

Poser les jalons de la 5G: perspectives et difficultés



Poser les jalons de la 5G: perspectives et difficultés

2018

Remerciements

Le présent rapport a été élaboré sous la supervision de M. Kemal Husenovic, Chef du Département des infrastructures, de l'environnement propice et des cyberapplications du Bureau de développement des télécommunications (BDT) de l'Union internationale des télécommunications (UIT), avec le concours de M. Iqbal Bedi, Intelligens Consulting, sous la direction de Mme Sofie Maddens, Cheffe de la Division de l'environnement réglementaire et commercial du BDT, et en collaboration avec la Division des technologies et des réseaux de télécommunication du BDT.

Le Bureau de la normalisation des télécommunications (TSB) et le Bureau des radiocommunications (BR) de l'UIT y ont également apporté une grande contribution. L'équipe du BDT de l'UIT comprenait notamment István Bozsóki, Desiré Karyabwite et Nancy Sundberg. L'équipe du BR comprenait notamment Mario Maniewicz, Philippe Aubineau, Sergio Buonomo, Joaquin Restrepo, Diana Tomimura et Nikolai Vassiliev. L'équipe du TSB comprenait notamment Bilel Jamoussi, Martin Adolph, Denis Andreev, Cristina Bueti, Tatiana Kurakova et Hiroshi Ota.

Les avis exprimés dans le présent rapport n'engagent que leurs auteurs et ne sont pas nécessairement partagés par l'UIT ou ses Membres.

ISBN

978-92-61-27582-2 (Version papier)

978-92-61-27592-1 (Version électronique)

978-92-61-27602-7 (Version EPUB)

978-92-61-27612-6 (Version Mobi)



Avant d'imprimer ce rapport, pensez à l'environnement.

© ITU 2018

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

J'ai l'honneur de présenter ce rapport intitulé *Poser les jalons de la 5G: perspectives et difficultés*, établi en collaboration avec le Bureau de la normalisation des télécommunications et le Bureau des radiocommunications de l'UIT. Ce rapport dresse un état des lieux à l'intention des décideurs, des autorités nationales de régulation et des opérateurs du secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC) alors que la mise en oeuvre des technologies 5G se concrétise. La 5G a un potentiel de transformation pour les personnes, les entreprises, les pouvoirs publics et les marchés. L'investissement est essentiel, mais de nombreux facteurs doivent être pris en considération avant que des fonds puissent être investis.

Ce rapport aide à cerner les problèmes liés à la 5G et fournit aux responsables s'apprêtant à prendre des décisions importantes en matière d'investissement dans les mois et années à venir une approche mesurée et concrète en la matière. Les seize questions principales ici présentées contiennent des informations essentielles et constituent une base solide pour tenter de se saisir des perspectives et des difficultés concernant la 5G.

En outre, ce rapport contribue à démystifier la 5G, permet de prendre la mesure du grand potentiel de la 5G et présente un ensemble de recommandations visant à aider les décideurs, les régulateurs et les opérateurs à collaborer efficacement, afin de surmonter les difficultés qui se posent et de tirer parti des nombreuses perspectives offertes par cette nouvelle technologie. On y trouve également des recommandations encourageant les décideurs à améliorer la disponibilité et la qualité des réseaux 4G jusqu'à ce que l'opportunité de la mise en place des réseaux 5G s'impose clairement.

Je remercie mes collègues, M. Chaesub Lee, Directeur du Bureau de la normalisation des télécommunications de l'UIT, et M. François Rancy, Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT, de l'incalculable contribution qu'ils ont su apporter pour faire de ce rapport un guide utile de l'UIT au moment où les décideurs et les autorités nationales de régulation cherchent à tirer profit de l'économie numérique.



Brahima Sanou

Directeur du Bureau de développement des télécommunications de l'UIT

Table des matières

Avant-propos	iii
Abréviations et acronymes	vii
Résumé	x
1 Introduction	1
2 Aperçu de la 5G	3
2.1 Le rôle de l'UIT	3
2.2 Qu'est-ce que la 5G?	3
2.3 Cas d'utilisation de la 5G	6
2.4 Retombées socio-économiques de la 5G	8
2.5 Fracture numérique	9
3 Technologie 5G et besoins de spectre	11
3.1 Réseaux d'accès radioélectrique	11
3.2 Réseaux centraux	13
3.3 Raccordement vers l'arrière	14
3.4 Raccordement vers l'avant	15
3.5 Spectre pour la 5G	16
4 Principales difficultés liées au déploiement de la 5G	18
4.1 Difficultés liées au déploiement des petites cellules	18
4.2 Raccordement à fibre optique	19
4.3 Spectre	20
4.4 Autres facteurs	21
5 A quoi reconnaît-on une "bonne" solution?	22
5.1 Rationaliser le déploiement des petites cellules	22
5.2 Intervention des pouvoirs publics – Fibre optique et spectre	23
5.3 Partage de l'infrastructure	23
5.4 Passage à la fibre optique	25
5.5 Résoudre les problèmes de planification au niveau local	26
5.6 Harmonisation du spectre	27
5.7 Octroi de licences d'utilisation du spectre	28
5.8 Réseaux 5G pilotes	29
6 Exemples d'incidences sur le plan des coûts et de l'investissement	32
6.1 Vue d'ensemble	32
6.2 Méthodologie	33
6.3 Scénarios	34
6.4 Résultats	35
6.5 Estimations indépendantes des coûts	36
6.6 Modèles d'investissement	36
7 Conclusion	38
Annexe A	39

Liste des tableaux, figures et encadrés

Figures

Figure 1: Calendrier et processus détaillés pour les IMT-2020 au sein de l'UIT-R	3
Amélioration des capacités essentielles lors du passage des IMT évoluées aux IMT-2020	5
Figure 2: Evolution des réseaux mobiles	6
Figure 3: Scénarios d'utilisation de la 5G	7
Figure 4: Exigences relatives à la largeur de bande et au temps de latence pour les applications 5G	11
Figure 5: Réseaux à macrocellules et réseaux à petites cellules	12
Figure 6: Exemple d'un système de petite antenne et du boîtier qui l'accompagne	13
Figure 7: Solution neutre de gros à petites cellules typique	32
Figure 8: Solution neutre de gros à petites cellules typique	33
Figure 9: Dépenses d'investissement pour le scénario 1 – Grande ville densément peuplée	35
Figure 10: Dépenses d'investissement pour le scénario 2 – Petite ville moyennement peuplée	35
Figure 11: Eléments contribuant aux dépenses d'investissement	35

Encadrés

Encadré 1: Rôle des IMT-2020 (5G) et au-delà	4
Encadré 2: La 5G et la convergence FMC	8
Encadré 3: Aberdeen	12
Encadré 4: Telefónica investit dans les réseaux SDN et la virtualisation NFV	14
Encadré 5: L'UIT-R et la faisabilité technique des IMT aux fréquences comprises entre 24 et 86 GHz	16
Encadré 6: Perspective d'un opérateur – La stratégie plurielle d'Huawei en matière d'utilisation du spectre	17
Encadré 7: Point de vue des entreprises sur les obstacles au déploiement des petites cellules	19
Encadré 8: Obstacles au déploiement de réseaux à fibres optiques	20
Encadré 9: Rationaliser le déploiement des petites cellules	22
Encadré 10: Investissements du Royaume-Uni dans la fibre optique	23
Encadré 11: Groupe de travail sur la 5G, Australie	23
Encadré 12: Partage des réseaux imposé	24
Encadré 13: Partage du réseau géré par les entreprises	25
Encadré 14: Passage à la fibre optique	26
Encadré 15: Accords de servitude normalisés de la "City of London"	27
Encadré 16: Processus de planification efficaces	27
Encadré 17: Propositions de certaines autorités nationales de régulation au sujet des fréquences attribuées à la 5G	28
Encadré 18: Initiatives 5G menées par le gouvernement	30
Encadré 19: Bancs d'essais 5G menés par des entreprises	31

Abréviations et acronymes

On trouvera ci-après une liste des abréviations et sigles utilisés dans le présent document, présentés ici pour faciliter la lecture.

Abréviation/sigle	Description
2G, 3G, 4G, 5G*	Renvoie à différentes générations de normes pour mobile
5GIA	5G Infrastructure Association
IA	Intelligence artificielle
AV	Véhicule autonome (<i>Autonomous Vehicle</i>)
ORECE	Organe des régulateurs européens des communications électroniques
BNG	Passerelle de réseau large bande (<i>Broadband Network Gateway</i>)
TCAC	Taux de croissance annuel composé
CAV	Véhicule autonome connecté (<i>Connected Autonomous Vehicle</i>)
CCTV	Télévision en circuit fermé, vidéosurveillance (<i>Closed-Circuit TV</i>)
CPRI	Interface radioélectrique publique commune (<i>Common Public Radio Interface</i>)
C-RAN	Architecture de réseau RAN en nuage/centralisée (<i>Cloud/centralized Radio Access Network</i>)
DAN	Réseaux prenant en compte les données (<i>Data Aware Networking</i>)
CE	Commission européenne
EMBB	Large bande mobile évolué (<i>Enhanced Mobile Broadband</i>)
EMC	Compatibilité électromagnétique (<i>Electromagnetic Compatibility</i>)
EMF	Champ électromagnétique (<i>Electromagnetic Field</i>)
UE	Union européenne
FCC	Federal Communications Commission
FG ML5G	Groupe spécialisé sur l'apprentissage automatique pour les réseaux futurs, y compris les réseaux 5G (<i>Focus Group on Machine Learning for Future Networks, including 5G</i>)
FMC	Convergence fixe-mobile (<i>Fixed Mobile Convergence</i>)
FTTH	Fibre jusqu'au domicile (<i>Fibre to the Home</i>)
FTTP	Fibre jusqu'aux locaux (<i>Fibre to the Premise</i>)
FUTEBOL	Union fédérée d'instituts de recherche sur les télécommunications pour un laboratoire ouvert UE-Brésil (<i>Federated Union of Telecommunications Research Facilities for an EU-Brazil Open Laboratory</i>)
GSMA	GSM Association

Abréviation/sigle	Description
HAPS	Systèmes utilisant des plates-formes à haute altitude (<i>High Altitude Platform Systems</i>)
CIPRNI	Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants
TIC	Technologies de l'information et de la communication
IMT-2020	Normes relatives aux télécommunications mobiles internationales à l'horizon 2020 (<i>International Mobile Telecommunication 2020 standards</i>)
IoT	Internet des objets (<i>Internet of Things</i>)
UIT	Union internationale des télécommunications
BDT-UIT	Bureau de développement des télécommunications de l'UIT
UIT-D	Secteur du développement des télécommunications de l'UIT
UIT-R	Secteur des radiocommunications de l'UIT
UIT-T	Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT
LTE-A Pro	Evolution à long terme perfectionnée pro (<i>Long-Term Evolution Advanced Pro</i>)
MCS	Services essentiels aux missions (<i>Mission Critical Services</i>)
MER	Local technique principal (<i>Main Equipment Room</i>)
MIMO	Entrées multiples, sorties multiples (<i>Multiple Input, Multiple Output</i>)
MIoT	Internet des objets généralisé (<i>Massive Internet of Things</i>)
mmWave	Ondes millimétriques
MMTC	Communications massives de type machine (<i>Massive Machine-type Communications</i>)
NFV	Virtualisation des fonctions de réseau (<i>Network Function Virtualization</i>)
NISA	Agence nationale pour la société de l'information (République de Corée) [<i>National Information Society Agency (Korea Rep. of)</i>]
NRA	Autorité nationale de régulation (<i>National Regulatory Authority</i>)
OTN	Réseau de transport optique (<i>Optical Transport Network</i>)
PMP	Point à multipoint
PPP	Partenariat public-privé
Q.NBN	Réseau national large bande du Qatar (<i>Qatar National Broadband Network</i>)
RAN	Réseau d'accès radioélectrique (<i>Radio Access Network</i>)
RF EMF	Champ électromagnétique radiofréquence (<i>Radio Frequency Electromagnetic Field</i>)
ROF	Radio sur fibre (<i>Radio-over-Fibre</i>)
RRU	Unité radio distante (<i>Remote Radio Unit</i>)

Abréviation/sigle	Description
SDN	Réseau piloté par logiciel (<i>Software-Defined Networking</i>)
SMP	Position de force sur le marché (<i>Significant Market Power</i>)
TCO	Coût total de possession (<i>Total Cost of Ownership</i>)
TIM	Telecom Italia Mobile
URLLC	Communications ultrafiabiles présentant un faible temps de latence (<i>Ultra-Reliable and Low-Latency Communication</i>)
OMS	Organisation mondiale de la santé
WLAN	Réseau local hertzien (<i>Wireless Local Area Network</i>)
CMR-19	Conférence mondiale des radiocommunications de 2019
CMDT	Conférence mondiale de développement des télécommunications
* https://www.itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.html#p=1	

Sauf mention contraire, on entend par décideurs les autorités nationales de régulation et les organismes publics locaux (municipaux ou étatiques) ou nationaux (fédéraux).

Résumé

Les attentes concernant la 5G sont fortes; nombreux sont ceux qui pensent qu'elle ouvrira les portes d'un monde de transformation caractérisé par une amélioration de l'expérience d'utilisateur final, de nouvelles applications, de nouveaux modèles commerciaux et de nouveaux services s'appuyant sur des débits élevés se mesurant en gigabits ainsi qu'une amélioration de la qualité de fonctionnement et de la fiabilité des réseaux. Certaines études économiques indépendantes prévoient que, poussés par la réussite des réseaux mobiles 2G, 3G et 4G, les réseaux et services 5G permettront de réaliser des gains économiques majeurs.

Attention: des niveaux d'investissement élevés sont nécessaires

Toutefois, en dépit des possibilités de gain, certains s'inquiètent de ce que le déploiement de la 5G serait prématuré et des voix s'élèvent pour appeler à la prudence. Les opérateurs émettent des réserves quant à l'opportunité de déployer des réseaux 5G, étant donné le niveau élevé d'investissement nécessaire¹. On estime dans le rapport que, en supposant qu'il soit possible de mettre en place des liaisons de raccordement vers l'arrière utilisant la fibre optique, le coût de déploiement d'un réseau 5G à petites cellules serait compris entre 6,8 millions USD pour une petite ville et 55,5 millions USD pour une grande ville à forte densité.

Le danger de creuser la fracture numérique

On peut avancer qu'il est rentable d'investir dans les réseaux 5G dans les zones urbaines densément peuplées, les régions toujours les plus intéressantes pour les opérateurs sur le plan commercial. En dehors de ces zones, la rentabilité de tels investissements n'est pas assurée, en particulier dans les premières années du déploiement de la 5G. Par conséquent, il est peu probable que les investissements dans la 5G concernent les zones rurales et périurbaines, ce qui pourrait bien creuser la fracture numérique.

Un nécessaire équilibre

Tant que le bien-fondé de l'investissement dans la 5G n'est pas établi, les entreprises et les décideurs devraient rester prudents et envisager d'améliorer la disponibilité et la qualité des réseaux 4G existants, pour préparer l'arrivée de la 5G. Il n'est pas nécessaire de déployer les réseaux 5G dans l'immédiat. Les décideurs et les opérateurs ne devraient donc envisager le déploiement de ces réseaux que lorsqu'il existe une demande ou de solides arguments commerciaux en ce sens.

L'action des décideurs fera la différence

Lorsque la demande existe et que les coûts de déploiement de la 5G sont élevés, les décideurs peuvent prendre diverses mesures juridiques et réglementaires pour faciliter le déploiement des réseaux 5G, notamment:

- Encourager l'utilisation d'une couverture hertzienne abordable (par exemple en utilisant des bandes inférieures à 1 GHz), afin de réduire la fracture numérique;
- Prendre des mesures commerciales incitatives, comme accorder des subventions ou nouer des partenariats public-privé (PPP), afin de stimuler l'investissement dans les réseaux 5G.

¹ <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>.

5G: 16 grandes questions que les décideurs doivent examiner

Le présent rapport fait ressortir 16 grandes questions, ainsi que leurs réponses, que les décideurs doivent prendre en compte lorsqu'ils élaborent des stratégies visant à stimuler l'investissement dans les réseaux 5G. Prises conjointement, elles constituent un moyen efficace de mettre au point une approche globale sur les aspects importants du passage à la 5G et, selon qu'il conviendra, de simplifier et d'accélérer judicieusement cette transition.

Grandes questions à examiner

N°	Résumé	Pour examen...
1)	Opportunité des investissements	Les décideurs pourront envisager de mener, par leurs propres moyens, une étude économique indépendante sur la viabilité commerciale du déploiement des réseaux 5 G
2)	Stratégie relative aux réseaux 4G	Jusqu'à ce que le bien-fondé des réseaux 5G soit clairement établi, les décideurs pourront envisager d'améliorer la disponibilité et la qualité des réseaux 4G
3)	Harmonisation du spectre	Les autorités nationales de régulation pourront envisager d'attribuer ou d'assigner des bandes de fréquences harmonisées à l'échelle mondiale pour la 5G
4)	Feuille de route concernant le spectre	Les autorités nationales de régulation pourront envisager d'adopter une feuille de route concernant le spectre et un processus de renouvellement prévisible
5)	Partage du spectre	Les autorités nationales de régulation pourront envisager d'autoriser le partage du spectre en vue d'utiliser les bandes de fréquences disponibles le plus efficacement possible, en particulier dans l'intérêt des zones rurales
6)	Tarification du spectre	Les autorités nationales de régulation pourront envisager de choisir des procédures d'octroi de licences favorisant les investissements
7)	Bande des 700 MHz	Les décideurs pourront envisager de favoriser l'utilisation d'une couverture hertzienne abordable (par exemple en utilisant la bande des 700 MHz), afin de réduire le risque de creuser la fracture numérique
8)	Incitations à investir dans la fibre optique	Lorsque le marché ne joue pas son rôle, les décideurs pourront envisager de stimuler l'investissement dans la fibre optique et la mobilisation de ressources passives dans le cadre de partenariats PPP, de fonds d'investissement et de subventions, etc.
9)	Impôt sur la fibre optique	Les décideurs pourront envisager d'éliminer toute charge fiscale liée au déploiement de réseaux à fibres optiques, afin de réduire les coûts connexes
10)	Passage du cuivre à la fibre optique	Les décideurs pourront envisager d'adopter des politiques ou des mesures financières incitant à passer du cuivre à la fibre optique et stimulant le déploiement de la fibre optique
11)	Raccordement hertzien vers l'arrière	Outre la fibre optique, les opérateurs pourront envisager d'utiliser un éventail de technologies hertziennes pour le raccordement 5G vers l'arrière, y compris les liaisons point à multipoint (PMP), les relais radio à hyperfréquences ou à ondes millimétriques, les systèmes utilisant des plates-formes à haute altitude (HAPS) et les satellites

N°	Résumé	Pour examen...
12)	Accès et partage des infrastructures passives	<p>Les décideurs pourront envisager d'autoriser l'accès à des infrastructures publiques comme les poteaux électriques, les feux de circulation et les lampadaires, afin que les opérateurs de réseaux hertziens aient les droits leur permettant d'installer des appareils électroniques à petites cellules sur du mobilier urbain</p> <p>Les autorités nationales de régulation pourront envisager d'étendre aux réseaux 5G les régimes existants d'accès aux conduits en vue d'un déploiement de la fibre optique abordable</p>
13)	Coûts d'accès	<p>Les décideurs et les autorités nationales de régulation pourront envisager de faire en sorte que des frais raisonnables soient facturés aux opérateurs lors de l'installation d'équipements radioélectriques à petites cellules sur du mobilier urbain</p>
14)	Base de données des ressources	<p>Les décideurs pourront envisager de tenir une base de données centrale répertoriant les principaux contacts et les ressources comme les conduits de services collectifs, les réseaux à fibres optiques, les poteaux équipés de caméras de vidéosurveillance (CCTV), les lampadaires, etc. De cette façon, les opérateurs pourront planifier le déploiement de leurs infrastructures et en estimer le coût avec précision</p>
15)	Accords de servitude (droit de passage)	<p>Les décideurs pourront négocier des accords de servitude normalisés pour réduire le coût et les délais de déploiement des réseaux à fibres optiques et des réseaux hertziens</p>
16)	Bancs d'essai 5G	<p>Les décideurs pourront envisager d'encourager les essais pilotes et les bancs d'essai pour tester les technologies 5G et leurs cas d'utilisation, et promouvoir la participation du marché</p>

1 Introduction

L'UIT a mis en avant les réseaux 5G et l'intelligence artificielle (IA) comme des domaines d'innovation indispensables à la mise en place de sociétés intelligentes. La 5G représente la prochaine génération de normes de téléphonie mobile et promet d'améliorer l'expérience de l'utilisateur final en offrant de nouveaux services et applications à des débits se mesurant en gigabits, et d'améliorer grandement la qualité de fonctionnement et la fiabilité des réseaux. L'IA devrait rendre les réseaux 5G plus performants et permettre d'interpréter les données, de gérer et d'organiser les ressources des réseaux et de rendre intelligents les systèmes connectés et autonomes.

Dans cette optique, l'UIT mène des activités sur les "Télécommunications mobiles internationales (IMT) à l'horizon 2020 et au-delà", visant à établir un cadre pour les travaux de recherche sur la 5G lancés partout dans le monde. Elle a également créé un Groupe spécialisé sur l'apprentissage automatique pour les réseaux futurs, y compris les réseaux 5G (FG ML5G)¹, qui étudie les cas d'utilisation, les services, les exigences, les interfaces, les protocoles, les algorithmes, les architectures de réseau compatibles avec l'apprentissage automatique et les formats de données.

Le présent rapport a été élaboré dans le cadre général des rapports sur l'IA, afin d'aider les pouvoirs publics, les régulateurs des TIC et les autorités nationales de régulation à se préparer à la transformation numérique dont l'IA et la 5G sont porteuses.

Le présent rapport passe en revue les attentes liées à la 5G et examine les conditions que les secteurs public et privé doivent remplir sur le plan des infrastructures et des investissements pour se préparer au passage à la 5G. Il est conçu pour encourager les nouveaux cas d'utilisation et services et pour aider tous les secteurs à respecter les exigences de ces services en termes de performance attendue (débits de données en gigabits), de faible temps de latence et de grande fiabilité, de façon à ce que les utilisateurs finals profitent pleinement des avantages économiques que la 5G devrait offrir.

En outre, le présent rapport aborde les stratégies des opérateurs de réseaux hertziens concernant le passage des réseaux 4G aux réseaux 5G, en particulier dans les zones urbaines où la 5G devrait être déployée en premier, et les difficultés politiques, stratégiques et tactiques susceptibles de retarder le déploiement des réseaux 5G. Alors que des mesures importantes en faveur de la 5G sont prises dans les pays développés, on examinera également les difficultés auxquelles se heurteront les opérateurs de réseaux hertziens dans les pays peu développés.

On trouvera également dans le présent rapport un modèle de coût de haut niveau servant à estimer les investissements qu'un opérateur de réseaux hertziens pourrait avoir à faire pour passer à un réseau 5G ainsi que les modèles que les autorités nationales de régulation pourraient utiliser pour favoriser les investissements dans la 5G. Enfin, sur la base d'entretiens avec des opérateurs et de sources secondaires, le rapport donne de véritables exemples du rôle de catalyseur et de coordonnateur que les décideurs peuvent jouer pour ce qui est de se préparer à la mise en place de la 5G, afin d'accélérer le déploiement de cette technologie et d'en réduire les coûts.

Le reste du document est structuré comme suit:

- Le chapitre 2 est consacré à la 5G, son évolution et ce qu'elle peut apporter de plus que les technologies hertziennes existantes, y compris ses avantages économiques et ses avantages sociaux en général.
- Le chapitre 3 décrit les besoins de spectre pour la 5G, les technologies d'appui aux réseaux 5G et la façon dont les opérateurs devraient évoluer vers les réseaux 5G.
- Le chapitre 4 décrit les principales difficultés liées au déploiement des réseaux 5G sur le plan des politiques relatives aux infrastructures et au spectre.

¹ <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ml5g/Pages/default.aspx>.

- Le chapitre 5 donne des exemples concernant la façon dont les décideurs commencent à résoudre les difficultés liées au déploiement des réseaux 5G.
- Le chapitre 6 porte sur les investissements qu'il est nécessaire de faire pour développer les réseaux 5G et les approches qui pourraient être adoptées pour stimuler les investissements dans ce domaine.
- Le chapitre 7 contient des recommandations concernant les mesures que les décideurs des autorités nationales de régulation et des pouvoirs publics pourront prendre en vue de simplifier le déploiement et d'en réduire les coûts.

2 Aperçu de la 5G

Ce chapitre est l'occasion de présenter le rôle que joue l'UIT dans l'élaboration de normes relatives à la 5G ainsi que les avantages qui pourraient accompagner la 5G. L'écosystème n'étant pas tout à fait arrivé à maturité, il ne serait pas opportun d'envisager de déployer la 5G dans toutes les régions. En outre, certains craignent que le déploiement initial de la 5G dans des zones urbaines densément peuplées creuse la fracture numérique.

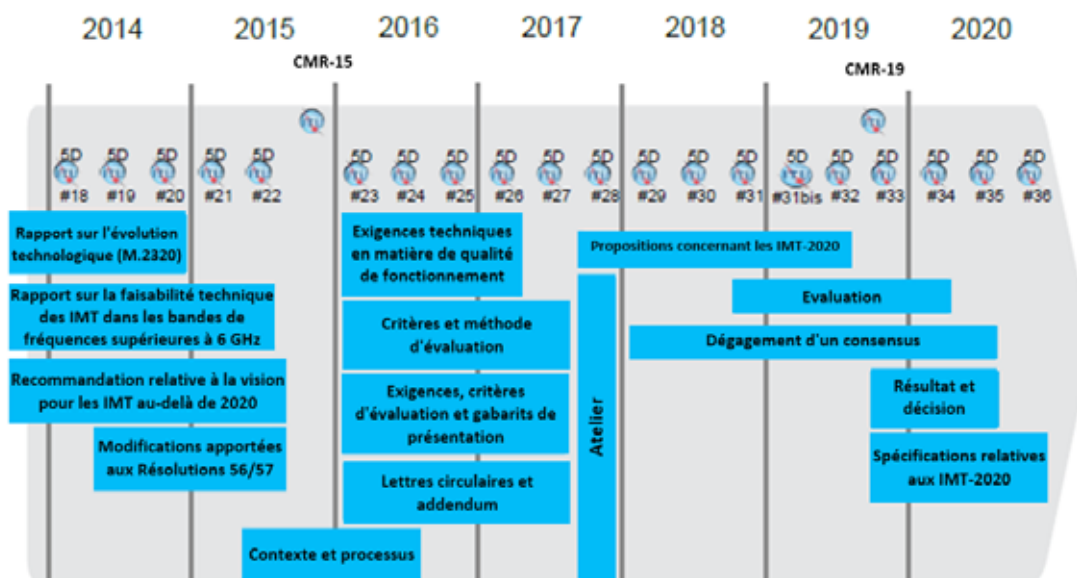
2.1 Le rôle de l'UIT

La 5G est la prochaine génération de normes de téléphonie mobile que l'UIT s'emploie à définir. Les systèmes, composants et éléments connexes prenant en charge des capacités plus poussées que celles des systèmes IMT-2000 (3G) et IMT évolués (4G) sont connus sous le nom d'IMT-2020 (5G).

Les normes relatives aux télécommunications mobiles internationales à l'horizon 2020 (IMT-2020):

- Définissent le cadre des travaux de recherche sur la 5G lancés partout dans le monde;
- Définissent le cadre et les objectifs généraux du processus de normalisation de la 5G;
- Fixent les étapes de ce processus en vue de son achèvement d'ici à 2020 (voir la Figure 1).

Figure 1: Calendrier et processus détaillés pour les IMT-2020 au sein de l'UIT-R



On trouvera dans l'Annexe A du présent rapport un aperçu des travaux menés par l'UIT sur la 5G.

2.2 Qu'est-ce que la 5G?

Au plus haut niveau, la 5G est une occasion pour les décideurs de donner des moyens d'actions aux personnes et aux entreprises. Elle jouera un rôle prépondérant pour ce qui est d'aider les pouvoirs publics et les décideurs à rendre les villes intelligentes, ce qui permettra aux personnes et aux collectivités de tirer parti des avantages socio-économiques d'une économie numérique évoluée et riche en données.

La 5G promet d'améliorer l'expérience de l'utilisateur final en offrant de nouveaux services et applications à des débits se mesurant en gigabits, et d'améliorer grandement la qualité de fonctionnement et la fiabilité des réseaux. Elle fera fond sur la réussite des réseaux mobiles 2G, 3G et 4G, qui ont transformé les sociétés, en favorisant les nouveaux services et modèles commerciaux. Elle donnera

la possibilité aux opérateurs de réseaux hertziens de dépasser la seule prestation de services de connectivité et de mettre au point des solutions et des services foisonnants et abordables à l'intention des consommateurs et des entreprises de divers secteurs. Elle sera l'occasion de faire converger réseaux hertziens et filaires et tout particulièrement d'intégrer des systèmes de gestion des réseaux.

Les réseaux 5G devraient commencer à être déployés après 2020, comme indiqué dans la Figure 2, une fois les normes relatives à la 5G élaborées¹. Selon la GSM Association (GSMA), le nombre de connexions 5G devrait atteindre 1,1 milliard d'ici à 2025, soit quelque 12% du nombre total de connexions mobiles. Le revenu global des opérateurs devrait pour sa part augmenter à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 2,5%, et atteindre 1 300 milliards USD d'ici à 2025².

La 5G devrait aussi permettre d'accroître fortement le débit de données et de réduire le temps de latence, en comparaison avec les réseaux 3G et 4G. Le temps de latence devrait considérablement baisser et passer sous la barre de 1ms, ce qui convient aux services essentiels aux missions, dont les données sont soumises à des contraintes de temps. La capacité de haut débit de la 5G signifie que les réseaux pourront assurer une gamme de services large bande à haut débit et proposer, pour le dernier kilomètre, une solution autre que les connexions de type fibre jusqu'au domicile (FTTH) ou les connexions métalliques.

Encadré 1: Rôle des IMT-2020 (5G) et au-delà

Le cadre pour le développement futur des IMT à l'horizon 2020 et au-delà est défini en détail dans la Recommandation UIT-R M.2083-0, aux termes de laquelle les IMT devraient continuer à contribuer aux objectifs suivants:

- Infrastructures hertziennes pour connecter le monde: La connectivité large bande va devenir aussi importante que l'accès à l'électricité. Les IMT vont continuer de jouer un rôle important dans ce contexte, en servant de pilier essentiel à la prestation de services mobiles et à l'échange d'informations. A l'avenir, les utilisateurs privés et professionnels disposeront d'une grande variété d'applications et de services, allant des services d'infotourisme aux nouvelles applications industrielles et professionnelles.
- Nouveau marché des TIC: Le développement des systèmes IMT futurs devrait faciliter la mise en place d'un secteur des TIC intégré, ce qui stimule les économies du monde entier. Les domaines envisageables sont, par exemple, l'accumulation, l'agrégation et l'analyse des mégadonnées, et la fourniture de services de mise en réseau personnalisés aux groupes d'entreprises et de réseaux sociaux sur les réseaux hertziens.
- Réduction de la fracture numérique: Les IMT continueront de favoriser la réduction des écarts liés à l'élargissement de la fracture numérique. Des systèmes de communication mobiles et hertziens d'un coût abordable, durables et faciles à déployer, peuvent contribuer à cet objectif tout en conduisant à des économies d'énergie et à des gains d'efficacité concrets.
- Nouveaux modes de communication: Les IMT permettront de partager tous types de contenus, à tout moment et en tout lieu, à l'aide de n'importe quel dispositif. Les utilisateurs créeront davantage de contenus, qu'ils partageront sans contraintes de temps et de lieu.

¹ En 2012, le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) a lancé un programme d'élaboration de normes relatives aux télécommunications mobiles internationales (IMT) pour la 5G d'ici à 2020.

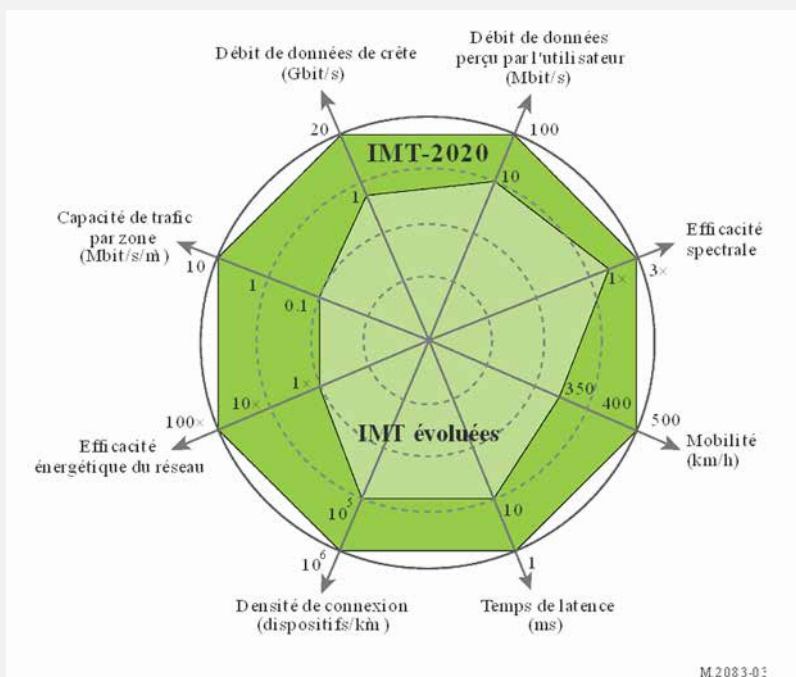
² "The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligence automation", GSMA Intelligence, 2017: <https://www.gsmaintelligence.com/research/2017/02/the-5g-era-age-of-boundless-connectivity-and-intelligence-automation/614/>.

Encadré 1: Rôle des IMT-2020 (5G) et au-delà (suite)

- Nouvelles formes d'éducation: Les IMT peuvent faire évoluer les méthodes d'éducation en assurant un accès facile à des manuels numériques ou un stockage dans le nuage des connaissances disponibles sur l'Internet, ce qui stimulera le développement d'applications telles que le cyberapprentissage, la cybersanté et le commerce électronique.
- Promotion de l'efficacité énergétique: Les IMT favorisent l'efficacité énergétique dans divers secteurs de l'économie, en assurant des communications de machine à machine et en offrant des solutions telles que les réseaux électriques intelligents, les téléconférences, la logistique et les transports intelligents.
- Evolutions sociales: Grâce aux réseaux large bande, il devient plus facile pour le public de former et de partager rapidement des opinions au sujet d'une question politique ou sociale par l'intermédiaire des réseaux sociaux. La formation d'opinions par un très grand nombre d'individus connectés, du fait de leur capacité d'échanger des informations à tout moment et en tout lieu, deviendra un agent essentiel des évolutions sociales.
- Nouveautés artistiques et culturelles: Les IMT aideront les personnes à créer des oeuvres d'art ou à participer à des performances ou activités collectives, par exemple des chorales virtuelles, des rassemblements éclair et des travaux de co-autorat ou d'écriture de chansons. En outre, les personnes connectées au monde virtuel sont capables de constituer de nouveaux types de communautés et de créer leurs propres cultures.

Les cibles liées aux IMT-2020 sont décrites ci-après.

Amélioration des capacités essentielles lors du passage des IMT évoluées aux IMT-2020



Encadré 1: Rôle des IMT-2020 (5G) et au-delà (suite)

Le débit de données de crête des IMT-2020 dans le cas du large bande mobile évolué (eMBB) devrait atteindre 10 Gbit/s. Toutefois, dans certaines conditions et certains scénarios, les IMT-2020 pourraient assurer un débit de données de crête allant jusqu'à 20 Gbit/s, comme indiqué dans la Figure 3. Les débits de données perçus par l'utilisateur varieront en fonction des divers environnements d'utilisation du large bande eMBB. Pour ce qui est de la couverture d'une zone étendue, par exemple dans les zones urbaines et périurbaines, un débit de données perçu par l'utilisateur de 100 Mbit/s devrait être assuré. Dans le cas des points d'accès publics, le débit de données perçu par l'utilisateur devrait atteindre des valeurs supérieures (par exemple 1 Gbit/s à l'intérieur des bâtiments).

L'efficacité spectrale pour le large bande eMBB devrait tripler par rapport à celle obtenue à l'aide des IMT évoluées. L'amélioration de l'efficacité par rapport aux IMT évoluées variera et pourrait être plus importante dans certains scénarios d'utilisation (par exemple amélioration d'un facteur cinq, sous réserve de futurs travaux de recherche). Les IMT-2020 devraient assurer une capacité de trafic par zone de 10 Mbit/s/m², par exemple dans les points d'accès publics.

L'amélioration des capacités offertes par les IMT-2020 ne devrait pas entraîner d'augmentation de la consommation d'énergie des réseaux d'accès radioélectrique (RAN). Par conséquent, l'efficacité énergétique des réseaux devrait être améliorée d'un facteur au moins égal à l'augmentation de la capacité de trafic envisagée pour le large bande eMBB lors du passage des IMT évoluées aux IMT-2020.

Les IMT-2020 devraient assurer un temps de latence de 1 ms pour les communications hertziennes, ce qui permettra de fournir des services avec un temps de latence très faible. Les IMT-2020 devraient aussi offrir une mobilité élevée, jusqu'à 500 km/h, avec une qualité de service acceptable. Ce cas de figure est notamment envisagé pour les trains à grande vitesse.

Enfin, les IMT-2020 devraient assurer une densité de connexion allant jusqu'à 106/km², par exemple dans le scénario d'utilisation des communications massives de type machine (mMTC).

Source: Recommandation UIT-R M.2083-0

Figure 2: Evolution des réseaux mobiles

	1G	2G	3G	4G	5G
Date approximative de déploiement	Années 1980	Années 1990	Années 2000	Années 2010	Années 2020
Vitesse de téléchargement théorique	2 kbit/s	384 kbit/s	56 Mbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s
Temps de latence	Sans objet	629 ms	212 ms	60-98 ms	<1 ms

2.3 Cas d'utilisation de la 5G

Grâce aux hauts débits et aux faibles temps de latence qui devraient caractériser la 5G, les sociétés vont entrer dans l'ère nouvelle des villes intelligentes et de l'Internet des objets (IoT). Les acteurs du secteur ont dégagé plusieurs cas d'utilisation potentiels pour les réseaux 5G et l'UIT-R les a classés en trois grandes catégories (voir la Figure 3):

- 1) **Le large bande eMBB** – Le large bande évolué en intérieur et en extérieur, la collaboration entre entreprises, la réalité augmentée et la réalité virtuelle.

- 2) **Les communications mMTC** – L'IoT, le suivi des ressources, l'agriculture intelligente, les villes intelligentes, le suivi énergétique, les maisons intelligentes et la surveillance à distance.
- 3) **Les communications ultrafiabiles présentant un faible temps de latence (URLLC)** – Les véhicules autonomes, les réseaux électriques intelligents, la surveillance à distance des patients et la télésanté ainsi que l'automatisation industrielle.

Figure 3: Scénarios d'utilisation de la 5G



Selon les opérateurs de réseaux hertziens, le large bande eMBB devrait être le principal cas d'utilisation de la 5G au début de son déploiement. Ainsi, des zones densément peuplées auront accès à une connexion large bande mobile à haut débit, les consommateurs pourront profiter de services de diffusion en continu à haut débit à la demande depuis leur domicile, sur des écrans et sur des dispositifs mobiles, et les services de collaboration entre entreprises pourront évoluer. Certains opérateurs envisagent également d'utiliser le large bande eMBB sur le dernier kilomètre dans les zones où les domiciles n'ont pas de connexions métalliques ou de connexions à fibres optiques.

La 5G devrait également faire évoluer les villes intelligentes et l'IoT grâce au déploiement d'un nombre considérable de réseaux de capteurs de faible puissance dans les villes et les zones rurales. Du fait de sa sécurité et de sa robustesse, la 5G pourra être utilisée pour assurer la sécurité publique et les services essentiels aux missions, par exemple dans le cas des réseaux électriques intelligents, des services de police et de sécurité, des services collectifs d'approvisionnement en eau et en électricité et pour les soins de santé. Son faible temps de latence en fait une technologie indiquée pour la chirurgie à distance, l'automatisation des usines et la maîtrise des processus en temps réel.

Le faible temps de latence et la sécurité caractérisant la 5G seront un atout dans l'évolution des systèmes de transport intelligents, permettant ainsi aux véhicules intelligents de communiquer entre eux et créant des débouchés pour les voitures et les camions autonomes connectés. Par exemple un véhicule autonome piloté par un système autonome en nuage doit pouvoir s'arrêter, accélérer ou tourner sur commande. Toute latence du réseau ou perte de la couverture du signal empêchant la commande d'être transmise pourrait avoir des conséquences catastrophiques. Toutefois, les opérateurs de réseaux hertziens sont convaincus que les véhicules autonomes ne sont pas près d'être mis en service, malgré les tests et les essais actuellement pratiqués.

Encadré 2: La 5G et la convergence FMC

La convergence FMC est une solution réseau envisageable dans toute configuration et permet de fournir des services et des applications à l'utilisateur final indépendamment des technologies d'accès mobile ou fixe et de la situation géographique de l'utilisateur. Le concept de convergence FMC est appliqué depuis 2005. Dans le cadre de la transition vers la 5G, la solution FMC présente des intérêts supplémentaires.

Aux termes de la Recommandation UIT-T Y.3101, l'architecture des réseaux IMT-2020 pourrait être indépendante des réseaux d'accès et s'organiser autour d'un réseau central unifié commun aux nouvelles technologies d'accès radioélectriques utilisées pour les IMT-2020 et aux réseaux fixes et hertziens existants (par exemple un réseau local hertzien (WLAN)). Le réseau central unifié indépendant des technologies d'accès devrait s'accompagner de mécanismes de contrôle communs découplés des technologies d'accès.

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication [par exemple en ce qui concerne la virtualisation, l'informatique en nuage, les réseaux pilotés par logiciel (SDN) et la virtualisation des fonctions de réseau (NFV)] engendrent une transformation des réseaux fixes et mobiles des opérateurs de télécommunication qui permet une forte utilisation des ressources et donne de la souplesse aux réseaux, ce qui contribue à la convergence des fonctions de réseaux dans le cadre des IMT-2020.

Dans cette optique, la Commission d'études 13 de l'UIT-T a approuvé la Recommandation UIT-T Y.3130 (01/2018), dans laquelle sont spécifiées les exigences relatives aux services – identité d'utilisateur unifiée, tarification unifiée, prise en charge de la continuité de service et de la qualité de service garantie – et les exigences relatives aux capacités de réseau – convergence pour le plan de commande, gestion des données d'utilisateur, exposition des capacités et infrastructure basée sur le nuage – afin que les réseaux IMT-2020 assurent la convergence fixe-mobile.

Actuellement, la Commission d'études 13 de l'UIT-T continue ses recherches sur différents aspects de la convergence FMC, notamment la planification des services FMC, c'est-à-dire la capacité d'un réseau de puiser des informations dans la couche application, la couche réseau et la couche utilisateur pour créer des règles de planification des services (à savoir la planification du trafic, la sélection de l'accès, etc.) dans un réseau FMC permettant d'accéder à plusieurs technologies d'accès radioélectrique.

Dans le contexte des IMT-2020, la convergence FMC permet de fournir des services et des applications à l'utilisateur final indépendamment des technologies d'accès fixe ou mobile utilisées et de la situation géographique de l'utilisateur.

2.4 Retombées socio-économiques de la 5G

Peu d'études ont été menées par des tiers en ce qui concerne les retombées économiques des investissements dans la 5G. Néanmoins, on peut se baser sur des prévisions de tiers pour estimer les retombées de la 5G sur la production économique.

N'approuvant pas les estimations de tiers, l'UIT suggère que les décideurs évaluent de façon indépendante les avantages économiques.

L'une de ces estimations prévoit que la 5G génèrera une production économique de 12 300 milliards USD d'ici à 2035, la croissance la plus forte dans le domaine des ventes devant concerner les produits manufacturés en raison de l'augmentation prévue des dépenses en équipement 5G. Viennent

ensuite les ventes du secteur des TIC, stimulées par l'augmentation des dépenses dans les services de communication. Pour sa part, la production liée aux investissements dans la chaîne de valeur devrait générer 3 500 milliards USD supplémentaires d'ici à 2035, finançant ainsi 22 millions d'emplois³.

La Commission européenne estime que le déploiement de la 5G dans les 28 Etats Membres coûtera au total 56 milliards d'euros, aura des retombées économiques équivalentes à 113,1 milliards d'euros par an et créera 2,3 millions d'emplois. Elle estime également que ces retombées seront en grande partie le fruit d'une amélioration de la productivité en général, et en particulier dans le secteur automobile. Ces retombées concerneront principalement les zones urbaines, les zones rurales ne bénéficiant que de 8% d'entre elles (10 milliards d'euros par an)⁴.

D'autres rapports pointent également que l'investissement dans les réseaux 5G devrait avoir des retombées économiques considérables et améliorer fortement la productivité⁵. Ces estimations tentent de quantifier les retombées de la 5G sur la base de conditions d'investissement idéales. Les véritables retombées économiques dont bénéficiera chaque pays varieront en fonction de la structure des marchés et de l'existence d'infrastructures économiques numériques et connexes.

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager de mener leur propre étude économique sur la viabilité commerciale et les retombées économiques des réseaux 5G.

Malgré les possibles retombées économiques, le secteur continue de douter du bien-fondé commercial des investissements dans la 5G. Etant donné l'ampleur des investissements nécessaires, certains opérateurs européens demeurent sceptiques face à l'enthousiasme que suscite la 5G et s'interrogent sur sa rentabilité. Ces préoccupations sont relayées par la 5G Infrastructure Association (5GIA), un organisme soutenu par l'UE, et par de hauts dirigeants d'entreprises de télécommunication, qui mettent en garde contre un lancement prématuré de la 5G⁶.

De nombreux cas de lancement de la 5G – certains sont mis en lumière dans le présent rapport – ne sont que de simples projets pilotes et essais régionaux et ne consistent pas à mettre pleinement cette technologie sur le marché. Le chemin est encore long avant que les opérateurs n'aient de bonnes raisons d'investir et qu'un déploiement commercial à grande échelle ne débute.

Conclusion importante: Jusqu'à ce que le bien-fondé des investissements dans la 5G soit établi, les entreprises et les décideurs pourront envisager de rester prudents sur ce point et devraient continuer d'améliorer la disponibilité et la qualité des réseaux 4G existants.

2.5 Fracture numérique

Le secteur estime que les réseaux 5G seront d'abord déployés dans des zones urbaines densément peuplées et offriront des services tels que le large bande eMBB. Il sera difficile, sur le plan commercial, de déployer les réseaux 5G dans les zones rurales, où la demande est en général moins importante. Par conséquent, ces dernières pourraient bien être laissées de côté, ce qui creuserait la fracture numérique.

Cependant, l'utilisation de bandes de fréquences inférieures à 1 GHz, si c'est possible, peut venir contrer ce phénomène dans les zones rurales. Ces bandes de fréquences permettent en effet aux opérateurs mobiles de couvrir de grandes zones à un coût inférieur à celui des bandes de fréquences plus élevées.

³ "The 5G Economy", IHS economics and IHS technology, janvier 2017: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Technology-5G-Economic-Impact-Study.pdf>.

⁴ "Identification and quantification of key socio-economic data to support strategic planning for the introduction of 5G in Europe", Commission européenne, 2016: https://connectcentre.ie/wp-content/uploads/2016/10/EC-Study_5G-in-Europe.pdf.

⁵ "5G mobile – enabling businesses and economic growth", Deloitte, 2017; "Tech-onomy: Measuring the impact of 5G on the nation's economic growth", O2 Telefonica (Royaume-Uni), 2017.

⁶ <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>.

Bien que les bandes de fréquences inférieures à 1 GHz ne permettent pas de disposer de débits de données et de capacités de réseaux aussi élevés que ceux offerts par les bandes de fréquences supérieures, elles permettront d'améliorer la couverture des réseaux ruraux.

Conclusion importante: Les autorités locales et les régulateurs devraient ne pas négliger le risque d'élargissement de la fracture numérique et promouvoir des mesures commerciales et législatives incitant à investir dans la fourniture d'une couverture hertzienne abordable grâce aux bandes de fréquences inférieures à 1 GHz, autant que faire se peut.

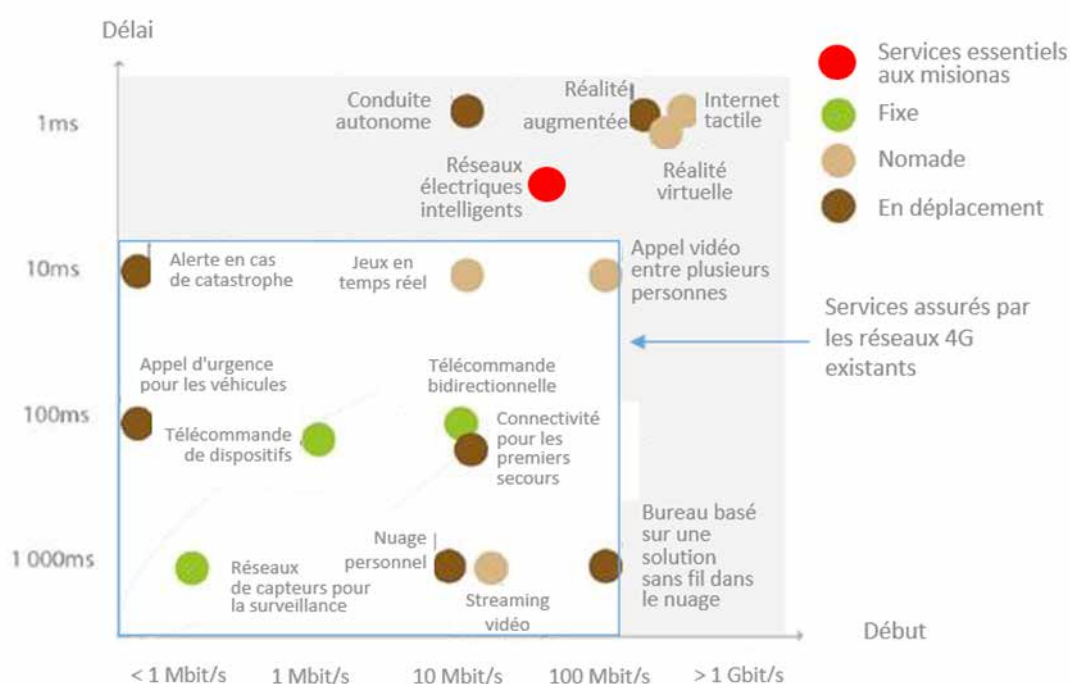
3 Technologie 5G et besoins de spectre

Le spectre radioélectrique, le raccordement vers l'arrière, la logiciellisation des réseaux centraux et des réseaux RAN seront autant d'aspects cruciaux dans les premières phases du déploiement des réseaux 5G, notamment en ce qui concerne le large bande eMBB.

3.1 Réseaux d'accès radioélectrique

A l'heure actuelle, la plupart des réseaux mobiles 4G extérieurs reposent sur des macrocellules¹. Or les macrocellules couvrant de grandes zones géographiques auront du mal à assurer la couverture dense, le faible temps de latence et la grande largeur de bande dont ont besoin certaines applications 5G (comme indiqué dans la Figure 4).

Figure 4: Exigences relatives à la largeur de bande et au temps de latence pour les applications 5G



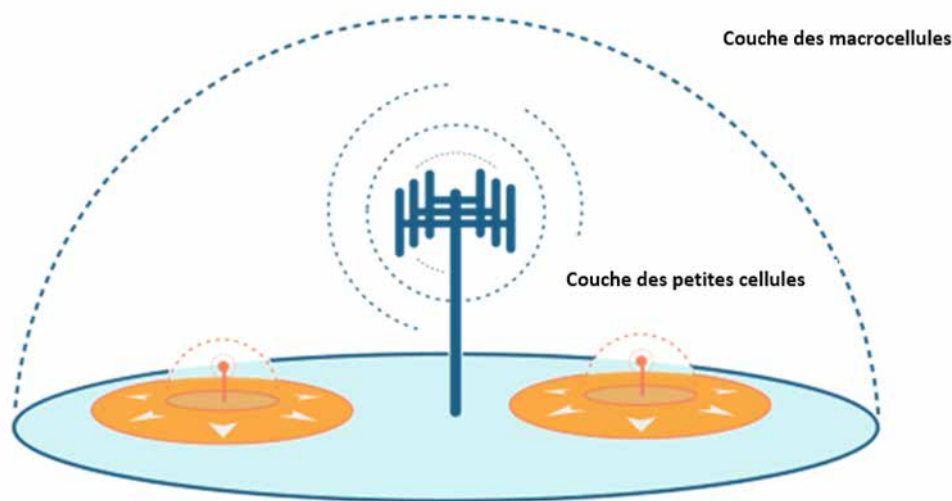
Source: GSMA Intelligence, 2015.

Afin que les réseaux aient la couverture dense et les capacités élevées nécessaires pour la 5G, les opérateurs de réseaux hertziens consacrent des fonds à la densification de leurs réseaux RAN 4G, en particulier dans les zones urbaines densément peuplées, en déployant de petites cellules. Bien qu'elles couvrent une zone géographique beaucoup plus petite que les macrocellules, les petites cellules améliorent la couverture, les capacités et la qualité de service des réseaux. Voir la Figure 5.

Le déploiement de petites cellules est un moyen d'améliorer les capacités et la qualité des réseaux 4G existants tout en jetant les bases du déploiement commercial des réseaux 5G et des premiers services eMBB. Certains opérateurs de réseaux hertziens utilisent déjà les petites cellules pour améliorer les capacités et la couverture de leurs réseaux 4G, en particulier dans des environnements urbains à forte densité. Voir l'Encadré 3 à titre d'exemple.

¹ <https://www.mobileworldlive.com/blog/blog-global-base-station-count-7m-or-4-times-higher/>

Figure 5: Réseaux à macrocellules et réseaux à petites cellules



Les petites cellules améliorent les capacités des réseaux sans nécessiter de bandes de fréquences supplémentaires, d'où leur attrait pour les opérateurs disposant d'une faible quantité de spectre ou lorsque les fréquences sont rares. En outre, le secteur est d'avis que les petites cellules déployées dans des zones urbaines densément peuplées pour améliorer la qualité des réseaux 4G existants devraient aider à répondre aux besoins de grandes capacités qui sont prévus pour les réseaux 5G et les premiers services eMBB².

Encadré 3: Aberdeen

En septembre 2017, le spécialiste indépendant des tours de communication Wireless Infrastructure Group a lancé, en collaboration avec Telefónica, le premier réseau européen à petites cellules compatible avec l'architecture de réseau RAN en nuage (C-RAN), afin de disposer de services mobiles plus rapides et aux capacités plus grandes dans le centre-ville d'Aberdeen.

Source: <http://www.wirelessinfrastructure.co.uk/city-of-aberdeen-paves-the-way-for-5g/>

Les petites cellules devant assurer une couverture dense, il faut installer des petites antennes sur du mobilier urbain (arrêts de bus, lampadaires, feux de circulation, etc.). Ces antennes s'accompagnent souvent d'un boîtier où se trouve l'équipement radioélectrique de l'opérateur, l'alimentation électrique et les équipements de connectivité du site. La Figure 6 donne un exemple d'un système d'antenne installé sur un lampadaire et du boîtier qui l'accompagne.

La technologie des entrées multiples et sorties multiples (MIMO) massives utilise des centaines, voire des milliers d'antennes, augmentant ainsi les débits de données et permettant la formation de faisceaux, pour une transmission efficace sur le plan énergétique. Elle augmente l'efficacité d'utilisation du spectre et, associée à un déploiement dense de petites cellules, permettra aux opérateurs de respecter les prescriptions exigeantes de la 5G en matière de capacités³.

² TechUK: <https://goo.gl/Q58ZA8> – FCC: <https://www.fcc.gov/5G> – UIT: https://www.itu.int/ITU-T/workprog/wp_item.aspx?isn=14456

³ IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7881053/>

Figure 6: Exemple d'un système de petite antenne et du boîtier qui l'accompagne



Source: Wireless Infrastructure Group, 2018

3.2 Réseaux centraux

L'une des principales caractéristiques des réseaux 5G sera leur souplesse de bout en bout⁴, qui est en grande partie le fruit de l'arrivée de la logiciellisation de réseau, c'est-à-dire la dissociation des composants physiques du réseau central de ses fonctions logicielles. Rendue possible par la virtualisation NFV, les réseaux SDN, le découpage de réseau et les systèmes C-RAN, la logiciellisation de réseau vise à accélérer l'innovation et la transformation des réseaux mobiles.

- **La virtualisation NFV** consiste à remplacer les fonctions de réseau présentes sur des appareils dédiés, par exemple des routeurs, des répartiteurs de charge et des pare-feu, par des instances virtualisées sur des équipements disponibles dans le commerce, ce qui permet de réduire le coût des modifications et améliorations apportées au réseau.
- **Les réseaux SDN** permettent de reconfigurer de façon dynamique et en temps réel des éléments de réseau, et de commander les réseaux 5G par logiciel plutôt qu'à l'aide des composants physiques, ce qui améliore la résilience, la qualité de fonctionnement et la qualité de service des réseaux.
- **Le découpage de réseau** permet de diviser un réseau physique en plusieurs réseaux virtuels (en segments logiques) compatibles avec différents réseaux RAN ou plusieurs types de services pour certaines catégories de clients, entraînant une forte réduction des coûts de construction des réseaux du fait d'une utilisation plus efficace des canaux de communication.
- **Les systèmes C-RAN** sont présentés comme étant une technologie de rupture essentielle à la mise en place des réseaux 5G. Il s'agit d'une architecture de réseaux radioélectriques en nuage qui utilise les techniques de virtualisation et des unités de traitement centralisées, au lieu des unités de traitement du signal réparties au niveau des stations de base mobiles, ce qui permet de réduire le coût de déploiement des réseaux mobiles denses à petites cellules.

Ces dernières années, Telefónica s'est concentrée sur la virtualisation de son réseau central grâce aux réseaux SDN et à la virtualisation NFV, en vue de l'arrivée de la 5G en Argentine, au Mexique et au Pérou. Voir l'Encadré 4.

⁴ UIT: <http://news.itu.int/5g-update-new-itu-standards-network-softwareization-fixed-mobile-convergence/>

Encadré 4: Telefónica investit dans les réseaux SDN et la virtualisation NFV

Des opérateurs comme Telefónica investissent d'ores et déjà dans les réseaux SDN et la virtualisation NFV dans le cadre de leur passage progressif à la 5G, ce qui devrait réduire les coûts liés au réseau central sur le long terme. Dans le cadre de son programme UNICA, Telefónica a le projet ambitieux de virtualiser l'intégralité de son réseau, à savoir le réseau d'accès, le réseau d'agrégation et le réseau central.

Source: https://www.telefonica.com/documents/737979/140082548/Telefonica_Virtualisation_gCTO_FINAL.PDF/426a4b9d-6357-741f-9678-0f16dccf0e16?version=1.0

Parmi les autres améliorations technologiques envisagées figurent les techniques de codage du signal qui permettent d'utiliser le spectre plus efficacement et assurent le haut débit nécessaire à la 5G. De plus, l'informatique en périphérie revêt une importance croissante en ce qui concerne les applications en temps réel fortement sensibles au temps de latence. Elle rapproche les données des dispositifs d'utilisateur final, offrant une capacité de calcul avec un temps de latence très faible aux applications qui en ont besoin. Ainsi, les données exploitables sont fournies plus rapidement, les coûts de transport sont réduits et les voies d'acheminement du trafic sont optimisées.

3.3 Raccordement vers l'arrière

Les réseaux de raccordement vers l'arrière connectent les réseaux RAN au réseau central. Le réseau de raccordement vers l'arrière doit être adapté aux caractéristiques exigeantes de la 5G, à savoir de très grandes capacités, des débits élevés et un faible temps de latence. Les opérateurs mobiles considèrent souvent que les raccordements à fibres optiques sont les plus appropriés en raison de leur longévité, de leurs grandes capacités et fiabilité et de leur aptitude à prendre en charge un trafic très élevé.

Toutefois, la couverture des réseaux à fibres optiques n'est pas ubiquitaire dans toutes les villes où la 5G devrait être déployée en premier, et encore moins dans les zones périurbaines et rurales. La construction de nouveaux réseaux à fibres optiques dans ces zones a souvent un coût prohibitif pour les opérateurs. Dans ce contexte, plusieurs technologies hertziennes de raccordement vers l'arrière peuvent être envisagées en plus de la fibre optique, y compris les hyperfréquences PMP et les ondes millimétriques. Les hyperfréquences PMP permettent de disposer d'un débit descendant de 1Gbit/s et d'un temps de latence inférieur à 1ms par bond sur une distance de 2 à 4 km. Pour leur part, les ondes millimétriques offrent un temps de latence considérablement plus faible et des débits plus élevés.

Bien que les technologies terrestres concentrent toute l'attention, les systèmes HAPS et les technologies satellitaires ont un rôle à jouer dans la 5G. Les systèmes HAPS et les systèmes à satellites (y compris les constellations non géostationnaires) peuvent assurer de très hauts débits de données (>100 Mbit/s – 1 Gbit/s) en complément des réseaux hertziens de raccordement vers l'arrière fixes ou de Terre en dehors des grandes zones urbaines ou périurbaines et peuvent assurer une transmission vidéo vers des points fixes. Plutôt que de fonctionner en autonomie, ils peuvent être intégrés à d'autres réseaux pour fournir des services 5G, permettant ainsi d'augmenter les capacités des services 5G, ce qui réglerait certains des gros problèmes qui se posent concernant la prise en charge d'un trafic multimédia croissant, la couverture ubiquitaire, les communications de machine à machine et les missions essentielles des télécommunications⁵.

Conclusion importante: On pourra envisager d'utiliser différentes technologies hertziennes en plus de la fibre optique, y compris les hyperfréquences PMP, les ondes millimétriques, les systèmes HAPS et les satellites.

⁵ Association des opérateurs de satellites pour l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique: <https://gscoalition.org/cms-data/position-papers/5G%20White%20Paper.pdf>

En résumé, pour qu'une stratégie de raccordement 5G vers l'arrière soit réaliste, elle devrait s'appuyer sur différentes technologies. L'intérêt que présente chaque technologie devrait être examiné à la lumière de la qualité de fonctionnement souhaitée, des infrastructures disponibles et du rendement potentiel des investissements.

3.4 Raccordement vers l'avant

En général, dans un réseau hertzien 4G, la liaison de raccordement vers l'avant se situe entre la fonction de radiofréquence et les fonctions des couches 1, 2 et 3 (L1/L2/L3) restantes. La Recommandation UIT-T Y.3100 définit le raccordement vers l'avant comme étant "un trajet dans le réseau entre les contrôleurs radio centralisés et les unités radio distantes (RRU) de la fonction d'une station de base". Ce type d'architecture permet de centraliser toutes les fonctions de traitement des couches supérieures au prix d'exigences très strictes concernant le temps de latence et la largeur de bande des liaisons de raccordement vers l'avant. L'augmentation des débits de données qui caractérise la 5G ne permet pas de continuer de faire des raccordements vers l'avant selon la méthode traditionnelle des interfaces radioélectriques publiques communes (CPRI). Il est possible d'assouplir les exigences relatives au temps de latence et à la largeur de bande en allouant davantage de fonctions de traitement aux unités RRU, mais un plus petit nombre de ces fonctions pourra ensuite être centralisé. Il est donc capital que la nouvelle architecture assurant une répartition des fonctions trouve un équilibre entre considérations techniques et rationalisation des coûts en ce qui concerne le débit, le temps de latence et la centralisation des fonctions⁶.

Les technologies pouvant être utilisées pour le raccordement vers l'avant sont spécifiées ou décrites dans les documents suivants:

- Le Supplément 55 aux Recommandations de la série G "Radio sur fibre (RoF): les technologies et leurs applications"
- Le Supplément 56 aux Recommandations de la série G "Transport OTN des signaux CPRI", qui contient une description des solutions de mappage et de multiplexage des signaux clients CPRI dans les réseaux OTN
- La Recommandation UIT-T G.987 "Réseaux optiques passifs de 10 gigabits (XG-PON)"
- La Recommandation UIT-T G.9807 "Réseaux optiques passifs symétriques de 10 gigabits (XGS-PON)"
- La série de Recommandations UIT-T G.989 "Réseaux optiques passifs de 40 gigabits – version 2 (NG-PON2)"
- Le projet de Recommandation UIT-T G.RoF "Systèmes de radio sur fibre" (en cours d'élaboration)
- Le projet de Supplément aux Recommandations de la série G (G.sup.5GP) "Exigences en matière de raccordement hertzien 5G vers l'avant dans un contexte de réseau PON" (en cours d'élaboration)
- La série de Recommandations UIT-T G.709(.x) "Réseau de transport optique (OTN) au-delà de 100 Gbit/s"
- Le projet de Recommandation UIT-T G.ctn5g "Caractéristiques des réseaux de transport pour la prise en charge des IMT-2020/5G" (en cours d'élaboration)
- Le projet de Supplément aux Recommandations de la série G G.Sup.5gotn "Application des réseaux OTN au transport pour la 5G" (en cours d'élaboration)
- La Recommandation UIT-T G.695 "Interfaces optiques pour les applications de multiplexage par répartition espacée en longueur d'onde"

⁶ Rapport technique de série G "Réseaux de transport permettant de prendre en charge les IMT-2020/5G" (GSTR-TN5G): <http://www.itu.int/pub/publications.aspx?lang=en&parent=T-TUT-HOME-2018>

- La Recommandation UIT-T G.698.4 "Applications DWDM bidirectionnelles multicanal avec interfaces optiques monocanal indépendantes du port"
- La Recommandation UIT-T G.959.1 "Interfaces de couche Physique de réseau optique de transport".

3.5 Spectre pour la 5G

Le déploiement des réseaux 5G à grandes capacités nécessitera une plus grande largeur de bande que pour la 4G, ce qui accroîtra les besoins de spectre. En conséquence, le secteur collabore à l'harmonisation du spectre mis à disposition pour la 5G. L'UIT-R coordonne l'harmonisation, à l'échelle internationale, des bandes de fréquences supplémentaires qui seront utilisées pour mettre en place les systèmes mobiles 5G (Encadré 5). L'UIT-T joue pour sa part un rôle essentiel dans l'élaboration de normes applicables aux technologies et architectures des éléments filaires des systèmes 5G.

Encadré 5: L'UIT-R et la faisabilité technique des IMT aux fréquences comprises entre 24 et 86 GHz

L'UIT-R examine dans quelle mesure il sera possible, sur le plan technique, d'utiliser des fréquences comprises entre 24 et 86 GHz pour la 5G sur la base d'études de nombreux acteurs du secteur (dont certaines sont encore en cours). Avec l'utilisation de hautes fréquences, il est de plus en plus possible de recourir à des solutions reposant sur la technologie MIMO et la formation de faisceaux. Les bandes supérieures et inférieures à 6 GHz pourraient être utilisées de façon complémentaire à partir de 2020. L'UIT devrait se prononcer sur l'utilisation de bandes de fréquences supplémentaires comprises entre 24 GHz et 86 GHz au profit des IMT à la Conférence mondiale des radiocommunications de 2019 (CMR-19).

Nouvelles bandes de fréquences à l'étude en vue de la CMR-19:

Bandes de fréquences actuellement attribuées au service mobile	Bandes de fréquences actuellement non attribuées au service mobile à l'échelle mondiale
24,25-27,5 GHz	31,8-33,4 GHz
37-40,5 GHz	40,5-42,5 GHz
42,5-43,5 GHz	
45,5-47 GHz	47-47,2 GHz
47,2-50,2 GHz	
50,4 GHz-52,6 GHz	
66-76 GHz	
81-86 GHz	

Suivant les cas d'utilisation de la 5G, on pourrait faire appel à différentes bandes de fréquences. Par exemple les fréquences correspondant aux ondes millimétriques (supérieures à 24 GHz) pourraient convenir aux applications à courte portée et à faible temps de latence (indiquées pour les zones urbaines densément peuplées). Pour leur part, les fréquences inférieures à 1 GHz pourraient convenir aux applications à longue portée nécessitant une faible largeur de bande (indiquées pour les zones rurales). Tandis que les basses fréquences offrent de meilleures caractéristiques de propagation pour une meilleure couverture, les hautes fréquences prennent en charge des largeurs de bande plus

importantes, du fait de la large portion de spectre disponible dans les bandes d'ondes millimétriques. A cet égard, Huawei a adopté une méthode plurielle en matière d'utilisation du spectre, qui résume le mieux cette stratégie (voir l'Encadré 6).

La difficulté pour les autorités nationales de régulation consistera à choisir des bandes de fréquences harmonisées mondialement aux fins de la 5G. La meilleure façon d'atteindre cet objectif consistera à tenir compte des décisions prises à la CMR-19 concernant les bandes de fréquences élevées ainsi que de celles prises à la CMR-07 et à la CMR-15 pour ce qui est des bandes de fréquences basses.

Si la Commission européenne considère que la bande des 700 MHz doit être utilisée pour que les services 5G puissent être fournis dans une grande zone et à l'intérieur des bâtiments⁷, cette bande pourrait servir à améliorer la couverture 4G dans certaines parties d'Afrique. D'ici à 2020, les réseaux 4G ne devraient couvrir que 35% de la population subsaharienne, de nombreuses zones rurales n'ayant que peu accès, voire pas du tout, aux services mobiles 4G, alors que les réseaux 4G couvrent en moyenne 78% de la population mondiale⁸. C'est pourquoi les décideurs d'Afrique subsaharienne pourraient bien voir dans la bande de fréquences des 700 MHz le meilleur moyen d'augmenter le taux de couverture des services 4G dans les zones rurales plutôt qu'un outil pour la 5G.

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager de mettre à disposition des bandes de fréquences basses (par exemple la bande des 700 MHz), afin que les zones rurales puissent avoir accès au large bande mobile.

Encadré 6: Perspective d'un opérateur – La stratégie plurielle d'Huawei en matière d'utilisation du spectre

- **Volet couverture** – Utilisation des bandes de fréquences inférieures à 2 GHz (par exemple la bande des 700 MHz) assurant une couverture dans les grandes zones et partout à l'intérieur des bâtiments.
- **Volet couverture et capacités** – Utilisation des fréquences comprises entre 2 et 6 GHz assurant le meilleur compromis entre capacités et couverture.
- **Volet données haut débit** – Utilisation des fréquences supérieures à 6 GHz et des ondes millimétriques pour des cas d'utilisation précis nécessitant des débits de données extrêmement hauts.

Source: <http://www.huawei.com/en/about-huawei/public-policy/5g-spectrum>

Selon la GSMA, la portion de spectre 3,3-3,8 GHz devrait être à la base de bon nombre des services 5G initialement proposés, notamment les services eMBB. Cela tient au fait que la gamme 3,4-3,6 GHz est harmonisée presque partout dans le monde, ce qui en fait un bon moyen de réaliser les économies d'échelle nécessaires aux dispositifs à faible coût.

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager de se regrouper pour parvenir à un accord sur l'harmonisation des bandes de fréquences pour la 5G. Les autorités nationales de régulation auraient ensuite intérêt à échanger leurs bonnes pratiques concernant les façons de faire évoluer les marchés en octroyant des licences d'exploitation du spectre.

⁷ Commission européenne: https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/ansip/blog/700-mhz-must-digital-single-market_en

⁸ GSMA: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/sub-saharan-africa-2017/>

4 Principales difficultés liées au déploiement de la 5G

La présente section passe en revue les principales difficultés que rencontrent les opérateurs de télécommunication qui déploient des réseaux 5G. Elle porte plus particulièrement sur la façon dont l'adoption de politiques gouvernementales et de réglementations appropriées peut aider les opérateurs hertziens à déployer des petites cellules, sur le raccordement à la fibre optique et sur l'utilisation du spectre.

4.1 Difficultés liées au déploiement des petites cellules

Dans certains pays, la réglementation et les politiques des autorités locales freinent le développement des petites cellules, en imposant des obligations administratives et financières excessives aux opérateurs, bloquant ainsi l'investissement. Les contraintes auxquelles se heurtent les opérateurs dans le déploiement des petites cellules sont, entre autres choses, la longueur des processus d'autorisation et de passation de marchés, les frais excessifs et les réglementations obsolètes, qui représentent un obstacle en termes d'accès. Ces contraintes sont décrites dans l'Encadré 7 et sont présentées plus en détail ci-après:

- **Longueur des processus locaux d'autorisation et de planification:** Il faut 18 à 24 mois aux autorités locales pour approuver les demandes de planification pour l'installation de petites cellules (Encadré 7), ce qui entraîne des contretemps.
- **Longueur des processus de passation de contrats et de marchés:** Les autorités locales ont recours à des processus de passation de marchés fastidieux, d'une durée de 6 à 18 mois, afin d'octroyer aux fournisseurs hertziens des droits exclusifs pour l'installation de petites cellules sur le mobilier urbain, ce qui entraîne une perte de temps et d'argent.
- **Redevances et frais élevés pour accéder au mobilier urbain:** Les autorités locales facturent des redevances élevées pour l'utilisation du mobilier urbain. Selon l'Institut américain de la consommation, une ville a fixé à 30 000 USD la redevance pour les demandes visant à installer une petite cellule sur un pylône de services collectifs. Une autre ville impose une redevance de 45 000 USD.
- **Exposition des personnes aux champs électromagnétiques radiofréquences (RF-EMF):** Les limites d'exposition varient selon les pays, et, dans certains cas, sont plus strictes que nécessaire. Lorsqu'il n'existe pas de limites d'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences, ou lorsque de telles limites existent mais ne portent pas sur les fréquences concernées, l'UIT recommande d'appliquer les limites fixées par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI). Lorsqu'on ajoute de nouvelles antennes, il convient de suivre toutes les étapes des procédures pendant la phase de déploiement afin de répondre aux inquiétudes éventuelles de la population. La visibilité des antennes, en particulier sur les toits des bâtiments, est l'un des facteurs qui nourrit ces inquiétudes. Dans ce type de cas, des antennes multibande peuvent être utilisées pour réduire l'impact visuel tout en conservant le même nombre d'antennes sur les toits. En l'absence de stratégies de redéploiement du spectre ou des technologies, les réseaux 5G entraîneront une augmentation de l'exposition locale liée aux technologies hertziennes, du moins pendant la période de transition. Il est donc important de travailler avec les autorités nationales dès les premières étapes du processus lorsque l'on cherche à déterminer comment la 5G sera déployée et activée et que l'on réfléchit à la meilleure façon d'évaluer et de respecter les limites nationales. Ces mesures se sont déjà révélées difficiles à mettre en oeuvre dans les pays où les limites d'exposition sont plus strictes que celles recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sur la base des directives de la CIPRNI relatives à l'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences¹.

¹ Issu du Supplément UIT-T K.Suppl.9 "Technologies 5G et exposition des personnes aux champs électromagnétiques radiofréquences": <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.Sup9/en>

- **Droits d'accès et droits conférés par le code:** Les opérateurs hertziens² peuvent ne pas avoir le droit d'installer des petites cellules ou des appareils de radiocommunication sur du mobilier urbain tel que les lampadaires. Au Royaume-Uni, par exemple, le code a été actualisé pour résoudre ces problèmes, mais compte tenu de son caractère non-contraignant, son efficacité est discutable.

Nombre de ces règles et réglementations locales empêchent le déploiement rapide et rentable des petites cellules dans les centres urbains, où l'on s'attend à ce que la demande de services 5G soit le plus élevé initialement. Ce sont les décideurs qui appliquent des processus réglementaires simplifiés et flexibles qui tireront le meilleur parti de l'innovation et de la croissance économique offerts par les technologies 5G.

Encadré 7: Point de vue des entreprises sur les obstacles au déploiement des petites cellules

Des fournisseurs de télécommunication tels que Crown Castle, AT&T, Sprint, T-Mobile et Verizon ont fait état de l'existence d'obstacles réglementaires considérables, imposés par les autorités locales (parmi lesquels des frais excessifs, des interdictions concernant l'installation de petites cellules, des restrictions excessives concernant les aspects esthétiques et la longueur des processus d'autorisation). L'entreprise Crown Castle a indiqué qu'il lui fallait généralement 18 à 24 mois, du début à la fin du processus, pour déployer des petites cellules, ce qui est en grande partie dû à la nécessité d'obtenir des permis locaux pour l'installation des dispositifs.

Source: <https://goo.gl/6UaKJ4>

Les petites cellules doivent encore être déployées à grande échelle en Asie, malgré le fait que des opérateurs hertziens japonais et coréens aient densifié leurs réseaux au moyen de macrocellules utilisant des réseaux C-RAN. Au Japon et en Corée (République de), le déploiement de réseaux C-RAN est rendu possible par la grande disponibilité des raccordements par fibres optiques, ce qui n'est pas nécessairement le cas dans d'autres marchés.

4.2 Raccordement à fibre optique

Le déploiement de réseaux de raccordement par la fibre optique pour les petites cellules (l'objectif étant de transmettre des données à haut débit avec une latence faible) sera l'un des principaux défis que devront relever les opérateurs, compte tenu de la faible disponibilité des réseaux à fibres optiques dans de nombreuses villes.

Le Royaume-Uni, par exemple, présente l'un des plus faibles taux de pénétration de la fibre optique en Europe, à savoir 2%. En comparaison, la moyenne européenne est d'environ 9%³. Pour encourager les investissements dans les réseaux à fibres optiques, le Gouvernement du Royaume-Uni a mis en place une mesure d'allègement des impôts des sociétés d'une durée de cinq ans pour les nouvelles infrastructures de réseau à fibres optiques⁴.

² Les droits conférés par le code sont des autorisations statutaires qui confèrent à des opérateurs de télécommunication spécifiques le droit d'installer, d'entretenir, d'ajuster, de réparer ou de modifier leurs équipements installés sur des propriétés publiques ou privées. Afin d'obtenir de tels droits, un fournisseur de télécommunication doit formuler une demande auprès d'OFCOM, l'autorité de régulation des télécommunications du Royaume-Uni, et obtenir son agrément.

³ <https://www.ispreview.co.uk/index.php/2017/02/uk-shunned-2017-ftth-ultrafast-broadband-country-ranking.html>

⁴ Le Valuation Office Agency du Royaume-Uni a récemment réévalué le montant des impôts des sociétés, ce qui entraînera une augmentation des impôts que devront payer les opérateurs de réseau à fibres optiques. Des impôts des sociétés élevés pourraient avoir des effets négatifs sur le modèle commercial qui consiste à déployer la connectivité à fibre optique pour appuyer le développement des petites cellules.

Encadré 8: Obstacles au déploiement de réseaux à fibres optiques

- **Autorisations de planification refusées:** En l'absence de dialogue avec les autorités locales dès les premières étapes du processus, les opérateurs peuvent voir leurs autorisations de planification refusées. La politique des autorités locales concernant l'emplacement et les aspects esthétiques des armoires extérieures peut également faire augmenter les coûts et les délais, pendant que l'on recherche des solutions de remplacement.
- **Processus complexes pour l'octroi de servitudes:** Les accords de servitude permettent aux opérateurs d'installer des infrastructures de télécommunication sur des propriétés publiques ou privées. Le fait que certains propriétaires fonciers fassent appel à un processus de passation de marchés pour l'octroi de servitudes accroît les risques, les délais et le coût du processus. En outre, les servitudes personnalisées ont un coût élevé. Le recours au système de servitudes par les autorités locales pour obtenir des recettes fait également obstacle à l'investissement.

Source: Intelligens Consulting, 2018

Lorsque le déploiement de raccordements vers l'arrière par fibre optique n'est pas rentable, les opérateurs devraient se tourner vers les technologies hertziennes utilisées pour les liaisons de raccordement. Dans ce type de cas, il convient d'envisager un éventail de technologies hertziennes, dont les liaisons point à multipoint (PMP), les fréquences millimétriques et les technologies satellitaires, en complément de la fibre optique.

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager d'alléger les charges fiscales afin de réduire le coût des investissements liés à la fibre, de façon à faciliter le déploiement des réseaux 5G.

D'autres problèmes qui se posent pour les opérateurs sont présentés dans l'Encadré 8.

Conclusion importante: Les autorités locales pourront négocier des accords de servitude normalisés afin de réduire les coûts et les délais de déploiement des réseaux à fibres optiques.

4.3 Spectre

L'attribution et l'identification de portions de spectre harmonisées au niveau mondial à diverses fréquences exigent une coordination entre la communauté mondiale, les organisations régionales de télécommunication et les autorités nationales de régulation. Il s'agit de l'un des principaux défis que devront relever les autorités nationales de régulation pour parvenir à déployer les réseaux 5G. L'harmonisation de l'attribution des fréquences présente de nombreux avantages, car elle permet de réduire les brouillages radioélectriques le long des frontières, de faciliter l'itinérance internationale et de réduire le coût des équipements. Cette coordination globale est l'objectif principal que poursuit l'UIT-R dans le cadre des Conférences mondiales des radiocommunications (CMR).

En ce qui concerne la CMR-19, ce processus est actuellement à l'étape qui consiste à obtenir un consensus en vue de l'attribution et de l'identification, pour les IMT, de grands blocs contigus de fréquences harmonisées au niveau mondial au-dessus de 24 GHz, où de larges bandes de fréquences sont disponibles. Les décisions prises par la CMR-19 à ce sujet seront fondées sur les études approfondies menées par l'UIT-R relatives au partage et à la compatibilité entre le service mobile et les services existants dans ces bandes de fréquences et dans les bandes adjacentes.

Un certain nombre d'autorités nationales de régulation de pays développés envisagent d'utiliser les bandes des 700 MHz, des 3,4 GHz et des 24 GHz pour le déploiement initial de la 5G, afin de répondre aux besoins en matière de couverture et de capacité.

Le partage du spectre peut également être envisagé afin d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles. Historiquement, les autorités nationales de régulation ont attribué des fréquences aux opérateurs mobiles de façon exclusive. Toutefois, face aux besoins croissants, le partage du spectre peut être une manière d'optimiser l'utilisation des ressources existantes.

Conclusion importante: Les décideurs devraient envisager d'utiliser des bandes de fréquences harmonisées au niveau mondial pour optimiser l'utilisation des fréquences disponibles.

Il convient également d'étudier de manière plus approfondie les modèles d'octroi de licences et d'utilisation des fréquences pour la 5G, en particulier les fréquences supérieures à 24 GHz. En règle générale, les petites largeurs de bande de fréquences disponibles pour les systèmes mobiles (par exemple 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz) sont rares. Elles peuvent ainsi atteindre un prix élevé lors des enchères. Les fréquences supérieures à 24 GHz sont plus facilement disponibles, c'est pourquoi le problème de la pénurie ne se pose pas. Ces facteurs auront une influence sur les modèles commerciaux et sur la mise aux enchères du spectre. Les autorités nationales de régulation devraient étudier les modèles d'octroi de licences qu'il convient d'utiliser (voir également la section 5.7). L'UIT a publié des exemples d'approches adoptées par certains pays pour le partage du spectre, par exemple dans le cadre du Rapport de l'UIT sur la Résolution 9 de la CMDT-14.

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager d'établir une feuille de route relative au spectre qui prévoit des modèles d'utilisation exclusive, partagée et sans licence, avec un processus de renouvellement prévisible. Les décideurs devraient éviter d'appliquer des prix artificiellement élevés pour l'attribution du spectre aux réseaux 5G et se tourner plutôt vers des procédures qui favorisent l'investissement lors de l'octroi de licences d'utilisation du spectre.

4.4 Autres facteurs

- **Disponibilité des dispositifs** – La disponibilité de dispositifs compatibles avec les normes 5G et les fréquences correspondantes sera essentielle pour susciter la demande des utilisateurs en faveur de services 5G lors du lancement initial. Les fabricants oeuvrent actuellement à l'élaboration d'une technologie qui intègre la 5G, la 4G, la 3G et la 2G dans une seule et même puce. Cette technologie devrait être disponible à partir de 2019, et à partir de 2020 en ce qui concerne les normes mondiales harmonisées.
- **Coordination des secteurs verticaux** – Le secteur des télécommunications est un écosystème formel bien réglé qui se compose de fabricants de dispositifs et de puces électroniques, de vendeurs d'équipements et d'opérateurs sur le marché de détail et le marché de gros. Au sein de cet écosystème, la collaboration est un processus relativement courant lorsqu'il s'agit d'élaborer de nouvelles normes et de nouveaux services.
- **Neutralité de l'Internet** – L'ORECE, organe européen de régulation des télécommunications, a publié la version finale de ses lignes directrices concernant la manière de renforcer la neutralité de l'Internet en imposant aux fournisseurs de services Internet de traiter tous les types de trafic web de la même manière, sans favoriser certains services par rapport à d'autres. Toutefois, 17 opérateurs mobiles, dont Deutsche Telekom, Nokia, Orange, Vodafone et BT, ont fortement fait pression sur l'ORECE afin qu'il adopte une interprétation plus souple des lignes directrices, en indiquant que celles-ci "engendrent des incertitudes majeures quant aux retours sur investissement de la 5G". En outre, ces entreprises ont déclaré qu'elles *ne déploieraient pas* de réseaux 5G à haut débit si l'ORECE n'adoptait pas une approche plus permissive de la neutralité de l'Internet⁵.

⁵ "Manifeste pour un déploiement rapide de la 5G en Europe", divers acteurs du secteur, juillet 2016: <http://telecoms.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2016/07/5GManifestofortimelydeploymentof5GinEurope.pdf>

5 A quoi reconnaît-on une "bonne" solution?

La présente section passe en revue les enseignements que l'on peut tirer de la façon dont les fournisseurs de services hertziens, les autorités nationales de régulation et les gouvernements du monde entier résolvent les questions liées au déploiement des réseaux 5G.

5.1 Rationaliser le déploiement des petites cellules

Des projets de loi ont été proposés dans l'Illinois, dans l'État de Washington, en Floride et en Californie en vue de rationaliser le déploiement de petites cellules sur le mobilier urbain. Ces projets de loi imposent des restrictions sur les redevances appliquées par les autorités locales, et certains d'entre eux vont plus loin encore afin de s'assurer qu'aucun accord exclusif n'est conclu avec les fournisseurs de services hertziens.

Conclusion importante: L'administration fédérale et les autorités des États devraient travailler avec les municipalités locales afin de s'assurer que des frais raisonnables soient facturés pour l'installation de dispositifs radioélectriques à petites cellules sur le mobilier urbain.

Encadré 9: Rationaliser le déploiement des petites cellules

En septembre 2017, la Californie a adopté un projet de loi visant à rationaliser le déploiement des petites cellules en autorisant leur utilisation et en faisant en sorte que leur déploiement ne soit plus soumis à des autorisations locales discrétionnaires ou conditionnées au respect de certains critères spécifiques. La nouvelle législation normalise le déploiement des petites cellules au niveau de l'État. En outre, ce projet de loi:

- assure aux fournisseurs un accès non discriminatoire aux propriétés publiques;
- autorise les autorités locales à appliquer des frais d'autorisation lorsque ces frais sont justes, raisonnables, non discriminatoires et fondés sur les coûts;
- limite à 250 USD les coûts facturés par les autorités locales pour l'installation des dispositifs;
- empêche les gouvernements locaux d'appliquer des limites abusives pour la durée des autorisations concernant les installations de télécommunication.

En Floride, une approche similaire a été proposée dans le cadre d'un projet de loi qui impose aux autorités de n'exercer aucune discrimination dans le traitement des demandes d'installation de petites cellules sur les poteaux électriques et d'approuver les demandes dans les délais impartis. Le projet de loi propose également d'interdire aux autorités de conclure des accords exclusifs avec des fournisseurs pour leur permettre d'installer des dispositifs sur des poteaux électriques qui sont la propriété des autorités. De plus, il dispose que les autorités ne peuvent facturer un montant supérieur à 15 USD par an et par poteau électrique.

Dans l'État de Washington, un projet de loi propose d'autoriser l'installation de petites cellules sur des biens publics et de limiter le montant des redevances à 500 USD par an. Dans l'Illinois, un projet de loi dispose que les autorités locales ne peuvent ni interdire, ni réguler le déploiement de dispositifs hertziens à petites cellules, ni le facturer aux opérateurs.

Sources: Californie SB-649, 2017; Floride SB-596, 2017; Washington SB-5711, 2017; Illinois SB-1451, 2017

Conclusion importante: Les autorités locales pourront envisager d'améliorer l'accès au mobilier urbain public et de rationaliser les processus de passation de contrats en tant que solutions alternatives aux processus de passation de marchés, plus longs.

5.2 Intervention des pouvoirs publics – Fibre optique et spectre

Selon le FTTH Council, les grandes économies telles que le Royaume-Uni présentent un faible taux de pénétration de la fibre en raison d'un manque d'investissements dans les réseaux reposant uniquement sur la fibre optique.

L'Encadré 10 présente les mesures actuellement mises en oeuvre par des décideurs au Royaume-Uni pour améliorer la pénétration de la fibre dans la perspective de la 5G.

Encadré 10: Investissements du Royaume-Uni dans la fibre optique

En 2016, le Gouvernement du Royaume-Uni a annoncé la création d'un Fonds de promotion d'un montant de 740 millions GBP consacré à l'investissement dans des réseaux locaux tout fibre optique pour favoriser le déploiement de la 5G. Les ressources de ce Fonds sont actuellement distribuées aux autorités locales du Royaume-Uni dans le cadre d'un processus concurrentiel.

Sources: Ministère fédéral des transports et de l'infrastructure numérique, Allemagne, 2017; "a 5G Strategy for Germany", Gouvernement fédéral d'Allemagne, 2017; Département des médias, de la culture et du sport, Gouvernement du Royaume-Uni, 2016

Le Gouvernement australien a élaboré un programme d'action clair en faveur de la 5G afin d'accélérer le déploiement de l'infrastructure numérique et la disponibilité des fréquences pour la 5G (voir l'Encadré 11).

Encadré 11: Groupe de travail sur la 5G, Australie

Le Gouvernement australien élabore actuellement un Document d'orientation sur la 5G qui définit la stratégie politique de l'Australie vis-à-vis de la 5G et qui prévoit la création d'un groupe de travail sur la 5G afin de faciliter le processus de dialogue avec le secteur privé. Ce document présente des mesures visant à mettre à disposition rapidement des bandes de fréquences et à rationaliser les mécanismes existants pour permettre aux fournisseurs de services hertziens de déployer l'infrastructure numérique plus rapidement et à moindre coût.

Source: "5G-Enabling the Future Economy", Département des communications et des arts, Australie, 2017

Conclusion importante: Lorsque le marché ne joue pas son rôle, les gouvernements pourront envisager de stimuler les investissements dans les réseaux à fibres optiques et les ressources passives par la conclusion de partenariats public-privé, la création de fonds d'investissement, l'octroi de subventions, etc.

5.3 Partage de l'infrastructure

Bien que la fibre optique constitue la méthode privilégiée pour le raccordement vers l'arrière, cette technologie n'est pas nécessairement attractive du point de vue commercial. Même à un niveau modéré, le partage des conduits et la réutilisation peuvent permettre de réaliser d'importantes économies dans le déploiement de réseaux à fibres optiques. Les politiques réglementaires qui encouragent le partage et la réutilisation des infrastructures peuvent contribuer à faire baisser dans une large mesure les coûts du déploiement de la 5G. Elles peuvent toutefois se révéler difficiles à mettre en oeuvre (voir l'Encadré 12).

Encadré 12: Partage des réseaux imposé

- En novembre 2017, les Pays-Bas ont adopté un projet de loi visant à accélérer le déploiement du large bande. Ce projet de loi impose à tous les propriétaires/administrateurs de réseaux et d'infrastructures connexes d'accepter les demandes raisonnables d'accès partagé et/ou de déploiement coordonné de réseaux, et de partager des informations sur leur infrastructure.
- Le Ministère des communications et des technologies de l'information de l'Indonésie oeuvre à l'élaboration de nouvelles règles visant à encourager le développement du partage des infrastructures passives, telles que les conduits, les poteaux, les tours, les armoires, etc.
- Ofcom, l'autorité de régulation des télécommunications du Royaume-Uni, mène actuellement une consultation auprès des acteurs du marché en vue d'imposer à BT, opérateur historique et acteur de premier plan sur le marché, d'offrir l'accès à ses conduits à fibres optiques aux opérateurs concurrents. Les précédentes tentatives visant à rendre obligatoire l'accès à la fibre inutilisée n'ont pas abouti.
- En Italie, la législation sur le large bande à ultra-haut débit a permis à l'opérateur TIM et à UTILITALIA (fédération des entreprises du secteur de l'électricité, du gaz, de l'eau et de l'environnement) de signer un mémorandum d'accord en vue de faciliter l'utilisation des infrastructures existantes de plus de 500 fournisseurs de services collectifs locaux afin de déployer des réseaux à fibres optiques.

Sources: <https://goo.gl/kqYCRM> (Pays-Bas), <https://goo.gl/vWq7aD> (Indonésie), <https://goo.gl/vdFz9> (Ofcom, Royaume-Uni), <https://goo.gl/m24g32> (Italie)

Une étude menée par Vodafone indique qu'un régime d'accès aux conduits est couramment utilisé par les autorités nationales de régulation de la France, de l'Espagne et du Portugal, ce qui permet de réduire la charge bureaucratique et d'améliorer au maximum la transparence vis-à-vis de toutes les parties. A l'inverse, dans les pays où il a été imposé aux opérateurs en position de force sur le marché de donner l'accès à leur infrastructure, par exemple au Royaume-Uni et en Allemagne, nombre de ces dispositions détaillées font défaut¹.

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager d'étendre aux réseaux 5G les régimes d'accès aux conduits, ce qui contribuerait à réduire les coûts d'investissement liés aux réseaux de raccordement vers l'arrière à la 5G grâce à la fibre optique.

Les accords de partage du réseau pilotés par les entreprises sont la solution que privilégient la plupart des autorités nationales de régulation et semblent avoir recueilli une large adhésion sur le marché. Ces accords permettent d'accélérer le déploiement des réseaux 5G et d'en réduire le coût lorsque le partage du réseau est utilisé tant pour l'infrastructure mobile que pour la fibre optique (voir l'Encadré 13).

¹ "Best practice for passive infrastructure access", WIK-Consult, 2017: <https://www.vodafone.com/content/dam/vodafone-images/public-policy/reports/pdf/best-practice-passive-infrastructure-access-050517.pdf>

Encadré 13: Partage du réseau géré par les entreprises

- En Espagne, l'opérateur de télécommunication MASMOVIL a dépassé le seuil des dix millions de foyers desservis au moyen d'un réseau à fibres optiques utilisé en partage avec Orange España, dans le cadre d'un accord de partage.
- Au Portugal, Vodafone et l'opérateur NOS ont signé un accord afin de déployer et de partager un réseau à fibres optiques qui desservira près de 2,6 millions de foyers et d'entreprises. Les deux entreprises se donnent mutuellement l'accès à leurs réseaux respectifs en vertu de dispositions commerciales convenues.
- L'opérateur de réseau de gros de la Nouvelle-Zélande, Chorus, fait campagne auprès du gouvernement afin qu'il commence à planifier la mise en place d'un réseau mobile 5G unique (pouvant être partagé par tous les fournisseurs de services). Il s'agit d'une approche plus durable que celle qui consiste à avoir un réseau 5G distinct pour chacun des trois opérateurs mobiles du pays.
- Vodafone Cameroun a récemment signé un "accord stratégique national pour le partage du réseau" avec CamTel, ce qui permet à Vodafone d'utiliser l'infrastructure de réseau existante de CamTel à Douala et à Yaoundé et d'étendre la couverture de ses services à de nouvelles localités à travers le pays.
- Telenor Denmark et Telia Denmark ont signé un contrat de services avec Nokia afin de gérer leurs réseaux mobiles partagés, qui sont exploités par une société d'infrastructure (TT-Netvaerket).
- L'opérateur Econet Wireless (Zimbabwe) a déclaré qu'il était ouvert au partage de l'infrastructure dans le cadre d'un partage équitable et bilatéral.

Sources: <https://goo.gl/u2fojb> (Espagne), <https://goo.gl/bT9hZ4> (Portugal), <https://goo.gl/vh4LGP> (Nouvelle-Zélande), <https://goo.gl/AAbapS> (Cameroun), <https://goo.gl/JmuSnJ> (Danemark), <https://goo.gl/iSb4sq> (Zimbabwe)

Le recours à des fournisseurs d'infrastructures de gros indépendants pour la fourniture de réseaux à petites cellules s'est accru ces dernières années, ce qui a permis de réduire des coûts de déploiement, de promouvoir la concurrence sur le marché de détail et d'accroître la couverture des services. Le fournisseur de réseau hertzien Crown Castle (Etats-Unis), par exemple, a vu une augmentation de plus de 40% de ses recettes liées aux petites cellules entre 2015 et 2016², à mesure que les opérateurs mobiles densifient leurs réseaux en prévision du déploiement de la 5G.

5.4 Passage à la fibre optique

A l'heure actuelle, le prix de gros des réseaux d'accès en fils de cuivre est faible, donc plus compétitif que le prix des services par fibre optique, ce qui a des conséquences négatives sur l'adoption de la fibre optique. Il n'existe aucun consensus quant à la stratégie de tarification la plus appropriée pendant la transition du cuivre à la fibre. Les autorités nationales de régulation devraient envisager d'autoriser les opérateurs établis à *retirer les produits d'accès en fils de cuivre* dès lors qu'ils proposent des services d'accès en fibre optique, afin de ne pas saper l'intérêt commercial en faveur des services par fibre, plus onéreux (voir l'Encadré 14).

² <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2017/02/07/tower-talk-a-guide-to-the-latest-major-cell-site-developments/index.html>

Encadré 14: Passage à la fibre optique

- Le Gouvernement australien a fixé à 2020 la date limite à laquelle toutes les installations devront avoir fait la transition du cuivre à la fibre. En 2014, Telstra (Australie) a commencé à désactiver les services fournis au moyen de ses réseaux métalliques. L'initiative NBNCo, qui est financée par le gouvernement et qui a été le moteur de la connectivité de gros par fibre optique en Australie, abandonnera l'exploitation des réseaux métalliques dans les zones où elle fournit déjà des services par fibre optique.
- Verizon (Etats-Unis) a sollicité une autorisation réglementaire pour la migration de son réseau métallique dans certains marchés à compter de 2018. L'opérateur fournit des services au moyen de son infrastructure à fibres optiques et souhaite cesser l'exploitation de ses installations métalliques dans les Etats de la Virginie, de New York, du New Jersey, de la Pennsylvanie, de Rhode Island, du Massachusetts, du Maryland et du Delaware.
- ComReg, l'autorité irlandaise de régulation des télécommunications, a lancé un processus de consultation au sujet de la capacité de l'opérateur historique, Eir, à passer du cuivre à la fibre dans certaines régions du pays, en particulier dans les zones où la couverture de la fibre est étendue.
- L'opérateur Singtel (Singapour) a annoncé qu'il prévoyait d'abandonner l'exploitation de son réseau ADSL en fils de cuivre en avril 2018 afin d'accélérer l'adoption de services reposant sur la fibre par ses clients commerciaux et individuels à Singapour.
- Chorus (Nouvelle-Zélande) devrait bénéficier d'un assouplissement des dispositions réglementaires applicables à son réseau métallique dans le cadre de plans visant à déréglementer ce réseau lorsqu'il entrera en concurrence avec les réseaux d'accès en fibre optique à compter de 2020.

Sources: <https://goo.gl/2YVKsd> (Australie), <https://goo.gl/VCyfap> (Etats-Unis), <https://goo.gl/X3EeKa> (Irlande), <https://goo.gl/mRku1C> (Singapour), <https://goo.gl/n6kqVb> (Nouvelle-Zélande)

Conclusion importante: Les autorités nationales de régulation pourront envisager d'adopter des politiques et des mesures financières incitant à utiliser la fibre optique plutôt que le cuivre et stimulant le déploiement et l'adoption des services par fibre optique.

5.5 Résoudre les problèmes de planification au niveau local

Les opérateurs ont indiqué à de nombreuses reprises qu'il serait utile de disposer d'une base de données centrale qui recense toutes les infrastructures et tous les équipements de services collectifs disponibles, tels que les conduits de services collectifs ou les conduits des autorités locales, les réseaux à fibres optiques, les poteaux CCTV, les lampadaires, etc. Cette base de données pourrait également répertorier les principaux contacts et les processus permettant d'accéder à ces équipements. De telles bases de données ont déjà été créées au Portugal et en Espagne et pourraient exister dans d'autres pays.

Conclusion importante: Les autorités locales pourront envisager de tenir une base de données centrale répertoriant les principaux contacts et les ressources telles que les conduits de services collectifs, les réseaux à fibres optiques, les poteaux CCTV, les lampadaires, etc. afin d'aider les opérateurs à planifier le déploiement de leur infrastructure et à en estimer le coût avec précision.

Les accords de servitude normalisés utilisés par les autorités locales peuvent contribuer dans une large mesure à réduire les coûts et les délais de mise en place des réseaux à fibres optiques, comme l'illustre l'exemple de la " City of London Corporation " (voir l'Encadré 15).

Encadré 15: Accords de servitude normalisés de la "City of London"

En 2015, la "City of London Corporation" a déterminé que la principale raison à l'origine du manque d'investissement dans la fibre optique était la complexité du processus de servitude. L'entreprise a donc élaboré un guide pratique pour la normalisation des accords de servitude, afin de faciliter la mise en place efficace et efficiente de l'infrastructure à fibres optiques. Ce guide pratique est désormais mis à la disposition de toutes les autorités locales de Londres.

Source: <http://news.cityoflondon.gov.uk/standardised-toolkit-helps-london-businesses-get-faster-access-to-broadband/>

Les autorités locales devraient également normaliser les processus qui visent à octroyer aux opérateurs les autorisations nécessaires pour réaliser les travaux de voirie pertinents lors du déploiement de réseaux à fibres optiques ou de l'installation de petites cellules sur du mobilier urbain (Encadré 16). Le fait de mener des consultations auprès des acteurs du marché pour comprendre les problèmes qui peuvent se poser dans le cadre du déploiement et les solutions potentielles constitue également une bonne pratique³.

Conclusion importante: Les autorités locales pourront envisager de mener des consultations auprès des acteurs du marché ou des tests de marché pour identifier les bonnes pratiques relatives au déploiement des réseaux 5G avant de mettre en oeuvre des processus de passation de marchés formels.

Encadré 16: Processus de planification efficaces

En 2015, le bureau de la ville de Centennial (Colorado, Etats-Unis) chargé de l'octroi des permis a été autorisé à exiger la co-implantation des installations souterraines lorsque les opérateurs de télécommunication formulent une demande pour obtenir un droit de passage conséquent. Grâce à cette politique, la ville a pu coordonner les investissements, ce qui a permis des gains de temps et d'argent.

Dans le Kentucky (Etats-Unis), un guide relatif à la planification de la fibre a été publié à l'intention des collectivités et des services collectifs. Ce guide fournit notamment des conseils sur la rationalisation des études concernant les besoins, sur les demandes de permis et sur l'élaboration d'accords pour l'installation d'équipements sur des poteaux.

Sources: Ville de Centennial, Colorado, 2015; <https://goo.gl/FswzSv> (Kentucky)

5.6 Harmonisation du spectre

Pour les applications 5G initiales, les bandes supérieures à 24 GHz et celles inférieures à 6 GHz sont privilégiées (voir l'Encadré 17). Les autorités nationales de régulation devraient coordonner leurs propositions au sujet des bandes millimétriques pour optimiser, dans toute la mesure possible, l'harmonisation des fréquences au niveau mondial.

En décembre 2017, afin de préparer les positions européennes communes en vue de la CMR-19, les ministres de l'Union européenne ont adopté une feuille de route pour le déploiement de la technologie 5G en Europe. Cette feuille de route permettra d'établir un consensus sur l'harmonisation des

³ http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100402171309/http://www.ogc.gov.uk/documents/Early_Market_Engagement_Guidance.pdf

bandes de fréquences pour la 5G et sur la façon dont ces bandes seront attribuées aux opérateurs à travers l'Europe.

Encadré 17: Propositions de certaines autorités nationales de régulation au sujet des fréquences attribuées à la 5G

- **Ofcom, Royaume-Uni:** En étroite collaboration avec les autorités nationales de régulation européennes, Ofcom a proposé d'utiliser les fréquences dans les bandes des 700 MHz, des 3,4 GHz et des 24 GHz pour la 5G. Ofcom a également proposé de modifier le régime d'autorisation applicable à la bande 64-66 GHz pour supprimer l'obligation de licence et d'étendre les cas d'utilisation dans la bande 57-66 GHz.
- **FCC, Etats-Unis:** La FCC a identifié près de 11 GHz de spectre pour une utilisation flexible du large bande hertzien, soit 3,85 GHz de spectre soumis à obligation de licence dans les bandes des 28 GHz, des 37 GHz et des 39 GHz.
- **MIIT, Chine:** Le MIIT prévoit d'attribuer des fréquences dans les ondes millimétriques aux services 5G dans les bandes 24-27 GHz et 37-42 GHz, outre les bandes 3,3-36 GHz et 4,8-5 GHz.
- **KCC, Corée (République de):** La KCC mettra aux enchères des fréquences pour la 5G dans les bandes des 3,5 GHz et des 28 GHz en 2018.
- **ACMA, Australie:** L'ACMA a annoncé qu'elle prévoyait de lancer une enchère pour des fréquences multi-bandes avant la fin de l'année 2017, avec des lots dans les bandes des 1 800 MHz, des 2 GHz, des 2,3 GHz et des 3,4 GHz.

Il est à noter que la CMR-15 a exclu la bande des 28 GHz du champ d'étude en vue de l'harmonisation internationale des ondes millimétriques pour les IMT lors de la CMR-19.

Sources: <https://goo.gl/kpPnTy> (Royaume-Uni), <https://goo.gl/Mc5wZx> (Etats-Unis), <https://goo.gl/bdusHx> (Chine), <https://goo.gl/pGz5jG> (Corée du Sud), <https://goo.gl/1aK5LY> (Australie)

5.7 Octroi de licences d'utilisation du spectre

Les procédures et les conditions de sélection concernant les licences pour la 5G peuvent avoir de grandes incidences sur la structure des marchés du mobile, en ce qu'elles sont susceptibles de renforcer ou de limiter la concurrence.

Historiquement, les autorités nationales de régulation ont octroyé des licences d'utilisation du spectre à des opérateurs mobiles en leur conférant des droits exclusifs pour la fourniture de services de téléphonie ou de données. Dans certains cas, les licences sont assorties d'obligations de couverture en termes de population ou de temps. Les licences d'utilisation du spectre permettent aux opérateurs mobiles de planifier l'infrastructure mobile ainsi que les investissements correspondants avec certitude, et devraient être assorties de conditions propres à garantir une utilisation efficace des fréquences attribuées, en particulier dans les zones rurales.

L'octroi de licences avec accès partagé peut améliorer l'utilisation du spectre dans les zones rurales. A titre d'exemple, l'octroi d'autorisations d'utilisation du spectre à des utilisateurs secondaires dans ces zones ne portera pas atteinte aux signaux radioélectriques du détenteur initial de la licence.

Actuellement, le partage du spectre est utilisé dans les domaines de la télémesure aéronautique, de la radiodiffusion et des caméras sans fil, par exemple. Ce modèle de partage du spectre pourrait être la solution qui dotera l'écosystème 5G de la souplesse nécessaire pour utiliser efficacement des

fréquences qui sont actuellement sous-utilisées par d'autres services, afin de fournir des capacités supplémentaires à moindre coût.

Au terme d'une étude, l'UIT-R a approuvé des outils de régulation visant à permettre l'amélioration de l'utilisation en partage du spectre⁴, ainsi que des principes de gestion du spectre, problèmes et enjeux liés à l'accès dynamique aux bandes de fréquences au moyen de systèmes de radiocommunication employant des fonctionnalités cognitives⁵.

En règle générale, lorsque le spectre est mis aux enchères, les opérateurs de services hertziens qui paient la redevance la plus élevée se voient octroyer des droits d'utilisation exclusifs. Les décideurs ont une opinion favorable des enchères, car elles génèrent des revenus considérables. Toutefois, elles peuvent se révéler contre-productives, dans la mesure où elles amoindrissent les fonds disponibles pour l'infrastructure, réduisant ainsi les retombées économiques⁶. À mesure que les investissements dans la 5G jouent un rôle plus important aux fins de l'économie numérique, il sera essentiel que les autorités nationales de régulation optent pour des procédures d'attribution des fréquences qui favorisent les investissements dans l'infrastructure et qui optimisent les retombées économiques.

Les fréquences sans licence permettent aux autorités nationales de régulation d'autoriser l'accès au spectre, mais cette solution donne lieu à des incertitudes quant à la durée de l'investissement, puisque les opérateurs ont l'obligation de ne pas causer de brouillages et de ne pas demander à être protégés contre les brouillages. En outre, les brouillages peuvent être difficiles à contrôler, voire impossibles à gérer. C'est pourquoi les fréquences sans licence sont plus adaptées aux bandes de fréquences élevées (par exemple, à la bande des ondes millimétriques, dont les caractéristiques de propagation sont moins bonnes), aux équipements à faible puissance (de façon à respecter les limites strictes applicables aux services primaires) et à des utilisations plus localisées. Compte tenu de ces facteurs, les autorités nationales de régulation pourront envisager d'utiliser des fréquences sans licence, par exemple pour le déploiement des petites cellules.

La GSMA considère que les licences d'utilisation du spectre sont essentielles pour garantir des services 5G de qualité, et que les fréquences sans licence peuvent jouer un rôle complémentaire à cet égard, en améliorant l'expérience des utilisateurs⁷.

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager d'utiliser des fréquences avec licence, sans licence et en partage pour instaurer un écosystème équilibré qui encourage l'investissement, qui optimise l'utilisation du spectre et qui favorise la concurrence.

5.8 Réseaux 5G pilotes

Au sein des gouvernements et des autorités nationales de régulation, les décideurs encouragent le déploiement précoce de technologies pilotes afin de promouvoir les investissements initiaux dans les réseaux et les infrastructures 5G et d'approfondir leur compréhension des technologies 5G (voir l'Encadré 18).

⁴ Voir le Rapport UIT-R SM.2404: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2404>

⁵ Voir le Rapport UIT-R SM.2405: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2405>

⁶ Des informations complémentaires sur les aspects économiques de la gestion du spectre sont disponibles dans le Rapport UIT-R SM.2012: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2012>

⁷ "5G Spectrum Public Policy Position", GSMA, 2016: <https://www.gsma.com/iot/iot-knowledgebase/gsma-public-policy-position-5g-spectrum/>

Encadré 18: Initiatives 5G menées par le gouvernement

- Par l'intermédiaire de l'Agence nationale pour la société de l'information (NISA), le Gouvernement de la Corée (République de) a mis en place des réseaux 5G pilotes pour les Jeux olympiques d'hiver 2018, afin d'offrir des expériences futuristes telles que la navigation fondée sur la réalité augmentée.
- Une subvention publique d'un montant de 17,6 millions GBP a été octroyée à un consortium mené par l'Université de Warwick en vue d'élaborer un banc d'essai central pour les véhicules autonomes connectés au Royaume-Uni. Des petites cellules seront déployées le long d'une route reliant Coventry et Birmingham, où les véhicules autonomes connectés seront testés.
- La FCC (Etats-Unis) a encouragé la communauté des chercheurs à formuler des demandes de licences expérimentales pour des fréquences radioélectriques non attribuées et non assignées, afin de promouvoir l'innovation et la recherche dans le cadre d'expériences menées dans des zones géographiques définies.
- La Commission européenne a publié un programme de travail intitulé "Horizon 2020" (2018-2020) afin de promouvoir l'innovation dans le domaine de la 5G, avec la participation de l'Union européenne, de la Chine, de Taiwan et des Etats-Unis. Parmi les activités prévues figurent des essais de bout en bout pour la mobilité transfrontière connectée et automatisée ainsi que des essais 5G dans plusieurs secteurs verticaux.
- L'Union fédérée d'instituts de recherche sur les télécommunications pour un laboratoire ouvert UE-Brésil (FUTEBOL) est à l'origine de travaux de recherche visant à promouvoir des ressources de télécommunication expérimentales au Brésil et en Europe. La FUTEBOL démontrera également des cas d'utilisation fondés sur l'IoT, sur des réseaux hétérogènes et sur les réseaux C-RAN.
- Le Ministère russe des communications a conclu un accord avec Rostelecom et Tattelcom pour créer une zone 5G expérimentale à Innopolis, une ville à la pointe de la technologie.

Sources: <https://goo.gl/JWFBCY> (Corée, République de), <https://goo.gl/FnLZCd> (Royaume-Uni), <https://goo.gl/wNVZqs> (Etats-Unis), <https://goo.gl/iXkYQo> (Europe), <https://goo.gl/VNeDwn> (UE-Brésil), <https://goo.gl/4DySs2> (Russie)

De plus, le secteur des télécommunications, qui se compose d'opérateurs, de vendeurs et d'instituts de recherche, participe à des bancs d'essai 5G indépendamment de toute intervention d'autorités nationales de régulation ou de gouvernements (voir l'Encadré 19).

Encadré 19: Bancs d'essais 5G menés par des entreprises

- Telstra (Australie) travaille en collaboration avec Ericsson sur des technologies 5G essentielles, dont la technique des entrées multiples/sorties multiples (MIMO) massives, la formation de faisceaux, la poursuite de faisceaux et les formes d'ondes. Telstra et Ericsson sont parvenus à des vitesses de téléchargement comprises entre 18 Gbit/s et 22 Gbit/s pendant le premier essai réel de la 5G en Australie. Optus a également mené un essai de la 5G avec Huawei et a atteint la vitesse de téléchargement la plus rapide du pays à ce jour, soit 35 Gbit/s.
- L'opérateur mobile italien Wind Tre, l'opérateur Open Fibre (opérateur italien de réseau à fibres optiques de gros) et le vendeur chinois ZTE ont annoncé la conclusion d'un partenariat en vue de mettre en place ce qui, selon eux, sera le premier réseau 5G précommercial d'Europe dans la bande 3,6-3,8 GHz. Ils collaboreront également avec des universités, des centres de recherche et des entreprises au niveau local pour tester et vérifier les performances de la 5G, l'architecture du réseau, l'intégration des réseaux 4G/5G et les futurs cas d'utilisation de la 5G – dont la réalité augmentée ou la réalité virtuelle, les villes intelligentes, la sécurité publique et les soins de santé. Le projet pilote sera mis en oeuvre jusqu'en décembre 2021.
- Un réseau 5G pilote a été déployé à l'intérieur et aux environs du stade Kazan Arena (Russie) pour la Coupe du monde de football 2018, dans le cadre d'un projet mené par Megafon. Rostelecom a également conclu un partenariat avec Nokia pour mettre en place un réseau 5G pilote hertzien dans un parc industriel de Moscou, de façon à tester divers scénarios d'utilisation de la 5G.
- Verizon (Etats-Unis) a annoncé qu'il prévoyait d'effectuer des essais pour la 5G dans plusieurs villes des Etats-Unis. Les déploiements seront fondés sur le raccordement hertzien plutôt que sur la fibre optique. AT&T a également indiqué qu'il mènerait des essais auprès des clients pour des réseaux 5G hertziens fixes, sur la base des essais récemment effectués à Austin, où l'opérateur est parvenu à une vitesse de 1Gbit/s avec moins de 10 millisecondes de latence. Les essais seront réalisés au moyen d'équipements fournis par Ericsson, Samsung, Nokia et Intel.
- L'opérateur Comsol prévoit de lancer le premier réseau 5G hertzien d'Afrique du Sud. Dans le cadre de ses essais, l'opérateur testera les performances de la 5G en conditions réelles, en utilisant des petites cellules en complément de macrocellules. Il est à prévoir que Comsol offrira des services hertziens fixes pour concurrencer les services FTTH.
- Huawei et NTT DOCOMO sont parvenus à atteindre une vitesse de 4,52 Gbit/s sur la liaison descendante sur 1,2km. Huawei a fourni l'une de ses stations de base 5G reposant sur la technologie MIMO massive et la formation de faisceaux en plus de son réseau central 5G.

Sources: <https://goo.gl/cWTC31> (Australie), <https://goo.gl/tYspR9> (Italie), <https://goo.gl/EQftwd> (Russie), <https://goo.gl/yxaoyy> (Etats-Unis), <https://goo.gl/Veuiaw> (Afrique du Sud), <https://goo.gl/Teq6e2> (Japon)

Conclusion importante: Les décideurs pourront envisager d'encourager les essais pilotes et les bancs d'essai afin de tester les technologies 5G et leurs cas d'utilisation et de promouvoir la participation du marché.

6 Exemples d'incidences sur le plan des coûts et de l'investissement

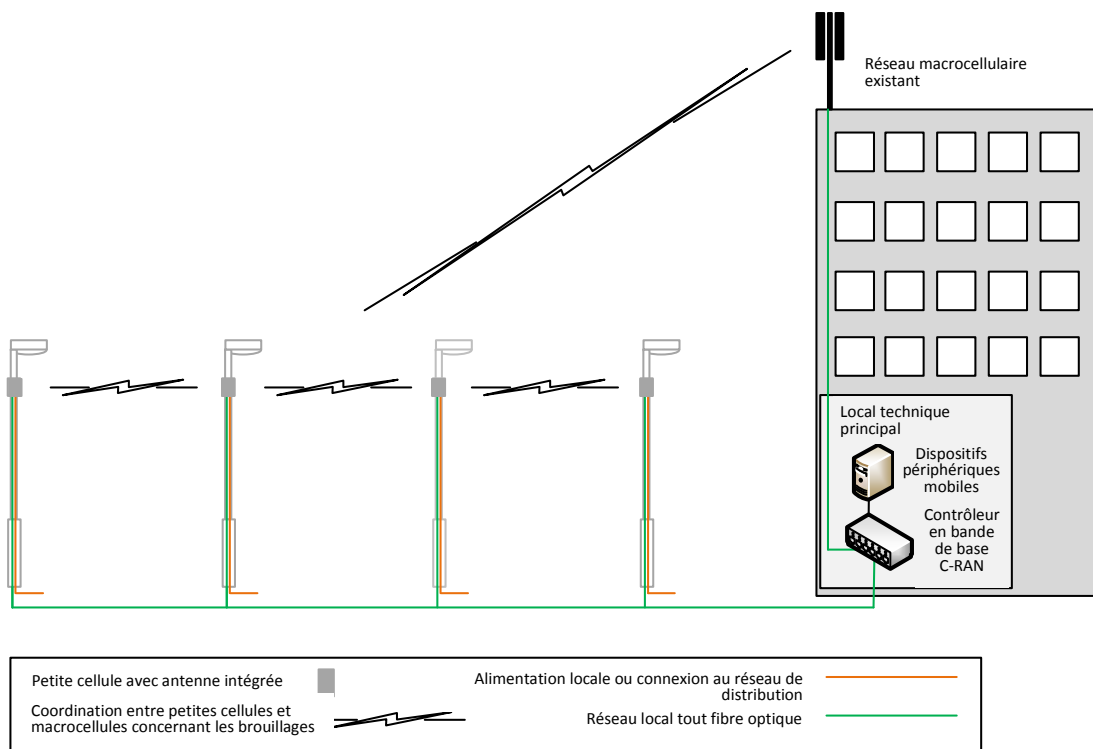
Le déploiement des petites cellules dans les centres urbains densément peuplés devrait représenter l'un des principaux investissements des opérateurs mobiles dans la perspective de la 5G. La présente section met en avant un exemple de modèle de coût de haut niveau pour estimer les investissements potentiels qui devront être effectués par un opérateur de réseau hertzien afin de déployer un réseau à petites cellules prêt à prendre en charge la 5G.

6.1 Vue d'ensemble

A la veille du lancement de la 5G, il est probable que les opérateurs s'emploieront principalement à améliorer la couverture 4G existante dans les zones urbaines en déployant des petites cellules. Ces dispositifs augmenteront la capacité de réseau disponible, amélioreront la couverture dans les rues et renforceront la qualité globale du réseau, pour atteindre les niveaux exigés par les réseaux 5G. En majeure partie, ces déploiements interviendront dans des villes ou des centres urbains densément peuplés.

Pour les besoins du présent exercice, nous avons pris l'exemple d'un réseau hertzien de gros à petites cellules déployé par un opérateur indépendant pour des opérateurs mobiles. Cette approche permet de réduire le coût total de possession pour les opérateurs mobiles et de rendre les dispositifs à petites cellules plus attractifs à leurs yeux. La Figure 7 présente un exemple typique de solution à petites cellules actuellement déployée dans certaines régions d'Europe et des Etats-Unis. Bien que cette approche se fonde sur une stratégie de raccordement vers l'arrière par la fibre optique, le raccordement hertzien peut être envisagé lorsque le déploiement d'un réseau de raccordement par la fibre optique n'est pas viable du point de vue commercial.

Figure 7: Solution neutre de gros à petites cellules typique



La solution est constituée des éléments suivants:

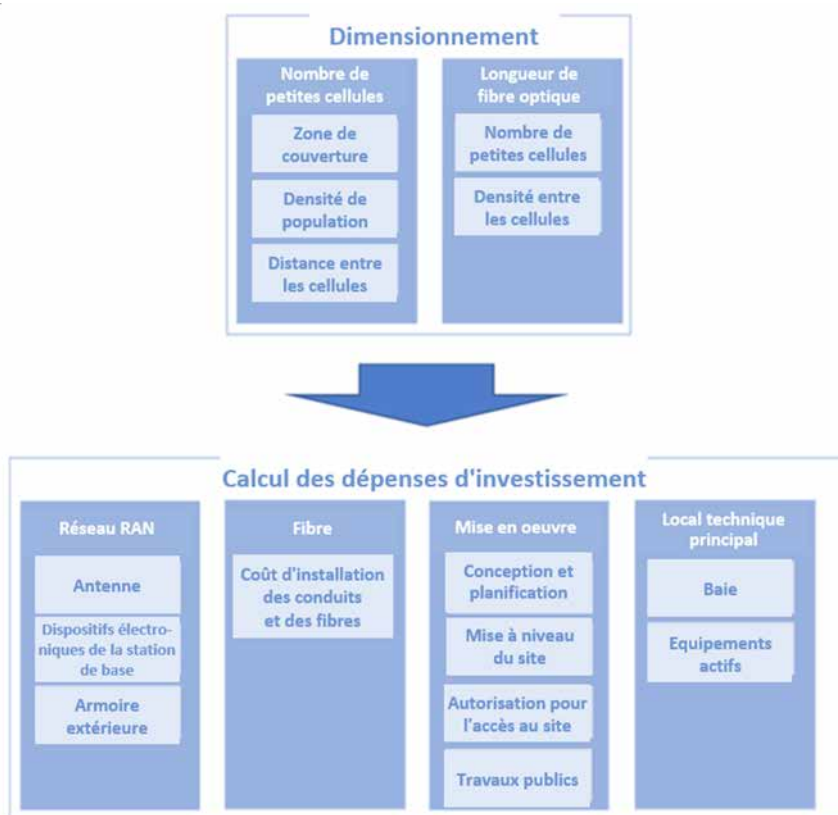
- **Antennes** – Système d'antennes à haute performance discret qui donne forme au signal de l'opérateur mobile pour améliorer au maximum la qualité de service pour les utilisateurs finals.

- **Eclairage public** – Déploiement d'antennes sur les dispositifs d'éclairage public pour limiter l'impact esthétique.
- **Armoires extérieures** – Local partagé dans lequel sont installés l'équipement radioélectrique, les batteries de secours et le matériel de commande des opérateurs mobiles.
- **Réseau à fibres optiques** – Fibre optique à haut débit qui connecte le réseau radioélectrique au réseau central. Il convient de noter que, dans certains cas, il peut être plus rentable d'utiliser un raccordement vers l'arrière hertzien.
- **Locaux techniques principaux** – Un ensemble de locaux techniques principaux partagés et localisés et un point d'interconnexion central pour les réseaux de raccordement vers l'arrière des opérateurs mobiles.

6.2 Méthodologie

L'objectif de ce modèle est de déterminer les dépenses d'investissement initiales pour le déploiement d'un réseau à petites cellules. Le modèle tient compte uniquement des dépenses d'équipement et exclut les coûts d'exploitation liés à l'électricité, à la location et à l'entretien. Dans la mesure où il s'agit d'un modèle de gros, les coûts des équipements radioélectriques des opérateurs mobiles ne sont pas reflétés, puisqu'ils seront supportés par chaque opérateur. Compte tenu des incertitudes liées aux coûts des fréquences attribuées aux services 5G et de l'investissement dans les technologies NFV/SDN, ces coûts sont également exclus, de même que les coûts liés à l'acquisition des sites, qui peuvent varier grandement d'une ville à l'autre. La Figure 8 montre que l'élaboration d'un modèle de coût se fait en deux étapes: le dimensionnement et le calcul des dépenses d'investissement.

Figure 8: Solution neutre de gros à petites cellules typique



Le dimensionnement du réseau vise à estimer le nombre de petites cellules et la longueur de fibre optique nécessaires, calculés en fonction de la zone de couverture, de la densité de population et

des distances entre les cellules. Les résultats de cet exercice sont ensuite utilisés pour déterminer les dépenses d'investissement totales nécessaires pour le réseau RAN, la fibre optique, le local technique principal, la mise en oeuvre et la conception en vue de déployer la solution à petites cellules.

Le modèle tient compte des éléments de coût ci-après:

- **Le coût du réseau RAN**, qui comprend le coût de l'antenne, de l'armoire extérieure et des dispositifs électroniques de la station de base tels que les batteries de secours et les modules d'entretien des réseaux.
- **Le coût de mise en oeuvre**, qui inclut les coûts de conception et de planification, les coûts de mise à niveau du site, les coûts d'autorisation et les coûts des travaux publics nécessaires pour installer les armoires extérieures.
- **Le coût du réseau à fibres optiques**, qui englobe la fourniture de 144 fibres optiques et de nouveaux conduits tout au long de la route où sont installés les équipements publics actifs.
- **Le coût du local technique principal**, constitué d'une baie unique et d'équipements de terminaison afin de fournir une interconnexion entre les opérateurs mobiles et le réseau de fibres optiques non utilisées dans un site mutualisé.

Il convient de noter que les coûts réels peuvent varier selon les pays, car il peut exister des disparités en termes de coût de la main d'oeuvre, de taux de changes, de coûts d'équipement et de taxes. Le modèle de coût prend l'exemple d'un pays occidental doté d'un marché très compétitif composé de quatre opérateurs mobiles, d'un niveau de couverture 4G avancé et d'une faible densité du réseau à fibres optiques en milieu urbain.

6.3 Scénarios

La méthodologie présentée ci-avant est utilisée dans deux cas de figure, pour estimer le coût du déploiement d'une solution à petites cellules connectées grâce à la fibre optique dans un quartier d'affaires en centre-ville. Le scénario 1 concerne une grande ville densément peuplée et le scénario 2 concerne une petite ville moyennement peuplée. Dans les deux cas, on suppose que la ville dispose d'un niveau de couverture 4G macrocellulaire avancé et que les caractéristiques des besoins de réseau sont telles que l'investissement dans des petites cellules 5G connectées par la fibre optique est intéressant du point de vue commercial.

Scénario 1 – Grande ville densément peuplée

Dans ce scénario, les hypothèses sont les suivantes:

- Zone de couverture urbaine proposée: 15 km²
- Densité de population dans la zone de couverture: 12 000 habitants/km²
- Distance entre les sites de petites cellules: 150 m.

Scénario 2 – Petite ville moyennement peuplée

- Zone de couverture urbaine proposée: 3 km²
- Densité de population dans la zone de couverture: 3 298 habitants/km²
- Distance entre les sites de petites cellules: 200 m.

Lorsqu'une ville est très étendue et densément peuplée, la pression exercée sur le réseau mobile est plus forte, ce qui exige d'installer les petites cellules à une faible distance les unes des autres. En conséquence, la distance entre les sites de petites cellules est plus faible dans le scénario 1 que dans le scénario 2.

6.4 Résultats

Les Figures 9 et 10 montrent que les dépenses d'investissement nécessaires pour déployer un réseau à petites cellules connectées grâce à la fibre optique peuvent varier de 6,8 millions USD dans le cas d'une petite ville à 55,5 millions USD pour une grande ville densément peuplée. Le coût au kilomètre carré du déploiement d'un réseau à petites cellules dans une ville densément peuplée est plus élevé, car la densité de petites cellules déployées est plus importante, compte tenu de la faible distance entre les sites de petites cellules.

Figure 9: Dépenses d'investissement pour le scénario 1 – Grande ville densément peuplée

Élément	Valeur
Dépenses d'investissement totales (en millions USD)	55,5
Nombre de sites de petites cellules	1 027
Coût par km ² (en millions USD)	3,7
Dépenses d'investissement par site (en millions USD)	54,1

Figure 10: Dépenses d'investissement pour le scénario 2 – Petite ville moyennement peuplée

Élément	Valeur
Dépenses d'investissement totales (en millions USD)	6,8
Nombre de sites de petites cellules	116
Coût par km ² (en millions USD)	2,3
Dépenses d'investissement par site (en millions USD)	58,6

Les dépenses d'investissement totales qui devront être engagées par chaque opérateur varieront en fonction du nombre d'habitants, de la densité de population, de la couverture 4G actuelle et de la zone de couverture proposée. De plus, le coût du déploiement de la fibre optique sera plus faible dans les villes où des conduits ou des réseaux à fibres optiques denses sont aisément disponibles et accessibles. Dans les cas où le raccordement hertzien se révélera plus rentable que la fibre optique, les coûts de raccordement seront considérablement réduits. Dans les villes où la densité du réseau à macrocellules existant est élevée (par exemple à Madrid où l'accès aux sites est moins restrictif qu'ailleurs), les petites cellules seront moins nécessaires. De la même manière, les opérateurs mobiles qui bénéficient de fréquences attribuées en grande quantité n'ont pas besoin de densifier leurs réseaux au moyen de petites cellules.

La Figure 11 présente une ventilation des éléments de coût pour les scénarios 1 et 2 et montre que les coûts de mise en oeuvre constituent le poste le plus important. Dans les régions où le coût de la main-d'oeuvre est faible, les coûts de déploiement seront moins élevés que les estimations figurant dans le présent rapport.

Figure 11: Éléments contribuant aux dépenses d'investissement

Distance entre les petites cellules	Scénario 1	Scénario 2
Equipements du réseau RAN (antenne, armoire extérieure, dispositifs électronique de la station de base, batteries de secours et modules d'entretien des réseaux)	25%	24%

Distance entre les petites cellules	Scénario 1	Scénario 2
Coûts de mise en oeuvre (coûts de conception et de planification, coût de mise à niveau du site, coûts d'autorisation et coût des travaux publics nécessaires pour installer les armoires extérieures)	50%	46%
Réseau à fibres optiques (fourniture de 144 fibres optiques le long de la route où sont placés les équipements publics actifs)	25%	30%
Local technique principal (baie unique et équipements de terminaison)	<0,1%	<0,1%

6.5 Estimations indépendantes des coûts

Les coûts susmentionnés – en particulier en ce qui concerne les dépenses d'investissement par site – sont conformes aux estimations du secteur privé. L'opérateur AT&T estime que les coûts de déploiement varient de 20 000 USD à 50 000 USD par site, si l'on suppose que le raccordement se fait par fibre optique, une ressource dont AT&T dispose en quantité^{1,2}. Selon Nokia, les dépenses d'investissement par site sont estimées entre 40 000 USD et 50 000 USD pour un site qui nécessite le creusement d'une tranchée et une alimentation.

Les travaux menés par des analystes indépendants estiment à 71 milliards GBP le coût total de possession pour le déploiement d'un réseau 5G ubiquitaire au Royaume-Uni avec un débit de 50 Mbit/s, pour une mise en place en 2020 et une exploitation jusqu'en 2030. Ce coût peut être ramené à 38 milliards GBP lorsque le partage de l'infrastructure est encouragé³.

D'autres rapports estiment que le coût du déploiement de la 5G à travers les Etats-Unis serait de l'ordre de 300 milliards USD. En Europe, les coûts d'investissement devraient être compris entre 300 milliards et 600 milliards d'euros, selon un opérateur mobile⁴.

Bien que ces rapports ne précisent pas les fréquences utilisées pour l'analyse, il est supposé que les coûts sont en grande partie dûs à la densification du réseau (par le déploiement de petites cellules) liés aux cellules de petite taille qui sont nécessaires compte tenu de l'utilisation de fréquences plus élevées (ondes millimétriques) pour la 5G, par exemple au-dessus de 24 GHz (voir la section 3.5).

6.6 Modèles d'investissement

Compte tenu du montant considérable des dépenses d'investissement requises pour déployer la 5G, les opérateurs sont face à un défi majeur qui consiste à justifier le bien-fondé des investissements dans la 5G. Les décideurs devront envisager des modèles d'investissement alternatifs (par exemple des partenariats public-privé, des prêts, des fonds de promotion et des instruments d'investissement) pour s'assurer bien à l'avance que les dépenses d'investissement ne constituent pas un obstacle pour les fournisseurs de réseaux hertziens.

Certains exemples d'actions gouvernementales ont déjà été présentés dans la section 5, dont un ensemble de partenariats public-privé. Ces initiatives peuvent être: i) menées par les autorités publiques, lorsque le gouvernement met en place et détient les réseaux à fibres optiques, comme c'est le cas au Qatar; ou ii) menées par des entités privées, lorsque le gouvernement finance partiellement le déploiement des réseaux à fibres optiques en partenariat avec le marché, comme c'est le cas en Allemagne.

¹ <https://www.rcrwireless.com/20170814/carriers/att-small-cell-cactus-antenna-concealment-tag17>

² <http://www.telecompetitor.com/cfo-extensive-fiber-assets-firstnet-give-att-an-advantage-on-5g-backhaul/>

³ <https://www.itrc.org.uk/wp-content/PDFs/Exploring-costs-of-5G.pdf>

⁴ <http://www.lightreading.com/mobile/5g/how-much-will-5g-cost-no-one-has-a-clue/a/d-id/733753>

D'autres approches consistent à octroyer des subventions aux autorités locales, comme au Royaume-Uni, afin d'installer et de mettre à niveau les ressources passives (telles que les conduits, les réseaux à fibres optiques, les centres de données, le mobilier urbain, etc.). Les gouvernements peuvent également offrir des prêts à taux faibles aux opérateurs en échange de garanties d'investissement, comme c'est le cas en Malaisie.

Dans les cas où les opérateurs préfèrent avoir recours aux capitaux de marchés privés, les gouvernements peuvent mettre en place des fonds d'investissement en collaboration avec des gestionnaires de fonds du secteur privé pour doter les opérateurs de capitaux propres. Ces capitaux permettent ensuite de financer les programmes des opérateurs pour l'expansion des réseaux.

Il existe de bien d'autres modèles de partenariats public-privé propres à encourager les investissements dans les réseaux de télécommunication, et ces modèles ont donné lieu à une documentation fournie⁵.

Tous les déploiements de la 5G n'exigent pas une intervention du gouvernement. A ce jour, certains déploiements à petites cellules et certains déploiements pré-5G ont été financés par des acteurs privés, comme cela a été démontré dans les précédentes sections.

⁵ "Investment strategies for broadband deployment and access to the digital economy", UIT, 2016

7 Conclusion

Jusqu'à ce que l'opportunité de l'investissement dans les réseaux 5G ait été solidement établie, les entreprises et les décideurs devraient se montrer prudents quant à la question des investissements, tout en améliorant la disponibilité et la qualité des réseaux 4G existants.

Il est à prévoir que la 5G jouera un rôle essentiel dans les économies numériques, en renforçant la croissance économique, en améliorant la qualité de vie des personnes et en ouvrant de nouvelles possibilités économiques.

Malgré ces avantages, il convient d'agir avec prudence pour définir l'intérêt commercial de la 5G et déterminer s'il s'agit d'une véritable priorité économique. Toute décision quant aux investissements dans la 5G doit s'appuyer sur une justification solide à cet égard.

Les opérateurs sont sceptiques quant aux retours sur investissement, compte tenu de l'ampleur considérable des investissements. Ils investissent actuellement dans des bancs d'essai et des réseaux pilotes 5G dans de grandes villes densément peuplées qui disposent de déploiements 4G évolués et d'une infrastructure d'appui plus adaptée à l'économie des réseaux.

Cette stratégie "axée sur les villes" aura probablement des incidences négatives sur la fracture numérique, car l'intérêt de la 5G est moins évident dans les zones rurales. Les autorités locales et les régulateurs doivent être conscients de ce risque et chercher à y remédier. Pour ce faire, ils peuvent promouvoir des mesures d'incitation commerciales et législatives afin de stimuler les investissements dans la fourniture de réseaux à fibres optiques et d'une couverture hertzienne abordable grâce à l'utilisation des bandes de fréquences inférieures à 1 GHz.

Pour stimuler le déploiement des réseaux 5G, il faut repenser l'approche des régulateurs, du gouvernement et des autorités locales vis-à-vis des politiques numériques. Dans ce contexte, il importe de garantir l'accès financièrement abordable aux biens publics, qui renforce l'intérêt du marché en faveur de l'investissement dans l'infrastructure à petites cellules et les fréquences attribuées à la 5G.

Annexe A

En prévision de la CMR-19, l'UIT-R mène des études de partage et de compatibilité dans les bandes de fréquences qui ont été définies à la CMR-15 et qui pourraient être identifiées pour la mise en oeuvre des IMT-2020 (5G).

Commission d'études 5 de l'UIT-R

La Commission d'études 5 de l'UIT-R (Services de Terre) est chargée des études relatives aux aspects radioélectriques généraux des systèmes IMT et des études liées au service mobile terrestre, y compris l'accès hertzien dans le service fixe.

Parmi les Recommandations et les Rapports élaborés par l'UIT-R, on peut citer:

- Recommandation UIT-R M.1457 "Spécifications détaillées des interfaces radioélectriques de Terre des télécommunications mobiles internationales-2000 (IMT-2000)". Cette Recommandation définit des spécifications pour les IMT-2000.
- Recommandation UIT-R M.2012 "Spécifications détaillées des interfaces radioélectriques de Terre des Télécommunications mobiles internationales évoluées (IMT évoluées)". Cette Recommandation définit des spécifications pour les IMT évoluées.
- Recommandation UIT-R M.2083 "Vision pour les IMT – Cadre et objectifs généraux du développement futur des IMT à l'horizon 2020 et au-delà". Cette Recommandation traite des fonctionnalités très diverses associées aux scénarios d'utilisation envisagés. Elle traite en outre des objectifs du développement futur des IMT-2020, qui consistent à améliorer encore les IMT existantes et à développer les IMT-2020.
- Rapport UIT-R M.2370 "Estimations de trafic pour les IMT pour la période 2020-2030". Avec l'augmentation de la demande de trafic pour les communications large bande mobiles liées aux IMT, le réseau de transport dans l'infrastructure mobile devient une application de plus en plus importante qui mérite une attention particulière.
- Rapport UIT-R M.2375 "Architecture et topologie des réseaux IMT". Ce Rapport propose une présentation générale de l'architecture et de la topologie des réseaux IMT ainsi qu'une analyse prospective du dimensionnement des besoins de transport respectifs en fonction des topologies-contribuant ainsi aux études pertinentes sur les réseaux de transport dans l'infrastructure mobile.
- Rapport UIT-R M.2376 "Faisabilité technique des IMT dans les bandes au-dessus de 6 GHz". Dans ce Rapport, il est prévu que l'utilisation de fréquences plus élevées sera un vecteur essentiel des IMT de demain.
- Rapport UIT-R M.2410 "Exigences minimales relatives aux performances techniques des interfaces radioélectriques des IMT-2020". Ce Rapport décrit les exigences essentielles relatives aux performances techniques minimales des technologies d'interfaces radioélectriques envisageables pour les IMT-2020.
- Rapport UIT-R M.2411 "Exigences, critères d'évaluation et gabarits de soumission pour le développement des IMT-2020". Ce Rapport décrit les exigences et les processus de soumission pour ces technologies.
- Rapport UIT-R M.2412 "Lignes directrices relatives à l'évaluation des technologies d'interface radioélectrique pour les IMT-2020". Ce Rapport fournit des lignes directrices relatives à l'évaluation des interfaces radioélectriques.

D'autres documents sont disponibles à l'adresse: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/Pages/default.aspx>

Au sein de l'UIT, les activités de normalisation portent également sur les besoins de raccordement à l'appui du développement de la 5G – notamment par le biais d'études sur diverses solutions pour les

radiocommunications, telles que les communications par satellite ou l'utilisation de relais hertziens à haut débit et des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS).

Commission d'études 13 de l'UIT-T

La Commission d'études 13 de l'UIT-T (Réseaux futurs) est la commission directrice de l'UIT pour les études liés aux aspects filaires de la 5G et continue d'appuyer la transition vers la logiciellisation de la gestion et de l'orchestration de réseaux. Elle oeuvre à élaborer des normes sur la 5G et à traiter des questions telles que les architectures de réseau, l'exposition des capacités de réseau, le découpage de réseau, l'orchestration de réseaux, la gestion/commande de réseaux et les cadres propres à garantir une bonne qualité de service.

Les normes relatives aux aspects filaires de la 5G élaborées par la Commission d'études 13 de l'UIT-T et approuvées en 2017-18 sont les suivantes:

- Recommandation UIT-T Y.3071 "Réseaux prenant en compte les données (réseaux centrés sur l'information) – Exigences et capacités". Cette Recommandation ouvre la voie à des communications 5G avec un temps de latence ultra-faible en permettant la mise en mémoire cache des données dans le réseau et en limitant le trafic redondant dans les réseaux centraux.
- Recommandation UIT-T Y.3100 "Termes et définitions relatifs aux réseaux IMT-2020". Cette Recommandation pose les bases de la terminologie universelle à employer dans les travaux de normalisation liés à la 5G.
- Recommandation UIT-T Y.3101 "Exigences relatives aux réseaux IMT-2020". Cette Recommandation énonce les principes généraux des réseaux IMT-2020, puis spécifie les exigences relatives aux aspects non radioélectriques généraux des réseaux IMT-2020 du point de vue des services et du point de vue de l'exploitation de réseau.
- Recommandation UIT-T Y.3102 "Cadre applicable aux réseaux IMT-2020". Cette Recommandation établit le cadre applicable aux aspects non radioélectriques généraux des IMT-2020, en présentant les caractéristiques essentielles des réseaux IMT-2020 ainsi que des considérations relatives à l'architecture.
- Recommandation UIT-T Y.3111 "Cadre de gestion et d'orchestration des réseaux IMT-2020". Cette Recommandation établit un cadre et des principes connexes pour la conception des réseaux 5G.
- Recommandation UIT-T Y.3112 "Cadre pour la prise en charge du découpage de réseau multiple". Cette Recommandation décrit le concept de découpage de réseau et spécifie les exigences de haut niveau et l'architecture de haut niveau pour le découpage de réseau multiple dans les réseaux IMT-2020, en s'appuyant sur des cas d'utilisation.
- Recommandation UIT-T Y.3110 "Exigences en matière de gestion et d'orchestration des réseaux IMT-2020". Cette Recommandation décrit les capacités nécessaires pour prendre en charge les services et les applications 5G émergents.
- Recommandation UIT-T Y.3150 "Caractéristiques techniques de haut niveau de la logiciellisation des réseaux IMT-2020". S'appuyant sur la reconnaissance au niveau mondial de l'utilité de la technologie de découpage de réseau, qui est la justification la plus courante de l'approche relative à la logiciellisation de réseau, cette Recommandation décrit la contribution apportée par la logiciellisation de réseau et le découpage de réseau aux systèmes IMT-2020. Elle examine le découpage de réseau selon deux points de vue: verticalement et horizontalement. Elle contient une description détaillée du découpage de réseau pour les liaisons de raccordement amont/aval pour les systèmes mobiles, de la programmabilité avancée du plan de données et de l'exposition des capacités.
- Recommandation UIT-T Y.3130 "Exigences relatives à la convergence fixe-mobile dans les réseaux IMT-2020". Cette Recommandation spécifie les exigences relatives aux services – identité

d'utilisateur unifiée, tarification unifiée, prise en charge de la continuité de service et de la qualité de service garantie – et les exigences relatives aux capacités de réseau – convergence pour le plan de commande, gestion des données utilisateur, exposition des capacités et infrastructure basée sur le nuage – pour prendre en charge la convergence fixe-mobile dans les réseaux IMT-2020.

- Supplément 35 à la Recommandation UIT-T Y.3033 "Réseaux futurs prenant en compte les données- Scénarios et cas d'utilisation". Ce Supplément dresse la liste des scénarios et des cas d'utilisation pris en charge par les réseaux prenant en compte les données (DAN), parmi lesquels: 1) la diffusion de contenus; 2) les réseaux de capteurs; 3) les réseaux de véhicule; 4) la conduite automatisée; 5) les réseaux dans les zones touchées par une catastrophe; 6) les infrastructures de comptage évoluées dans des réseaux intelligents; 7) la mise en mémoire cache proactive des services vidéo; 8) le traitement des données dans le réseau; 9) le rattachement multiple; et 10) l'ingénierie du trafic. Ce Supplément comporte des illustrations et des descriptions à titre informatif sur la façon dont les réseaux DAN peuvent être conçus, déployés et exploités de façon à prendre en charge des services DAN. Il expose en outre les avantages que présentent les réseaux DAN aux fins des divers scénarios et cas d'utilisation, et propose plusieurs modalités de transition des réseaux actuels aux réseaux DAN.
- Supplément 44 à la série de Recommandation UIT-T Y.3100 "Normalisation et activités sur le code source ouvert relatives à la logiciellisation des réseaux IMT-2020". Ce Supplément présente un résumé des initiatives sur le code source ouvert et des initiatives de normalisation pertinentes pour les activités de normalisation de l'UIT relatives à la logiciellisation des réseaux.
- Supplément 47 à la Recommandation UIT-T Y.3070 "Réseaux centrés sur l'information – Vue d'ensemble, lacunes en matière de normalisation et validation de concept". Ce Supplément donne une vue d'ensemble des réseaux centrés sur l'information et décrit les quinze sujets sur lesquels il existe des lacunes en matière de normalisation ainsi que cinq validations de concept sur la base des contenus liés à la technologie de réseau centré sur les informations, qui ont fait l'objet d'une étude du Groupe spécialisé de l'UIT-T sur les IMT-2020 (FG IMT-2020) en 2015-2016.

Commission d'études 15 de l'UIT-T

Parallèlement, les activités de normalisation de l'UIT sur les éléments filaires des systèmes 5G continuent de progresser. La Commission d'études 15 de l'UIT-T (Transport, accès et installations domestiques) continue d'élaborer des normes en vue de fournir des services de transport prenant en charge les systèmes 5G.

Les travaux de la Commission d'études 15 (CE 15) sur la 5G sont les suivants:

- Rapport technique UIT-T de la série G (GSTR-TN5G) "Réseaux de transport pour la prise en charge des réseaux IMT-2020/5G".
- Supplément 55 aux Recommandations de la série G "Radio sur fibre (RoF): les technologies et leurs applications". Ce Supplément donne des informations générales sur les technologies radio sur fibre et sur leurs applications dans les réseaux d'accès à fibres optiques. Cette technologie est utilisée dans la zone d'ombre radio.
- Supplément 56 aux Recommandations de la série G "Transport OTN des signaux CPRI". Ce Supplément contient une description des solutions alternatives pour le mappage et le multiplexage des signaux clients CPRI dans les réseaux OTN. Ce Supplément est lié aux Recommandations UIT-T G.872, UIT-T G.709/Y.1331, UIT-T G.798 et UIT-T G.959.1.
- Série de Recommandations UIT-T G.987 "Réseaux optiques passifs de 10 gigabits (XG-PON)".
- Série de Recommandations UIT-T G.9807 "Réseaux optiques passifs symétriques de 10 Gbit (XGS-PON)".
- Recommandation UIT-T G.989 "Réseaux optiques passifs de 40 Gbit/s – Version 2 (NG-PON2)".

- Recommandation UIT-T G.RoF "Systèmes de radio sur fibre" (en cours d'élaboration).
- Nouveau Supplément aux Recommandations de la série G (G.sup.5GP) "Exigences en matière de réseau hertzien de raccordement 5G vers l'avant dans un contexte de réseau PON" (en cours d'élaboration).
- Série de Recommandations UIT-T G.9700: "Accès rapide aux terminaux d'abonné (G.fast)".
- Série de Recommandations UIT-T G.709 "Réseau de transport optique (OTN)".
- Projet de Recommandation UIT-T G.ctn5g "Caractéristiques des réseaux de transport compatibles avec les IMT-2020/5G" (en cours d'élaboration).
- Projet de Supplément aux Recommandations de la série G (G.Sup.5gotn) "Application des réseaux OTN au transport pour la 5G" (en cours d'élaboration).
- Recommandation UIT-T G.695 "Interfaces optiques pour les applications de multiplexage par répartition espacée en longueurs d'onde".
- Recommandation UIT-T G.698.4 "Applications DWDM bidirectionnelles multicanal avec interfaces optiques monocanal indépendantes du port".
- Recommandation UIT-T G.959.1 "Interfaces de couche physique de réseau optique de transport".

En outre, la CE 15 élabore des normes sur la synchronisation de réseau pour prendre en charge les réseaux 5G (Série de Recommandations UIT-T G.8200).

Commission d'études 12 de l'UIT-T

Les travaux connexes actuellement menés par la Commission d'études 12 de l'UIT-T (Qualité de fonctionnement, qualité de service et qualité d'expérience) sont les suivants:

- Projet de Recommandation UIT-T G.IMT2020: "Cadre relatif à la qualité de service pour les IMT-2020". Ce projet de Recommandation vise à passer en revue les cadres de la CE 12 relatifs à la qualité de service dans le contexte des IMT-2020.
- Projet de Recommandation UIT-T Y.cvms: "Considérations liées à la mise en place de systèmes de mesure virtuels". Alors qu'ils cherchent à tirer parti de l'ampleur et de la souplesse du déploiement et des premières réductions de coûts obtenues avec l'informatique en nuage, les fournisseurs de services de réseau ont commencé à définir de nouvelles architectures pour leurs infrastructures, afin de concrétiser la virtualisation des fonctions de réseau (NFV). Parallèlement des fonctionnalités de mesure seront mises en oeuvre en tant que fonctions virtuelles aux fins du déploiement. Ce document formule des recommandations dans des domaines essentiels tels que le déploiement à la demande et les considérations liées à la précision. Dans la mesure où le développement des systèmes de mesure virtuels dans les domaines particulièrement pertinents pour les activités de la CE 12 n'en est qu'à ses balbutiements, cette Recommandation arrive à point nommé.
- Projet de Recommandation UIT-T G.QoE-5G: "Facteurs liés à la qualité d'expérience pour les nouveaux services dans les réseaux 5G".

En outre, la CE 12 élabore des Recommandations concernant la qualité d'expérience de la réalité augmentée et de la réalité virtuelle, qui constituent les cas d'utilisation de la 5G les plus fréquemment cités.

Commission d'études 11 de l'UIT-T

La Commission d'études 11 de l'UIT-T (Protocoles et spécifications de tests) mène des études sur le plan de commande de la 5G, les protocoles pertinents et les méthodologies de test connexes.

- Supplément 67 aux Recommandations de la série Q "Cadre régissant la signalisation pour les réseaux pilotés par logiciel". Ce Supplément vise à appuyer l'élaboration d'un ou de plusieurs

protocoles de signalisation pouvant prendre en charge des flux de trafic dans un environnement de réseaux SDN.

- Série de recommandations UIT-T Q.3710-Q.3899 sur les exigences de signalisation et les protocoles pour les réseaux pilotés par logiciel.
- Recommandation UIT-T Q.3315 "Exigences de signalisation pour une combinaison souple des services de réseau sur une passerelle de réseau large bande". En tant que moyen essentiel pour fournir des services de réseau large bande, la passerelle de réseau large bande (BNG) devrait pouvoir prendre en charge une combinaison souple de services ainsi que l'introduction et la fourniture de nouveaux services. La Recommandation Q.3315 décrit, sur la base de l'architecture de la plate-forme des services et de la passerelle BNG, les exigences de signalisation nécessaires pour pouvoir assurer, notamment, un déploiement facile des services de réseau, des services de réseau à granularité fine, etc.

Commission d'études 5 de l'UIT-T

La Commission d'études 5 de l'UIT-T (Environnement, changements climatiques et économie circulaire) a attribué un rang de priorité élevé à son nouveau sujet d'étude relatif aux exigences environnementales applicables aux systèmes 5G. La CE 5 de l'UIT-T élabore actuellement une série de normes internationales (Recommandations UIT-T), de Suppléments et de Rapports techniques qui porteront sur les aspects environnementaux liés: à la compatibilité électromagnétique, aux champs électromagnétiques, à l'alimentation et à l'efficacité énergétiques et à l'immunité. Les Recommandations et Suppléments élaborés par la CE 5 de l'UIT-T sont notamment les suivants:

- Supplément UIT-T K.Suppl.8 "Analyse de l'immunité des systèmes 5G". Ce Supplément analyse les exigences relatives à l'immunité des systèmes 5G à la foudre et aux défaillances électriques.
- Supplément UIT-T K.Suppl.9 "Technologie 5G et exposition des personnes aux champs électromagnétiques radiofréquences". Ce Supplément comporte une analyse des incidences de la mise en oeuvre des systèmes mobiles 5G en ce qui concerne le niveau d'exposition aux champs électromagnétiques à proximité des infrastructures de radiocommunication.
- Supplément UIT-T K.Suppl.10 "Analyse des aspects de compatibilité électromagnétique et définition des exigences pour les systèmes mobiles 5G". Ce Supplément donne des orientations sur les considérations liées à l'évaluation du respect de la compatibilité électromagnétique par les systèmes 5G. Il porte en particulier sur les exigences éventuelles applicables aux systèmes 5G en matière d'émission et d'immunité.
- Supplément UIT-T K.Suppl.14 "Incidence des limites d'exposition aux champs électromagnétiques radioélectriques plus strictes que celles établies dans les directives de la CIPRNI ou de l'IEEE sur le déploiement des réseaux mobiles 4G et 5G". Ce Supplément donne un aperçu de certains des défis auxquels sont confrontés des pays, des régions et des villes qui sont sur le point de déployer des infrastructures 4G ou 5G. Il donne également des informations au sujet d'une simulation sur les incidences des limites d'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences réalisée en Pologne afin d'illustrer un phénomène plus large qui concerne plusieurs autres pays ayant fixé des limites plus strictes que celles établies dans les directives de la CIPRNI ou de l'IEEE.
- Recommandation UIT-T L.1220 "Technologies de stockage de l'énergie innovantes pour un usage fixe – Partie 1: Aperçu général du stockage de l'énergie". Cette Recommandation sert d'introduction à une série ouverte de documents concernant différentes familles de technologies (systèmes de batteries, systèmes de supercondensateurs, etc.), qui s'enrichira progressivement à mesure qu'apparaîtront de nouvelles technologies susceptibles d'avoir un impact important dans le domaine du stockage de l'énergie.
- Supplément UIT-T L.Suppl.36 à la Recommandation UIT-T L.1310 "Etude sur les méthodes et les métriques à utiliser pour évaluer l'efficacité énergétique des futurs systèmes 5G". Ce Supplément analyse les questions liées à l'efficacité énergétique des futurs systèmes 5G.

Précédemment, le Groupe spécialisé de l'UIT-T sur les IMT-2020 a élaboré un ensemble de rapports techniques qui précisent les différents aspects filaires de la 5G: "ITU-T Focus Group IMT-2020 deliverables flipbook, 2017".

<https://itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.htm>

Les travaux préparatoires de l'UIT-T pour l'introduction des IMT-2020 sont présentés dans le document intitulé "5G Basics flipbook, 2017":

<https://itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.htm>

Consulter le site web de l'UIT-T à l'adresse: <https://itu.int/en/ITU-T/>

Union
internationale
des télécommunications
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse

ISBN: 978-92-61-27592-1



9 789261 275921

Publié en Suisse
Genève, 2018
Crédits photos: Shutterstock