

# L'évolution des réseaux mobiles 5G :

le quoi, le pourquoi et le comment

livre  
blanc

EXFO

# L'évolution des réseaux mobiles 5G : le quoi, le pourquoi et le comment

EXFO

livre  
blanc



La 5G promet également une plus grande fiabilité, une meilleure efficacité énergétique et une reconfiguration plus facile du réseau pour déployer des services supplémentaires.

## Qu'est-ce que la 5G ?

La 5G est la 5<sup>e</sup> génération de réseaux mobiles spécifiée par l'organisation 3GPP. Elle promet des capacités au sein d'un réseau mobile sans fil que l'on ne pensait possibles qu'à travers des réseaux locaux (LAN) utilisant une infrastructure fixe. Du point de vue des fonctionnalités, la 5G offre un débit plus élevé (25x), une latence plus faible (1/25<sup>e</sup>) et une capacité plus élevée (500x) que les réseaux 4G. Cela permet de développer de nouvelles applications telles que la vidéo 3D haute définition, les environnements de réalité virtuelle en temps réel, les véhicules autonomes, la chirurgie à distance et la connectivité à des milliards d'appareils pour soutenir l'internet des objets (IoT).

La 5G promet également une plus grande fiabilité, une meilleure efficacité énergétique et une reconfiguration plus facile du réseau pour déployer des services supplémentaires.

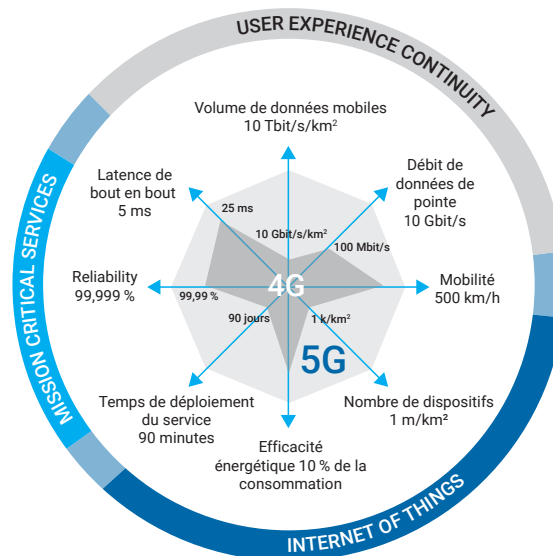


Figure 1. Caractéristiques des réseaux 4G et 5G

Afin de fournir ces capacités, la 5G introduit de nouvelles technologies, notamment :

- L'utilisation de bandes de radiofréquences (RF) plus élevées pour prendre en charge une largeur de bande supplémentaire (mmWave)
- Des connexions fronthaul plus rapides et plus efficaces (eCPRI)
- Une synchronisation plus fiable et plus rentable sur le réseau (IEEE1588/PTP)
- Plus de granularité dans la distribution des fonctions de réseau (CU, DU, RU)
- La possibilité de configurer dynamiquement l'infrastructure du réseau grâce à la virtualisation des fonctions du réseau (NFV)
- Réduction des coûts grâce à l'exécution de fonctions de réseau virtuelles (VNF) sur du matériel de type « boîte blanche »
- La possibilité de mettre en oeuvre des niveaux de qualité de service distincts pour des applications spécifiques sur un réseau physique unique (découpage du réseau)



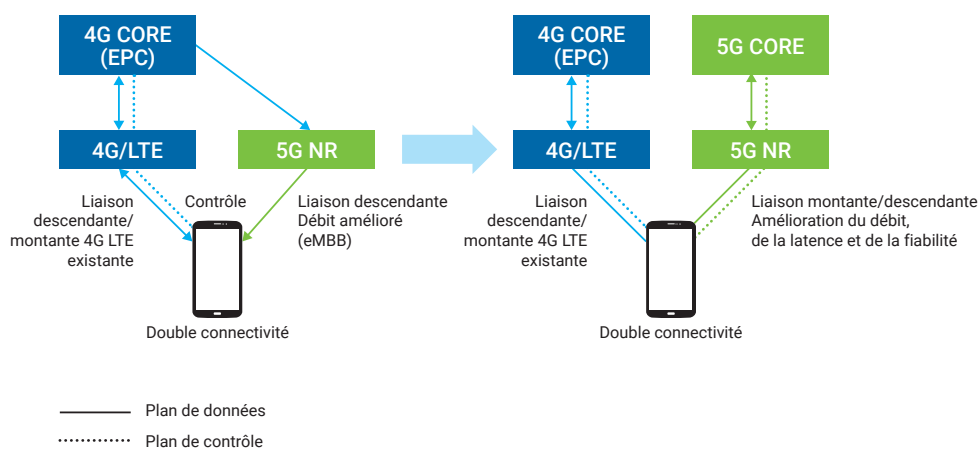
Cette architecture 5G non autonome (NSA) permet à un système 5G NR d'utiliser la 5G pour la communication entre la radio et le combiné (liaison descendante ou DL) tout en s'appuyant sur la communication 4G existante pour la communication entre le combiné et la tête radio en liaison montante (ou UL)

Ces nouvelles technologies nécessitent des tests pour s'assurer que le réseau peut répondre aux demandes des utilisateurs finaux - et tout cela doit être réalisé en supportant l'infrastructure 4G et l'infrastructure existante.

Dans ce livre blanc, nous donnons un aperçu de ces technologies et de leur rôle dans la mise en oeuvre d'un réseau 5G.

## L'évolution de la 4G à la 5G

Fin décembre 2017, l'organisme de normalisation 3GPP a approuvé un ensemble provisoire de spécifications pour les réseaux 5G axés sur la mise en oeuvre de fonctionnalités de haut débit mobile amélioré (eMBB). Cette spécification provisoire a défini la nouvelle radio 5G (5G NR) et une manière de tirer parti du réseau 4G existant pour fournir une bande passante améliorée et une latence légèrement améliorée. Cette architecture 5G non autonome (NSA) permet à un système 5G NR d'utiliser la 5G pour la communication entre la radio et le combiné (liaison descendante ou DL) tout en s'appuyant sur la communication 4G existante pour la communication entre le combiné et la tête radio en liaison montante (ou UL). Les fonctions eMBB sont les premières qui seront offertes par les réseaux 5G. L'architecture 5G NSA sera suivie par l'architecture 5G standalone (SA), qui permettra des applications à très faible latence (uRLLC) et des communications massives de machine à machine (mMTC). Comme le montre la figure 2, cette version prendra en charge l'ensemble du coeur de réseau, c'est-à-dire la 5G aux niveaux UL et DL, et apportera des améliorations supplémentaires en matière de latence et de connectivité des appareils.



Lors du déploiement des réseaux 4G, nous avons assisté à la migration de l'architecture du réseau d'accès radio (RAN) vers un réseau d'accès radio distribué (D-RAN) où les câbles coaxiaux en cuivre ont été remplacés par des fibres optiques – appelées fibres jusqu'à l'antenne (FTTA). Cette transformation a entraîné la séparation des éléments radio, généralement appelés tête radio distante (RRH), et des fonctions de bande de base, généralement appelées unité de bande de base (BBU). Ces éléments étaient reliés entre eux par l'un des deux protocoles de communication RF numériques concurrents : l'interface radio publique commune (CPRI) et l'initiative d'architecture de base ouverte (OBSAI). Ces éléments sont généralement appelés technologie fronthaul (voir figure 3). Cette séparation des fonctions RRH et BBU a également permis de regrouper plusieurs BBU, provenant de plusieurs sites cellulaires, en un seul endroit afin d'économiser sur les coûts d'infrastructure, créant ainsi une architecture RAN centralisée (C-RAN).



## Interfaces 5G

Pour améliorer le débit de la connexion fronthaul, la 5G introduit l'eCPRI, un nouveau protocole pour connecter l'UA à l'EF. L'eCPRI utilise Ethernet comme couche physique et fonctionne sur une connexion FTTH. Cela permet d'obtenir des débits de liaison plus rapides de 10 Gbit/s et 25 Gbit/s, et d'utiliser plus efficacement la bande passante du fronthaul.

La communication entre le CU et le DU est couverte par une autre pile de protocoles basée sur Ethernet appelée interface F1. Comme les fonctions RU, DU et même CU peuvent être regroupées dans un seul appareil, les sites cellulaires peuvent être connectés au reste de l'infrastructure par l'une ou l'autre de ces interfaces, en fonction de l'architecture de réseau choisie par l'opérateur.



L'informatique mobile en périphérie (MEC) permet à l'opérateur de rapprocher les ressources informatiques de la périphérie du réseau.

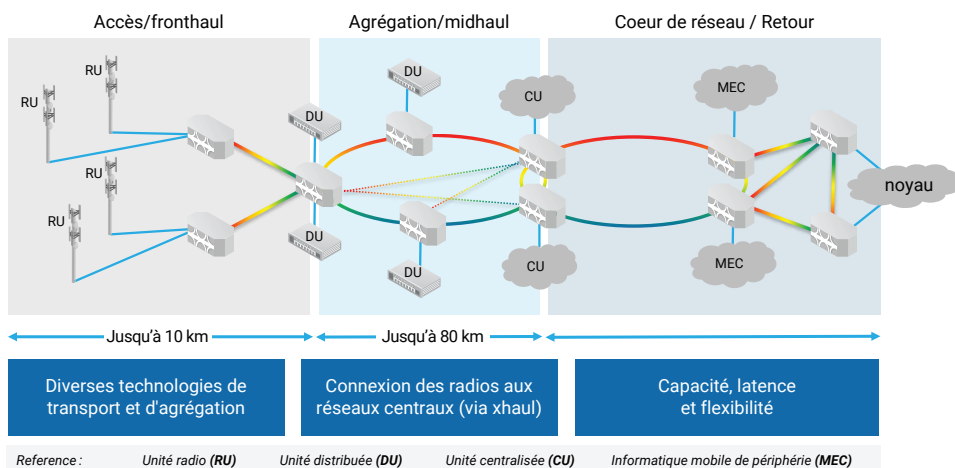


Figure 5. Composants du réseau Xhaul

Une autre amélioration architecturale s'appelle l'informatique mobile en périphérie (MEC). Le MEC permet à l'opérateur de rapprocher les ressources informatiques de la périphérie du réseau. Cela présente deux avantages. Tout d'abord, la latence est réduite, ce qui permet des temps de réponse plus rapides pour les applications. Deuxièmement, la réduction du nombre de paquets transitant par le coeur du réseau permet de réduire l'encombrement de ce dernier.

## Comparaison des sites cellulaires 4G et 5G

### Sites cellulaires 4G

Les têtes radio télécommandées 4G (RRH) sont généralement montées au sommet des tours cellulaires ou sur les toits des bâtiments. La possibilité de couvrir une vaste zone géographique en utilisant des fréquences radio dans le spectre inférieur à 3 GHz était idéale pour ces installations. Un secteur unique se compose d'un RRH connecté par l'intermédiaire d'un dispositif SFP (Small Form Factor Pluggable) à une liaison CPRI unique utilisant un câble optique entre le RRH et un autre dispositif SFP dans la BBU. Un court câble de liaison coaxial relie les ports de sortie RF du RRH à l'antenne. Un seul site cellulaire peut couvrir une portée d'environ 10 km.



Les cellules 5G utilisant les ondes millimétriques entraîneront une densification du nombre de sites cellulaires nécessaires pour couvrir la même zone géographique.

La séparation des fonctions RRH et BBU a permis d'éliminer les câbles coaxiaux à haute perte qui courent le long des tours, réduisant ainsi les besoins en puissance des amplificateurs, ce qui a permis de réduire les besoins en chauffage, ventilation et climatisation ainsi qu'en alimentation de secours.

Cependant, le manque de spectre contigu autour des bandes de fréquences 4G limite la quantité de bande passante qui peut être offerte à l'utilisateur final.

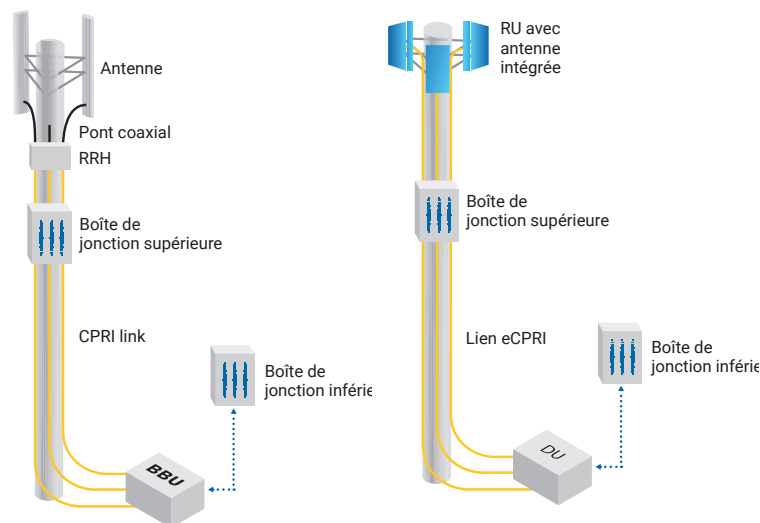


Figure 6. RRH 4G typique

Figure 7. EF 5G typique

## Sites cellulaires 5G

La 5G propose deux gammes de fréquences : FR1 (450-7125 MHz) et FR2 (24250-52600 MHz). Les fréquences FR1 offrent des largeurs de canaux allant jusqu'à 100 MHz, en fonction du spectre détenu par l'opérateur, tandis que les fréquences FR2 – appelées ondes millimétriques (mmWave) – se situent dans une zone moins encombrée du spectre de fréquences et permettent des largeurs de canaux allant jusqu'à 400 MHz. Plus la largeur de bande est importante, plus le débit potentiel de la cellule est élevé.

Toutefois, plus la fréquence est élevée, plus la distance parcourue par le signal RF est courte. Les cellules 5G utilisant l'onde millimétrique verront donc une densification du nombre de sites cellulaires nécessaires pour couvrir la même zone géographique. Cette densification est également nécessaire pour prendre en charge la capacité plus élevée pour le nombre d'appareils connectés qu'offre la 5G.

Les UR utilisant les ondes millimétriques sont généralement montées sur des lampadaires, des poteaux électriques ou sur les côtés des bâtiments. Cela s'explique par les distances relativement courtes que les ondes millimétriques peuvent supporter. Un seul site peut couvrir une distance de quelques centaines de pieds seulement.

Dans de nombreuses EF 5G, l'antenne sera intégrée à l'EF (voir figure 7). Cela s'explique par le MIMO massif et les fréquences mmWave qui font partie de la 5G.

## Timing et synchronisation



Les limites temporelles spécifiques à chaque réseau dépendent de l'architecture du réseau et du type d'applications prises en charge.

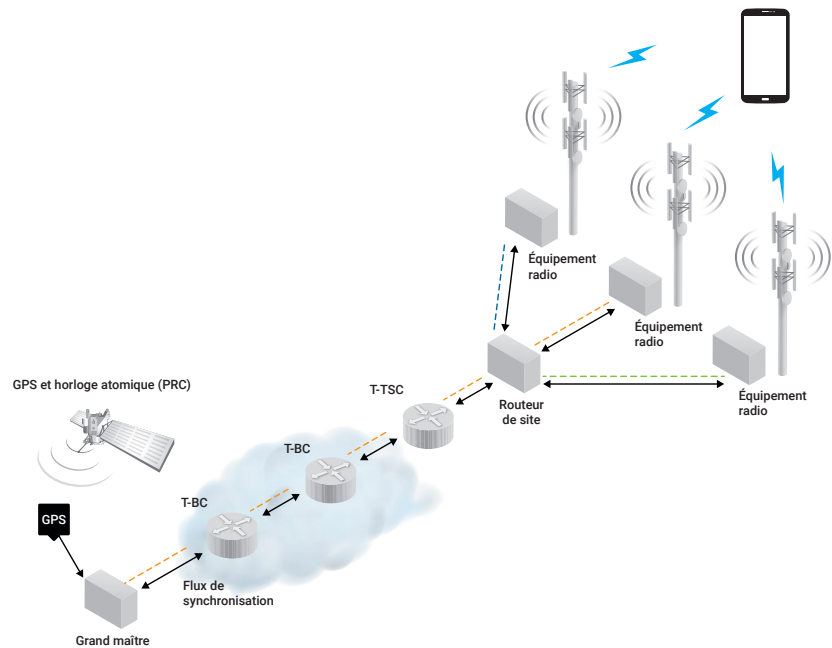


Figure 8. Timing et synchronisation 5G

La densification du réseau dans la 5G et le positionnement des petites cellules 5G dans les zones urbaines posent également de nouveaux défis en matière de synchronisation du réseau. La LTE Advanced et la 5G imposent déjà des exigences plus strictes en matière de synchronisation au réseau fronthaul pour des technologies telles que la coordination multipoint (CoMP), les services de localisation d'urgence (par exemple, E911) et l'utilisation du duplexage par répartition dans le temps (TDD) dans la transmission et la réception RF.

En mode TDD, la même fréquence est utilisée pour la transmission et la réception des données. Les sites cellulaires adjacents doivent transmettre ou recevoir dans les fenêtres temporelles convenues. Si un site cellulaire émet pendant une fenêtre de réception, il y a interférence. Pour éviter cela, une précision temporelle absolue d'environ 1,5  $\mu$ s est requise entre le cœur et l'EF.

Le principe du CoMP est de permettre à un utilisateur de communiquer simultanément avec plusieurs sites cellulaires géographiquement séparés, dans le but d'améliorer les performances du système et la qualité du service. La synchronisation est essentielle pour pouvoir réconcilier les signaux reçus sur les sites cellulaires de coordination. Le CoMP exige une précision temporelle relative entre ces sites de l'ordre de 260 ns à 350 ns.

Les services de localisation d'urgence reposent sur la technologie OTDOA (différence de temps d'arrivée observée), dans laquelle l'UE mesure la différence de temps d'arrivée du signal de référence de positionnement (PRS) entre une cellule de référence et plusieurs cellules voisines. Plus la mesure du temps est précise, plus les informations de localisation sont précises. La précision temporelle requise pour répondre aux exigences des applications basées sur la technologie OTDOA peut être aussi faible que 100 ns.

Dans tous les cas, la nécessité d'une synchronisation stable, précise et fiable est une condition essentielle au bon fonctionnement du réseau.



La technologie des entrées et sorties multiples peut être utilisée pour augmenter la capacité d'une tête radio et la fiabilité de la transmission sans fil.

L'utilisation d'un récepteur GNSS (Global Network Satellite System) pour fournir la synchronisation à chaque site cellulaire serait coûteuse et pas toujours pratique lorsque les sites des petites cellules ne sont pas reliés à un nombre suffisant de satellites, comme cela peut être le cas dans un centre ville (par exemple, San Francisco ou New York City).

Les réseaux 5G utiliseront IEEE1588/Precision Time Protocol (PTP) et SyncE pour permettre aux sites cellulaires d'être synchronisés à la fois en fréquence et en phase, en utilisant le réseau Ethernet pour distribuer ces informations à chaque site cellulaire et garantir que tous les appareils sont synchronisés les uns avec les autres (voir figure 8).

Les limites temporelles spécifiques à chaque réseau dépendent de l'architecture du réseau et du type d'applications prises en charge.

## MIMO massif

La technologie des entrées et sorties multiples (MIMO) peut être utilisée pour augmenter la capacité d'une tête radio et la fiabilité de la transmission sans fil. La technique la plus couramment utilisée est la diversité spatiale, qui permet aux ondes radio d'être transmises le long de plusieurs chemins vers plusieurs antennes, augmentant ainsi la probabilité qu'en cas de défaillance d'un chemin, les autres chemins puissent fournir un signal suffisant pour maintenir la connexion, ce qui accroît la fiabilité.

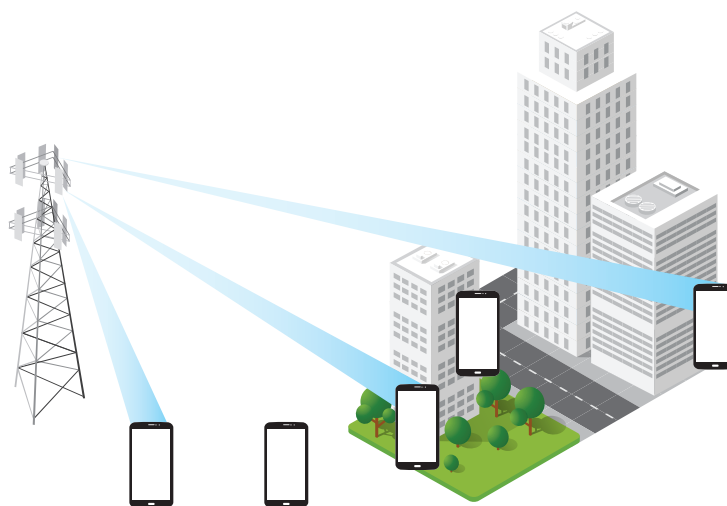


Figure 9. Formation de faisceaux

Dans la 4G, les configurations à deux émissions et deux réceptions (2x2) et à quatre émissions et quatre réceptions (4x4) sont les plus répandues. Pour augmenter la capacité, on peut utiliser la capacité du MIMO à utiliser le multiplexage spatial pour transmettre des informations différentes sur ces chemins multiples, sur la même fréquence, sans interférence. Dans la 5G MIMO massive (mMIMO), des réseaux d'antennes de taille supérieure à 64x64 sont mis en oeuvre. Les RU 5G supportant le mMIMO ont des réseaux d'antennes intégrés en raison des problèmes de câblage et de connecteur qui se poseraient autrement en connectant une antenne séparée, et en raison des pertes de signal qui se produiraient aux fréquences FR2. Cela permet d'éliminer le câble coaxial utilisé dans les configurations MIMO plus petites.

L'utilisation de la technologie mMIMO facilite également l'utilisation de la technologie de formation de faisceaux qui permet à l'EF de concentrer l'énergie RF d'un sous-ensemble du réseau MIMO vers un UE spécifique.



## Architecture du réseau 5G

L'architecture d'un site cellulaire 5G dépend du découpage architectural choisi par l'opérateur de réseau mobile (ORM). Les normes 3GPP et eCPRI proposent plusieurs options, ou divisions, de la fonctionnalité sur la base des blocs de construction illustrés à la figure 10. Les différentes fonctions peuvent alors être exécutées par l'UC, l'UD ou l'EF, selon l'option choisie. Quelques exemples des répartitions les plus courantes sont présentés ci-dessous.



Au fur et à mesure que nous avançons dans la 5G, nous verrons apparaître des normes supplémentaires qui permettront l'interopérabilité entre les systèmes d'information et de communication.

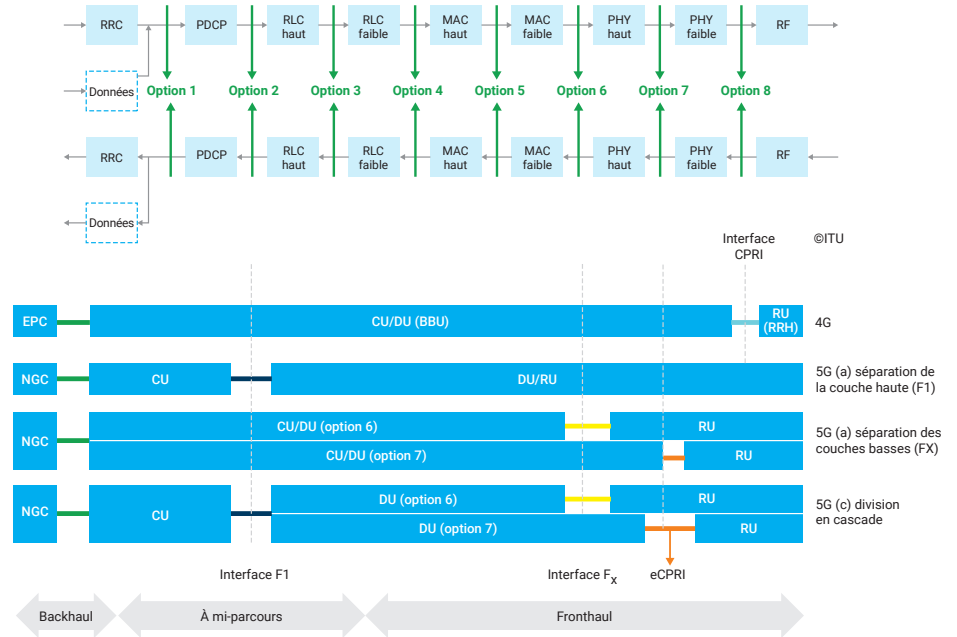


Figure 10. Répartition des fonctions du 3GPP et de l'eCPRI en fonction des CU/DU/RU

Le choix de l'option à utiliser dépend des exigences de débit et de latence souhaitées pour l'ensemble du réseau. La figure 11 donne quelques exemples des performances attendues.

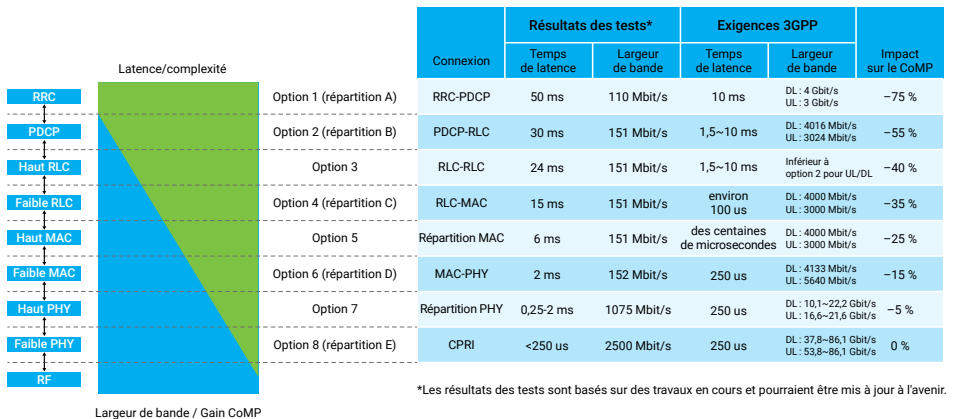


Figure 11. Caractéristiques de débit et de latence des options de découpage du réseau



La 5G introduit le concept de découpage du réseau qui évite de devoir construire des réseaux distincts avec des architectures différentes pour répondre aux exigences des diverses applications en matière de latence et de débit.

La séparation des fonctions de réseau entre CU, DU et RU nécessite la définition d'une norme supplémentaire pour l'interconnexion de ces dispositifs. Tout comme la séparation des fonctions RRH et BBU a introduit l'utilisation du protocole CPRI, les nouvelles séparations fonctionnelles introduisent eCPRI et F1, tous deux basés sur la technologie Ethernet. Traditionnellement, les dispositifs utilisés pour mettre en oeuvre les fonctions du réseau sont fournis par un seul fabricant. Au fur et à mesure que nous avançons dans la 5G, nous verrons apparaître des normes supplémentaires qui permettront l'interopérabilité entre des équipements multifournisseurs. Des initiatives telles que le réseau d'accès radio ouvert (O-RAN) et le Telecom Infra Project (TIP), entre autres, travaillent activement à la réalisation de cet objectif, avec des déploiements initiaux prévus pour la fin de l'année 2020. EXFO participe activement à ces organisations et soutiendra l'équipement de test pour les appareils conformes au fur et à mesure que le marché évolue.

## L'avenir de la 5G

Non seulement les futures mises en oeuvre de la 5G prendront en charge différentes répartitions du réseau, mais elles permettront également aux ORM de sélectionner les meilleurs appareils pour mettre en oeuvre cette répartition parmi une sélection de plusieurs fournisseurs.

La 5G introduit le concept de découpage du réseau qui évite de devoir construire des réseaux distincts avec des architectures différentes pour répondre aux exigences des diverses applications en matière de latence et de débit. Cela permet de diviser la bande passante du réseau physique en de nombreuses tranches, chaque tranche étant dédiée à la fourniture d'une capacité spécifique.

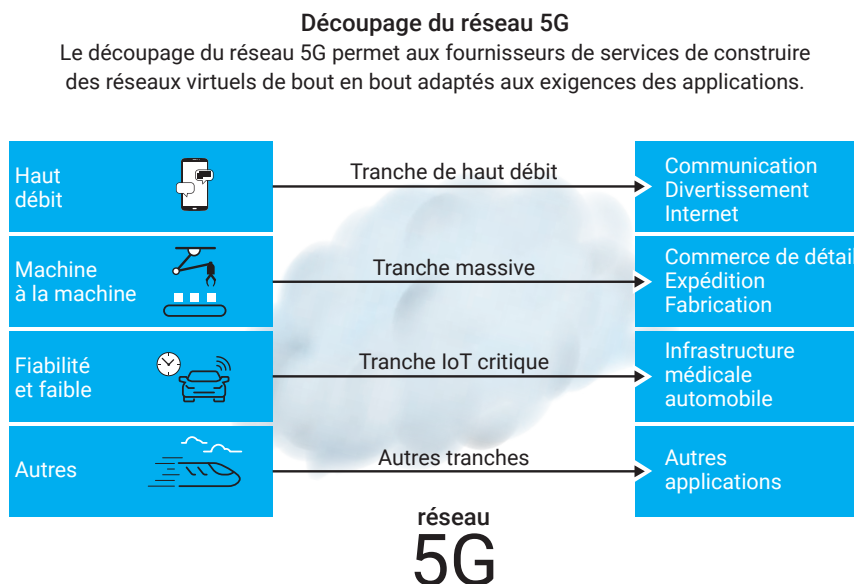


Figure 12. Découpage du réseau

## Virtualisation du réseau

La virtualisation des fonctions du réseau (NFV) est un autre concept auquel la 5G adhère. Imaginez que chacune des fonctions d'un réseau 5G puisse être modélisée dans un logiciel et devienne une fonction de réseau virtualisée (VNF), et que ces modèles puissent être couplés ensemble, à l'aide des protocoles de communication normalisés décrits ci-dessus, pour créer un modèle complet de tout ou partie du réseau. Si nous virtualisons également le

## Ressources complémentaires

Découvrez nos produits

[FTB 5GPro – Solution de test 4G et 5G complète et tout-en-un](#)

[5GPro Spectrum Analyzer – Analyseur de spectre de radiofréquences \(RF\)](#)

[Temporisation et synchronisation – Solution de test 1588 PTP et SyncE](#)

[Nova SkyRAN – Accès à distance aux réseaux FTTA, RRH et DAS et monitoring](#)

Lire notre article de blog

[On the road to 5G: upgrading the transport network \(en anglais\)](#)

[Déploiement du réseau 5G fronthaul – Pourquoi les tests en laboratoire de l'eCPRI et du CPRI sont essentiels](#)

[RF et nouvelles fréquences radio 5G : réponses aux 5 principales questions](#)

matériel informatique (c'est-à-dire que nous fournissons une interface commune, quel que soit le matériel sous-jacent), nous pouvons alors faire fonctionner le réseau sur du matériel informatique standard, appelé « boîte blanche », ce qui réduit les coûts globaux du réseau.

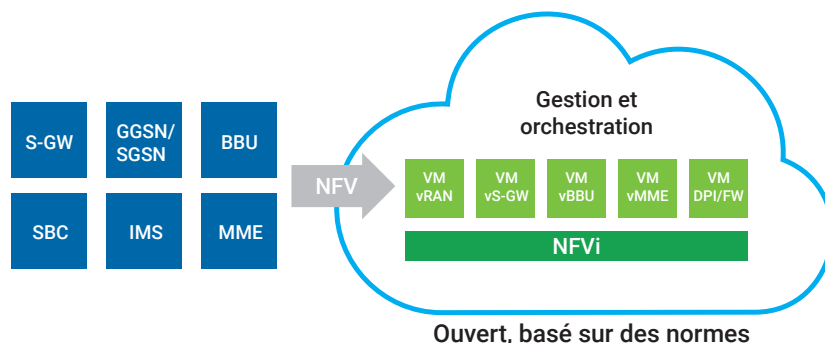


Figure 13. Virtualisation et orchestration de la fonction réseau

Un autre concept de la NFV est le processus d'orchestration. Pour créer des services hautement fiables et évolutifs, la NFV exige que le réseau soit en mesure de créer de nouvelles instances de VNF et de surveiller, réparer et facturer les services rendus. Ces fonctions sont attribuées à une couche d'orchestration afin de garantir une disponibilité et une sécurité élevées, avec des coûts d'exploitation et de maintenance faibles. Il est important que la couche d'orchestration soit capable de gérer les VNF de différents fournisseurs, indépendamment de la technologie sous-jacente utilisée, ce qui permet à l'utilisateur final de choisir les VNF nécessaires à la construction de son réseau.

Une autre technologie complémentaire est le réseau défini par logiciel (SDN). Dans le SDN, les plans de contrôle et de données de l'équipement de réseau sont séparés, ce qui permet de configurer l'équipement de réseau par l'intermédiaire d'un contrôleur SDN qui ferait partie de la fonction d'orchestration. Cela permettrait à l'ORM de modifier la configuration du réseau par le biais de l'orchestration lors de la définition de nouveaux services virtuels.

À terme, lorsque le réseau mobile sera virtualisé, l'ORM pourra créer dynamiquement de nouvelles tranches de réseau et de nouveaux services à l'aide d'outils logiciels, ce qui permettra de gagner du temps et d'économiser les ressources associées au déploiement de matériel propriétaire.

## Conclusion

Comme vous pouvez le constater, la 5G est bien plus qu'une simple amélioration de la vitesse du réseau, car elle apporte de nombreux changements à la manière dont les réseaux mobiles sont mis en oeuvre et utilisés. Ce meilleur des mondes s'accompagne également de nouveaux défis en matière de construction, d'exploitation et de maintenance de ces réseaux.

Plutôt que d'être une solution unique mise en oeuvre par tous les opérateurs, la 5G offre une sélection de caractéristiques parmi lesquelles les opérateurs peuvent choisir. Les opérateurs choisiront différentes solutions en fonction du coût, de la couverture, de la latence, du débit et d'autres paramètres nécessaires pour répondre aux besoins de leurs clients et à leurs objectifs opérationnels. Par exemple, en Amérique du Nord, nous voyons des réseaux 5G mis en oeuvre pour fournir la plus grande couverture, mais avec un débit plus faible, ainsi que des réseaux qui fournissent une couverture limitée mais avec un débit très élevé. Cette situation évoluera au fur et à mesure que les opérateurs mobiles étendront leur couverture 5G.

À mesure que les capacités de la 5G s'étendent au-delà d'un débit plus élevé, pour inclure une faible latence et une capacité accrue, de nouvelles applications utilisateur seront développées, en particulier dans les domaines des véhicules intelligents et des appareils intelligents connectés par le réseau mobile.

EXFO continue de participer activement au processus de normalisation de la 5G et fournit des outils et des innovations qui vous aideront à relever les défis à venir. N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des questions ou si vous souhaitez obtenir de plus amples renseignements.

## Glossaire

<b>3D</b>	tridimensionnel	<b>mMIMO</b>	MIMO massif
<b>3GPP</b>	projet de partenariat de 3 <sup>e</sup> génération	<b>mMTC</b>	communication massive de machine à machine
<b>5G NR</b>	5G nouvelle radio	<b>mmWave</b>	ondes millimétriques
<b>BBU</b>	unité de bande de base	<b>MNO</b>	opérateur de réseau mobile
<b>CoMP</b>	multi-points coordonnés	<b>NFV</b>	virtualisation des fonctions de réseau
<b>CPRI</b>	interface commune des radios publiques	<b>NSA</b>	non autonome
<b>C-RAN</b>	RAN centralisé	<b>OBSAI</b>	initiative sur l'architecture ouverte des stations de base
<b>CU</b>	unité centralisée	<b>O-RAN</b>	RAN ouvert
<b>DL</b>	liaison descendante	<b>OTDOA</b>	différence de temps d'arrivée observée
<b>D-RAN</b>	RAN distribué	<b>PRS</b>	signal de référence de positionnement
<b>DU</b>	unité distribuée	<b>PTP</b>	protocole de temps de précision
<b>eCPRI</b>	CPRI amélioré	<b>RAN</b>	réseau d'accès radio
<b>eMBB</b>	haut débit mobile amélioré	<b>RF</b>	radiofréquence
<b>EPC</b>	noyau de paquets évolués	<b>RRH</b>	tête radio à distance
<b>FTTA</b>	fibre jusqu'à l'antenne	<b>RU</b>	unité distante
<b>GNSS</b>	système global de navigation par satellite	<b>SA</b>	autonome
<b>HD</b>	haute définition	<b>SDN</b>	réseau défini par logiciel
<b>HVAC</b>	chauffage, ventilation et climatisation	<b>SFP</b>	petit facteur de forme enfichable
<b>IEEE</b>	Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens	<b>SyncE</b>	Ethernet synchrone
<b>IoT</b>	Internet des objets	<b>TDD</b>	duplex à division temporelle
<b>LAN</b>	réseau local	<b>TIP</b>	projet d'infrastructure de télécommunications
<b>LTE</b>	évolution à long terme	<b>UL</b>	liaison montante
<b>MEC</b>	informatique mobile en périphérie	<b>uRLLC</b>	communication ultra-fiable à faible latence
<b>MIMO</b>	entrée multiple sortie multiple	<b>VNF</b>	fonction réseau virtualisée

EXFO compte plus de 2000 clients dans plus de 100 pays.

Pour obtenir les coordonnées de votre bureau local, veuillez consulter le site [EXFO.com/fr/contactez-nous](https://www.exfo.com/fr/contactez-nous).