

FIBRE OPTIQUE ET 5G... unies pour le meilleur

Jean-Michel MUR
Président d'honneur
du Club fibres optiques et réseaux
jm.mur@orange.fr

La 5^e génération des réseaux de communication pour mobiles – 5G – a des caractéristiques qui nécessiteront la densification des cellules, synonyme de déploiement de plusieurs millions de kilomètres de fibres optiques. Explications...

Aujourd'hui, la 4^e génération des réseaux de communication pour mobiles – 4G ou *long term evolution* (LTE) – est amplement installée et montre ses capacités en termes de diversité d'applications et en débits, dont la transmission de contenus vidéo. La prochaine étape s'appelle 5G. De par ses caractéristiques, elle va nécessiter l'implantation de cellules de très petites tailles desservies par des fibres optiques, d'où des millions de kilomètres de fibres à déployer. Une récente étude de The Fiber Broadband Association indique : « *We estimate that 1 390 816 miles of fiber cable would be required to provide full 5G service to just the Top 25 metropolitan land areas in the United States.* » Pourquoi autant de fibres et comment ?

Pourquoi autant de fibres ?

Le pourquoi vient des nouvelles caractéristiques proposées par la 5G qui sont nettement plus performantes que celles de la 4G (cf. encadré 1 – Caractéristiques 5G versus 4G) : des débits utiles de 100 Mbit/s par usager, avec des pics de débits gigabitaires, des temps de latence de l'ordre de la

milliseconde, des vitesses de déplacement élevées et, surtout, la capacité de connexion simultanée de plusieurs dizaines de milliers d'équipements par kilomètre carré. En quelque sorte un nouvel écosystème de société mobile et connectée, créateur de valeur ajoutée entre utilisateurs et partenaires via de nouveaux usages, d'expériences enrichies et de modèles de développement durable. Pour faire face à cela, il faudra multiplier le nombre de cellules d'autant plus que les bandes de fréquences retenues en Europe et en France nécessiteront fréquemment l'implantation d'antennes relais supplémentaires pour couvrir l'intérieur des bâtiments. Ainsi, The Fiber Broadband Association estime que chaque dixième de cellule 4G sera remplacée par une soixantaine de femtocellules 5G, cf. figure 1.

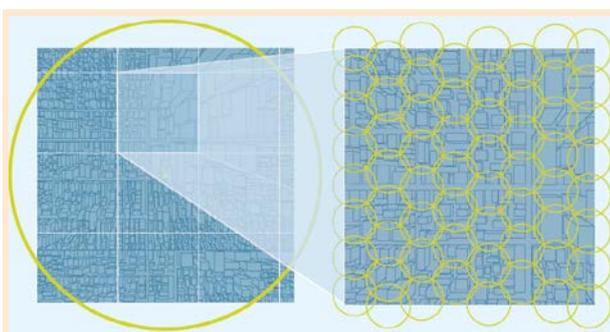


Figure 1. Chaque dixième de cellule 4G serait remplacé par une soixantaine de femtocellules. (Source : Fiber Broadband Association)

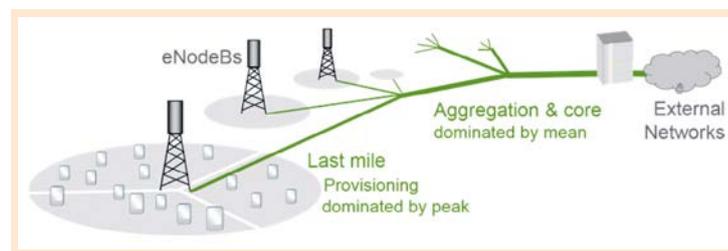


Figure 2. Schéma du réseau de transport (UIT-R M.2375-0, p. 54)

Quid des investissements précédents ?

Le déploiement des services de la 5G se fera concomitamment à celui des réseaux en fibres optiques associés, fibres qui apporteront leur bande passante supportant des débits jusqu'à plusieurs téraoctets par seconde. Ce sera l'occasion d'installer des millions de kilomètres de fibres optiques dans toutes les tailles de réseaux : longues, moyennes et courtes distances et cela jusqu'à l'antenne (application *fiber to the antenna* – FTTA). Ce réseau de fibres pour la 5G ne sera à créer qu'en partie car, heureusement pour les exploitants de réseaux, les investissements déjà réalisés pour desservir nombre de stations de base et agréger les trafics des générations 2G, 3G et 4G seront réutilisables. En effet, d'une part, les fibres optiques peuvent supporter plusieurs services simultanément, entre autres à travers le multiplexage dense par répartition en longueur d'onde (*dense wavelength division multiplexing* – DWDM), technique bien maîtrisée, et, d'autre part, grâce à la technologie du réseau optique passif (*passive optical network* – PON), il sera possible, à partir d'une seule fibre, de desservir jusqu'à une centaine de sites radio. Cette technologie PON sera mise

à contribution, entre autres à travers la deuxième « nouvelle génération » NG-PON2 à 40 Gbit/s.

Cela étant et compte tenu de ses caractéristiques, la nouvelle génération 5G va affecter les réseaux en fibres optiques à trois niveaux : l'infrastructure, les protocoles de transmission et la sécurisation.

Infrastructures et protocoles

Pour l'infrastructure et les liaisons de bout en bout, on peut considérer trois niveaux : le réseau d'accès radio (*radio access network* – RAN), les nœuds de réseaux et le réseau d'agrégation. Côté RAN, l'architecture devra supporter un grand nombre d'options en ce qui concerne les schémas de coordination entre cellules. Une solution possible sera la technologie de réseau auto-organisé (*self-organizing network* – SON) qui permettra aux exploitants de réseaux d'améliorer l'efficacité de leurs coûts d'exploitation (Opex) en s'appuyant sur des réseaux multicouches et de nouvelles technologies d'accès radio (*radio access technologies* – RAT). Pour les

nœuds de réseau, le maître mot sera la flexibilité car ils devront s'adapter aux fortes variabilités du nombre d'équipements connectés simultanément et des débits demandés. Pour cette flexibilité, les reconfigurations des nœuds de réseaux seront assurées grâce à une architecture basée sur des fonctions logicielles (*software defined network* – SDN) et des fonctions de virtualisation (*network function virtualization* – NFV). Enfin, l'agrégation des segments de réseaux interconnectant les réseaux fixes terrestres et mobiles sera assumée par le *mobile backhaul network* (MBH). C'est sur ce MBH que reposeront, à des degrés divers, la croissance de la capacité des débits demandés, la disponibilité d'accès, les performances en temps de latence, etc. Dans le rapport UIT-R M.2375-0 « *Architecture and topology IMT networks* », l'Union internationale des télécommunications (UIT) propose de différencier les débits de crête (soit 20 Gbit/s par nœud) et les débits moyens (fonction du nombre de stations de base desservies) demandés par les utilisateurs afin de calculer les tailles des « tuyaux » du réseau de transport (cf. *figure 2* – Schéma du réseau de transport).

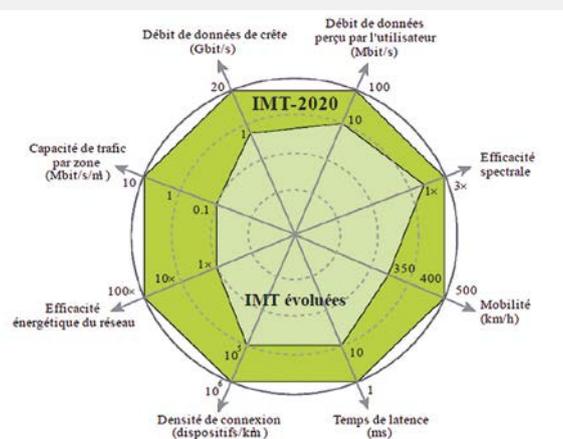
Côté protocoles de transmission, pour répondre à la demande croissante des débits proposés par la 5G, les divers types d'Ethernet seront mis à contribution : de l'Ethernet à 1 Gbit/s (1 GbE) à l'Ethernet à 100 Gbit/s (100 GbE), jusqu'au récent Ethernet à 400 Gbit/s (400 GbE). Le choix dépendra des projections de demande de trafic des cellules, des macrocellules aux femtocellules, et du cœur de réseau qui agrègera le trafic des différents sites cellulaires. Ce dernier dépendra de manière significative des contenus échangés entre les divers centres de données voire entrepôts de données (*data warehouse*, aussi appelés *mammoth data centers*). À noter la notion de « *network slicing* » ou « découpage en tranches » du réseau qui permet aux exploitants de réseaux mobiles (*mobile network operator* – MNO) de gérer différents réseaux virtuels publics ou privés (*virtual private network* – VPN). Ce découpage assure l'adaptation, en temps réel, des caractéristiques du réseau aux besoins demandés par les utilisateurs en termes de capacité, latence, fiabilité, etc.

Caractéristiques clés de la 5G versus 4G

La nouvelle génération de radiocommunications mobiles – IMT-2020 ou 5G – présente des caractéristiques nettement améliorées par rapport à la 4G (IMT évoluées). Quelques exemples...

CARACTÉRISTIQUES	4G	5G
Capacité de trafic par zone		
en Mbit/s/m ²	0,1	10
Débit de crête pour l'utilisateur en Gbit/s	1	20
Débit utile moyen pour l'utilisateur en Mbit/s	10	100
Vitesse de déplacement maximum de l'utilisateur en km/h	350	500
Temps de latence soit délai aller-retour de bout en bout en ms	10	1
Nombre d'équipements connectés simultanément par km	105	106

Source : Recommandation UIT-R-REC-M.2083-0-201509, p. 19.



Il est important de noter que ces caractéristiques sont des maxima qui ne seront pas toutes actives simultanément mais seront « glissantes » en fonction des usages (*network slicing*) à travers trois scénarios majeurs : (1) les terminaux mobiles à très haut débit, jusqu'à 1 Gbit/s pour la vidéo à ultra haute définition ; (2) les communications de machines à machines, en très grand nombre, pour les applications de domotique, de la ville intelligente, de l'Internet des objets et autres services ; (3) les communications ultra-fiables entre des machines à très faible temps de latence utilisées dans les applications industrielles, la sécurité, les véhicules connectés, etc.

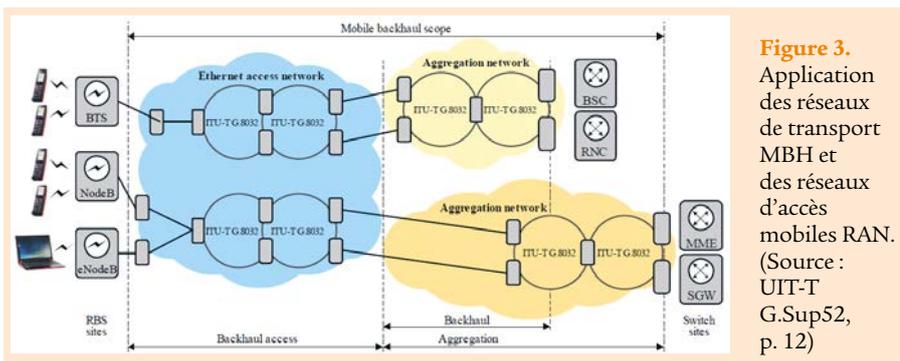


Figure 3. Application des réseaux de transport MBH et des réseaux d'accès mobiles RAN. (Source : UIT-T G.Sup52, p. 12)

Fiabilité et redondance

La 5G devra assurer la communication entre des équipements demandant un haut niveau de fiabilité de la liaison et un temps de latence d'une milliseconde seulement ! Ainsi, les taux de disponibilité, les niveaux de protection du réseau ou les redondances devront être assurés sur deux plans : la redondance des équipements de l'architecture du réseau et du réseau lui-même via des sous-réseaux, le tout couplé à la redondance des équipements nécessaires à leur bon fonctionnement.

Côté architecture, les réseaux de transport de la 5G pourraient s'appuyer, par exemple, sur la recommandation UIT-T G.8032, et son supplément G.Sup52, tous deux intitulés *Ethernet ring protection switching*. Ils traitent des anneaux et sous-anneaux Ethernet intervenant dans les réseaux de transport MBH et les réseaux d'accès RAN (cf. figure 3 – Application de réseaux MBH et RAN). Ils définissent, entre autres, des schémas de composition et divers mécanismes dont le protocole de commutation de protection automatique (*automatic protection switching* – APS). Pour l'UIT, cette architecture de connectivité sur des zones géographiques étendues est économique car elle diminue le nombre de liens nécessaires par rapport à d'autres architectures comme l'étoile, l'arbre, etc.

La partie fiabilité des équipements nécessaires au fonctionnement des réseaux sera assurée de manière très conventionnelle par la redondance desdits équipements. Ainsi, on retrouvera la duplication des classiques onduleurs, batteries, climatiseurs, etc. bien connus et maîtrisés par les exploitants de réseaux.

Mais, le point dur tient au temps de latence d'une milliseconde à rapporter à la vitesse de la lumière dans la fibre et aux divers délais d'interconnexion des équipements de recherche et de transmission des informations. Cela nécessitera de repenser la localisation des contenus, services, applications et autres fonctionnalités pour les rapprocher des utilisateurs. Là sera le vrai défi à relever par les exploitants de réseaux mobiles aussi bien sur le plan technique – comme insérer les possibilités de calcul du nuage dans les RAN – que sur le plan des investissements en dupliquant les centres de données et leurs contenus. D'autres exemples sont proposés par la

NGMN comme une configuration de RAN répartis (*distributed RAN* – D-RAN) avec une unité centralisatrice et des unités distribuées, toutes les couches du protocole radio arrivant sur le site de la cellule.

Un défi plus facile à relever par les MNO sera l'intégration de technologies telles que l'intelligence artificielle (IA) ou le transport en chaîne de blocs (*blockchain*). L'IA pourrait contrôler le réseau et rendre plus aisées les prises de décision concernant une congestion potentielle, une optimisation entre disponibilité et consommation énergétique, ou autre... La chaîne de blocs présentera un intérêt pour le contrôle de l'intégrité des données transmises, du partage des données, du développement de traçabilité, de la sécurisation des droits d'accès, etc.

Grands projets et premières expérimentations

Aux États-Unis, il est fait état des premiers déploiements de fibres et d'antennes rendant des services 5G disponibles dans cinq villes, offre de

5G et organisations majeures

3GPP - <https://www.3gpp.org>

Le Third Generation Partnership Project (3GPP) regroupe des organismes de standardisation, industriels et associations et mène des travaux sur les solutions techniques en parallèle avec celles de l'UIT.

5G-PPP - <https://5g-ppp.eu>

Le Fifth Generation Public Private Partnership (5G-PPP) est un partenariat public-privé, dédié à la 5G et doté de 700 millions d'euros de fonds public via l'Union européenne.

5G-IA - <https://5g-ppp.eu/5g-infrastructure-association/>

La 5G Infrastructure Association (5G-IA), côté « privé » dans la 5G-PPP, regroupe les acteurs en télécommunications et numérique.

GSMA - <https://www.gsma.com>

Association pour le développement des technologies mobiles dont la 5G qui compte plus de 800 exploitants de réseaux et 300 industriels.

NGMN - <https://www.ngmn.org>

La Next generation mobile network alliance (NGMN) regroupe plus de 200 exploitants de réseaux pour assurer un développement cohérent des services de communications mobiles dont la 5G.

UIT - <https://www.itu.int/>

Dans l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), un groupe traite les questions des radiocommunications mobiles : nomenclature IMT (International Mobile Telecommunications) dont l'IMT-2020 pour la 5G.

Verizon Communications, et dans une dizaine de villes par AT&T. Mais, l'Europe est également active car c'est dès 2013 que l'Union européenne s'est impliquée dans le développement de la 5G, à travers le programme de recherche Horizon 2020 et via une aide financière majeure de 700 millions d'euros apportée au partenariat public-privé 5G (*Fifth Generation Public Private Partnership* – 5G-PPP).

Trois projets sont illustratifs de cette volonté : « Euro 5G », « Vers l'Europe 5G » et « 5G-XHaul ». Le projet Euro 5G (*Euro 5G project*) s'est déroulé sur 27 mois à partir de juillet 2015, cf. <https://5g-ppp.eu/euro-5g/>. La France était représentée par l'opérateur Orange, le cabinet Idate et la société Interinnov. Il s'est poursuivi par Vers l'Europe 5G (*To-Euro-5G project*) qui a démarré en juin 2017 pour une durée de 30 mois avec l'objectif de supporter les travaux de la seconde phase du 5G-PPP, cf. <http://5g-ppp.eu/to-euro-5g/>. La France est présente à travers les trois mêmes entités que précédemment auxquelles s'est joint Alcatel Lucent Bell Labs France (Nokia). Quant au projet 5G-XHaul, son objectif est de rechercher une solution de réseau convergent basé sur la fibre optique et le sans-fil afin d'assurer une connexion flexible des petites cellules au cœur du réseau, cf. www.5g-xhaul-project.eu/.

De plus, le 18 mai 2018, l'organisation FTTH Council Europe a annoncé : « Nous allons lancer un nouveau projet sur la fibre pour la 5G afin de quantifier les opportunités de réduction de coûts en construisant un réseau convergent fibre-5G. Cela demande un changement de paradigme faisant tomber les cloisonnements

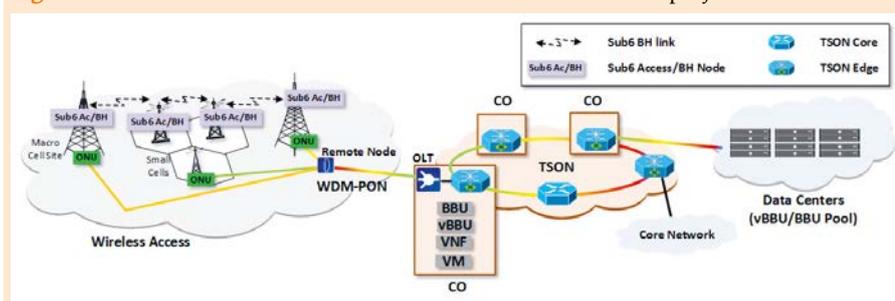
traditionnels entre réseaux "fixes" et "mobiles" et offrant une opportunité intéressante dans un investissement plus efficace pour connecter toute personne, en tout lieu, tout le temps ».

En parallèle, en France, l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (Arcep) a fait le choix de neuf métropoles éligibles à des tests sur la 5G : Lyon, Bordeaux, Lille, Douai, Montpellier, Nantes, Le Havre, Saint-Étienne et Grenoble. Ces villes disposent d'une large diversité de sites industriels, scientifiques, commerciaux... et, surtout, de la disponibilité des fréquences nécessaires. De par ses décisions, l'Arcep a autorisé les sociétés Orange et Bouygues Télécom à utiliser des fréquences dans la bande 3600–3700 MHz pour des expérimentations 5G et celles-ci sont en cours.

Conclusion

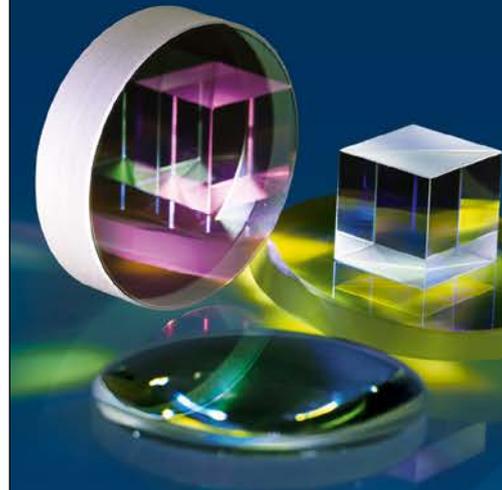
Dans son étude « *Optical Networking Opportunities in 5G Wireless Networks: 2017-2026* », le cabinet d'études de marché américain – Communication Industry Researchers (CIR) – prévoit que l'installation des réseaux en fibres optiques dédiés à la 5G devrait générer un marché de deux milliards de dollars en 2022, dont la moitié aux États-Unis. Cet optimisme sera à vérifier compte tenu des lourds investissements à faire par les opérateurs – simultanément – sur trois plans : assurer la montée constante des débits demandés par les abonnés actuels en fixe, mobile, Internet et vidéo ; apporter à un plus grand nombre d'utilisateurs la fibre jusqu'à l'habitation (*fiber to the home* – FTTH) ; et déployer les nouveaux équipements et services de la 5G !

Figure 4. Schéma de liaisons fibre basées sur le WDM-PON dans le projet 5G-XHaul.



COATING « IBS »

Optiques dédiées
« Lasers de Haute Puissance »



Miroirs haute réflectivité

LIDT > 40 J/cm² @ 1064 nm, 10 ns, 20 Hz

Polariseurs Couches Minces

Rapport de contraste T_p / T_s > 1000: 1

Lames semi-réfléchissantes de précision

Tolérance de réflectivité: ± 0.1%

Filtres dichroïques

R > 99.5% @ 1028 – 1080 nm

et T > 99% à 980 nm

R > 99.9% @ 1064 nm

et T > 99% à 808 nm

Revêtements AR large bande

R < 0.1% à 700 – 900 nm

ou 900 – 1100 nm

www.eksmaoptics.com

Représenté en France par:

ARDOP
INDUSTRIE

+33 1 69 63 26 09 | sales@ardop.com

www.ardop.com