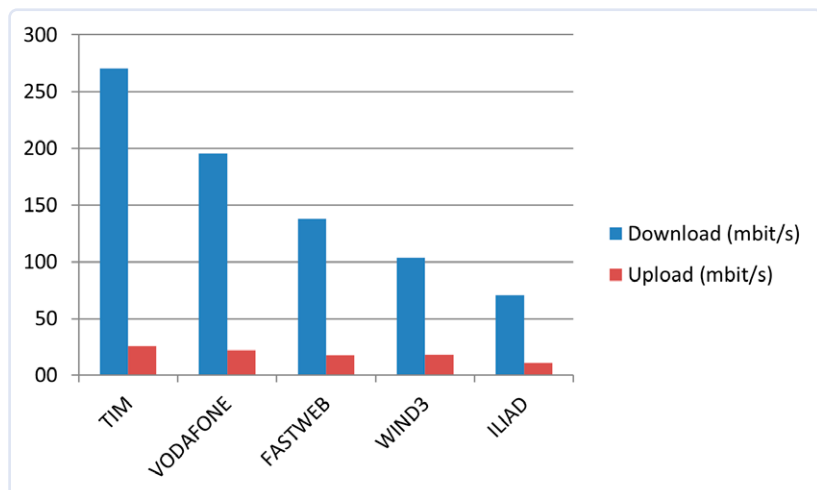


Figure 7. Domaines d'application de la 4G (blanc) et de la 5G (vert clair), en fonction de la combinaison de la latence et du débit de la connexion. (Source : GSMA)

Figure 8. Vitesse moyenne de téléchargement et d'upload des réseaux 5G en Italie, par opérateur de réseau, en mars 2023. (Source : Opensignal, mai 2023)



temps, une guerre des prix en cours dans plusieurs pays européens (principalement en France et en Italie) fait baisser l'ARPU (revenu moyen par utilisateur). La conséquence est que les consommateurs habituels sont réticents à payer un supplément, pour une augmentation des fonctionnalités dont ils n'ont pas vraiment besoin. Lorsque nous examinons les besoins typiques des entreprises (ou des gouvernements), nous nous intéressons à des services qui ne sont pas encore mis en œuvre par la 5G-NSA et qui seront disponibles principalement avec la 5G-SA. Cela nécessite un développement et des investissements supplémentaires, exigeant un financement que plusieurs opérateurs de réseaux ont du mal à obtenir à partir des niveaux de revenus actuels.

Pour en revenir au sujet initial sur la différence entre la 4G et la 5G, je dirais qu'aujourd'hui la situation est pour le moins floue. Les réseaux 4G ont des performances très différentes dans le monde, tandis que les performances (débit de données par heure) des réseaux 5G, qui sont pour la plupart toujours basés sur le cœur 4G, diminuent à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. Et ces performances montrent d'énormes différences dans le monde : de 500 Mbit/s en Corée à 300 Mbit/s en Chine jusqu'à la moyenne actuelle d'environ 200 Mbit/s en Italie, mais avec d'énormes différences entre les opérateurs, comme le montre le tableau de la **figure 8**.

En général, la 5G « pourrait être » trois à cinq fois plus rapide que la 4G, ou deux fois plus rapide que la 4.5G dans l'agrégation de porteuses. Mais en essayant de faire une comparaison efficace, le problème est à la fois la vitesse de référence de la 4G et celle de la 5G. Les avantages de la 5G se mesurent en fait en combinant trois facteurs qui sont la vitesse, la latence et la capacité du réseau. Les considérer séparément ne donne pas une idée du progrès que cela représente par rapport à la 4G.

Un autre exemple de l'état de la couverture 5G, mise à jour en mars 2024, est présenté à la **figure 9**. La carte de la couverture 5G de Vodafone Allemagne entre Hanovre, Hambourg et Berlin (le violet correspond à la 5G, l'orange et le rouge à la 4G et à la 4.5G, respectivement) montre qu'ils sont encore loin des objectifs fixés.

Roberto : Devrais-je dire, alors, « Oublions le déploiement de la 6G pour l'instant » ?

Nemo : Pas vraiment. La situation que j'ai présentée semble peut-être pessimiste, mais je pense que nous ne vivons qu'un ralentissement temporaire du déploiement de la 5G. La 5G offre, en principe, des fonctionnalités et des services fantastiques. Ce qu'il faut maintenant, c'est attendre la croissance inévitable de la demande de ces services, afin de disposer des revenus nécessaires pour que les réseaux 5G

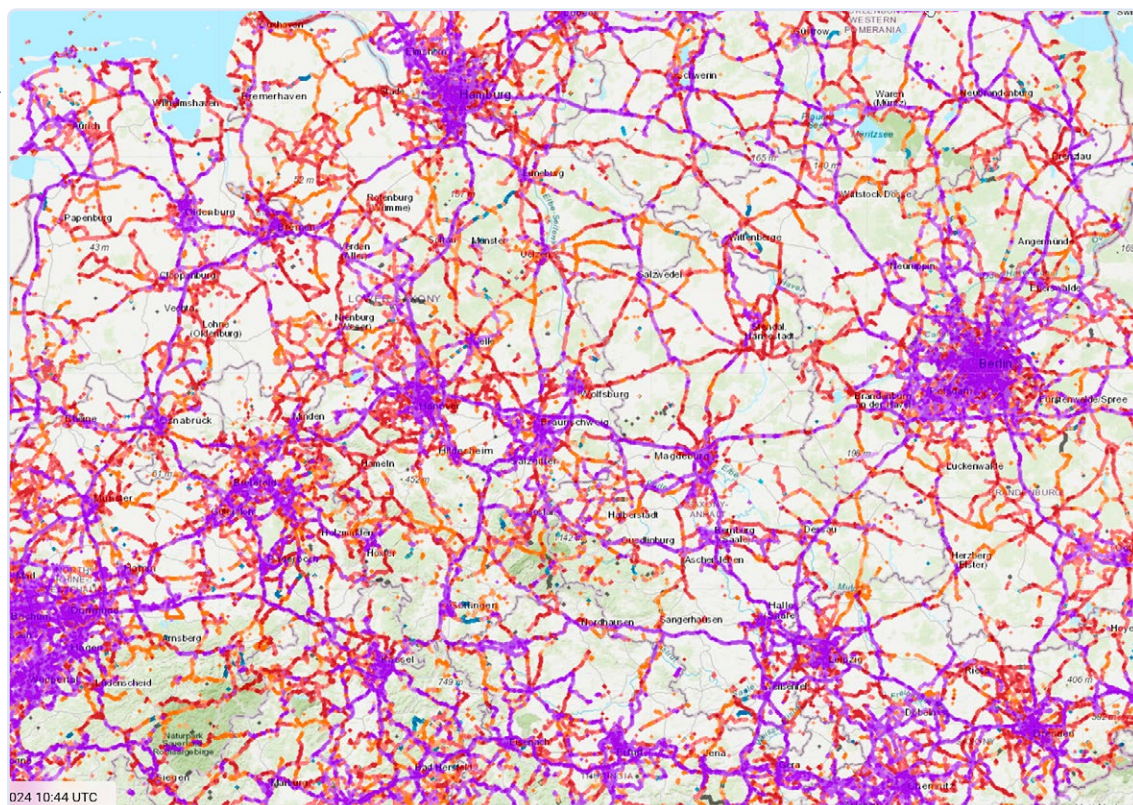


Figure 9. Déploiement des réseaux 4G et 5G dans la région Hanovre-Berlin-Hambourg (Source : NPERF, nperf.com/fr/map/DE/)

redeviennent rentables. La demande de nouveaux services 5G n'a pas progressé au rythme prévu jusqu'à présent, mais elle progresse et exercera bientôt la dynamique nécessaire pour que la 5G puisse reprendre sa course.

Pendant ce temps, en décembre 2023, le 3GPP a annoncé qu'il commencerait à travailler sur les spécifications de ce qui sera la 6^e génération, la 6G, avec l'objectif de lancer les premiers essais avant 2030. Ainsi, bien qu'il soit trop tôt pour prédire la composition et l'architecture exactes de la 6G, nous pouvons néanmoins prévoir que nous contribuerons au développement d'une sorte de 5.5G. Elle pourrait être disponible peu avant 2030 puisque plusieurs nouvelles fonctionnalités, qui seront intégrées dans les futurs réseaux 6G, font déjà l'objet d'un financement et d'un développement publics dans le cadre de la course à la suprématie technologique. En anticipant et en intégrant certaines des fonctionnalités conçues pour faire partie de la 6G, ces standards seraient adoptés comme norme de facto.

Par exemple, plusieurs annonces associées aux réseaux 5G, comme la prise en charge de systèmes de conduite entièrement automatisés, ne connaîtraient probablement une véritable impulsion massive que grâce à l'amélioration de la vitesse, de la couverture et de l'intégration de différents éléments de réseau qui feront théoriquement partie des réseaux 6G.

À ce jour, les principaux objectifs de la 6G sont un nouveau bond en avant jusqu'à 1 Tbit/s du débit de données, une nouvelle réduction de la latence vers 100 microsecondes, une couverture totale du territoire intégrant des réseaux cellulaires et non cellulaires, y compris des constellations de satellites de télécommunications, de nouveaux types de hotspots et de

nouveaux appareils. Avec le soutien de systèmes d'IA pour optimiser toutes les ressources du réseau, un véritable service personnalisé est offert, et c'est une autre exigence importante, également la réduction de la pollution électromagnétique et la consommation d'énergie. Si la 5G devrait contribuer à l'explosion de l'IdO, la 6G intégrera l'intelligence artificielle dans le réseau, ce qui permettra une interaction plus étroite entre la réalité et son extension dans les métavers. **►**

VF : Laurent Rauber — 240233-04



À propos de Nemo Galletti

Nemo Galletti est le chef de site de RFS Italia, la branche italienne de Radio Frequency Systems GmbH, une société multinationale contrôlée par Nokia, au cours de cet entretien. Il a étudié l'ingénierie électronique à l'École polytechnique de Milan et a acquis 39 ans d'expérience dans le domaine des télécommunications, d'abord dans la R&D pour le groupe Alcatel, puis dans le secteur commercial à l'étranger en vendant des réseaux de télécommunications, avant de rejoindre RFS.



À propos de Roberto Armani

Roberto Armani est ingénieur en électronique. Après ses études à l'École polytechnique de Milan, il a acquis plus de 35 ans d'expérience dans divers secteurs. Avant de rejoindre l'équipe d'*Elektron* en tant que rédacteur en chef, il a travaillé dans l'industrie informatique, l'imagerie électronique, les télécommunications, les équipements d'essai des matériaux et la publication sur le web. Outre l'électronique, il aime écouter (et chanter) de la musique classique et faire des promenades en haute montagne.