

Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre

Options pour assurer une connectivité durable dans les zones non connectées

2020



Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre

**Options pour assurer une
connectivité durable dans
les zones non connectées**

2020



Remerciements

Le Guide des solutions a été élaboré par John Garrity et Aminata Amadou Garba.

Des contributions ayant trait à des études de cas sur la connectivité et/ou la cartographie du dernier kilomètre ont été fournies sous la forme de contributions directes pour attribution et inclusion, sans révision approfondie par les auteurs, par les organisations et les personnes suivantes (dans l'ordre alphabétique, par organisation et par nom de famille): 1 World Connected (Christopher Yoo); Africa Mobile Networks (Michael Darcy); Airbus (Davina Egbuna); Anatel (Agence nationale des télécommunications du Brésil) (Roberto Mitsuake Hirayama, Agostinho Linhares, Eduardo Marques da Costa Jacomassi, Patricia Rodrigues Ferreira); Association of Progressive Communications (Erick Huerta, Mike Jensen, Leandro Navarro, Carlos Rey-Moreno et Steve Song); Banque mondiale (Tim Kelly); Bluetown (Satya N. Gupta); Connected Pacific (Jonathan Brewer); EMEA Satellite Operators Association (ESOA) (Natalia Vicente); Fraym (Ben Leo, Rachael Mandell et Rob Morello); GÉANT (Cathrin Stöver); Gouvernement de la Pologne (Marcin Cichy et Agnieszka Gladysz); HIP Consult (Judah Levine et Amelia Prior); Huawei (Newman Wu); GSMA (Genaro Cruz et Claire Sibthorpe); Internet Society (Naveed Haq); Masaee Analytics (Emmanuel de Dinechin); Microsoft (Lydia Carroon et Jeffrey Yan); Ookla (Bryan Darr et Katherine Macdonald); PCARI Village Base Station Project (Claire Barela, Josephine Dionisio, Cedric Festin, Philip Martinez, VBTS Team); Telefonica (Juan Campillo Alonso); Vanu (Andrew Beard); ViaSat (Ryan Johnson); World Telecom Labs (Simon Pearson).

Les organisations et les personnes suivantes ont formulé des commentaires sur les projets et concepts présentés ici (dans l'ordre alphabétique, par organisation et par nom de famille): A.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications (Vadim Kaptur); AFRINIC (Amreesh Phokeer et Arthur Carindal); Alliance for Affordable Internet (Sonia Jorge et Maiko Nakagaki); Association of Progressive Communications (Erick Huerta, Mike Jensen, Leandro Navarro, Carlos Rey-Moreno et Steve Song); ARIN (Anne Rachel Inne); Banque mondiale (Doyle Gallegos); Commission d'études 1 du Bureau de développement des télécommunications de l'UIT; Dynamic Spectrum Alliance (Martha Suarez); EchoStar (Jennifer Manner); EMEA Satellite Operators Association (ESOA) (Aarti Holla, Natalia Vicente); GÉANT (Cathrin Stöver); Global Good Net Works Limited (Frank McCosker); Groupe de travail de la Commission sur le large bande sur la connectivité dans les écoles (réunions des 6 et 29 avril); Hellenic Telecommunications and Post Commission (Konstantinos Masselos); HIP Consult (Judah Levine); Huawei (Newman Wu, Zhang Xinyue, Li Wenxin et Xu Zhiyu); Intel (Turhan Muluk); Internet Society (Diego Canabarro, Jane Coffin et Juan Peirano); Microsoft (Lydia Carroon et Jeffrey Yan); People Centered Internet (Mei Lin Fung); Royal Holloway, Sandeep Taxali; Telco2 New Zealand (Jonathan Brewer); UIT (Doreen Bogdan-Martin, Istvan Bozsoki, Sergio Buonomo, Ruoting Chang, Jeounghee Kim, Catalin Marinescu, Marco Obiso, Orhan Osmani, Bruno Ramos, Joaquin Restrepo, Sofie Maddens, Nick Sinanis, Nancy Sundberg, Maria Victoria Sukenik et Alex Wong); UNHCR (John Warnes); UNICEF (Jaime Archundia et Naroa Zurutuza); University of London (Tim Unwin); ViaSat (Ryan Johnson).

Angelo Gutierrez et Christopher T. Cabardo ont soutenu les travaux de recherche.

Les services de publication de l'UIT ont apporté leur appui en matière de conception graphique et de maquette.

Veuillez partager vos réflexions, corrections et suggestions d'ajouts de contenu en envoyant un courrier électronique aux auteurs Aminata Amadou Garba (aminata.amadou-garba@itu.int) et John Garrity (jdgarrity@gmail.com).

© Union internationale des télécommunications, 2020

Certains droits réservés. Le présent ouvrage est publié sous une licence Creative Commons Attribution-Non-Commercial-Share Alike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>).

Aux termes de cette licence, vous êtes autorisé(e)s à copier, redistribuer et adapter le contenu de la publication à des fins non commerciales, sous réserve de citer les travaux de manière appropriée. Dans le cadre de toute utilisation de ces travaux, il ne doit, en aucun cas, être suggéré que l'UIT cautionne une organisation, un produit ou un service donnés. L'utilisation non autorisée du nom ou logo de l'UIT est proscrite. Toute adaptation de cet ouvrage doit être publiée sous une licence Creative Commons analogue ou équivalente. Si vous effectuez une traduction du contenu de la présente publication, il convient d'associer l'avertissement ci-après à la traduction proposée: "La présente traduction n'a pas été effectuée par l'Union internationale des télécommunications (UIT). L'UIT n'est pas responsable du contenu ou de l'exactitude de cette traduction. Seule la version originale en anglais est authentique et a un caractère contraignant".

Toute médiation relative aux litiges découlant de la licence doit être menée conformément aux règles de médiation de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (<https://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>).

Données provenant de tiers. Toute personne souhaitant réutiliser des éléments de cette publication attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, doit déterminer si une autorisation est nécessaire pour une telle réutilisation et obtenir l'autorisation du détenteur des droits d'auteur. La réclamation résultant de la violation de tout élément de tiers dans la publication est aux risques exclusifs de l'utilisateur.

Limitation de responsabilité. Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'UIT et du Secrétariat de l'UIT, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les lignes en pointillés et tiretées sur les cartes représentent des frontières approximatives dont le tracé peut ne pas avoir fait l'objet d'un accord définitif. Les idées et les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'UIT. Les références faites à certaines sociétés ainsi qu'à certains produits ou services n'impliquent pas que l'UIT approuve ou recommande ces sociétés, produits ou services de préférence à d'autres de nature similaire, mais dont il n'est pas fait mention. Sauf erreur ou omission, les noms des produits propriétaires sont reproduits avec une lettre majuscule initiale. L'UIT a pris toutes les précautions raisonnables pour vérifier les informations contenues dans la présente publication. Cependant, le document publié est distribué sans garantie d'aucune sorte, ni expresse, ni implicite. Son interprétation et son utilisation relèvent de la responsabilité du lecteur. En aucun cas l'UIT ne pourra être tenue pour responsable des dommages résultant de son utilisation.

ISBN:

978-92-61-32132-1 (version papier)
978-92-61-32142-0 (version électronique)
978-92-61-32152-9 (version EPUB)
978-92-61-32162-8 (version Mobi)

Avant-propos



Cela fait maintenant 35 ans que le rapport Maitland¹ a avancé des arguments convaincants en faveur d'une connectivité universelle comme fondement essentiel de la prospérité économique et sociale.

Force est de constater aujourd'hui, cependant, que 3,7 milliards de personnes ne sont toujours pas connectées à l'Internet et que plusieurs centaines de millions d'autres ne disposent pas d'une connectivité réellement efficace qui permettrait de changer leur quotidien.

Le COVID-19 a mis à nu les réalités de notre monde moderne: ne pas être connecté à l'ère du post-numérique signifie être exclu de l'emploi, de l'éducation, de l'accès aux services de santé vitaux et à l'information - en clair, privé de la pleine participation économique et sociale qui revient de droit à chaque citoyen.

L'UIT-D a pour mission première de trouver des solutions pour développer une connectivité efficace et réduire la fracture numérique. Bien qu'il existe de nombreux obstacles en matière d'accès, la mise en place d'une infrastructure réseau pour exploiter les services large bande reste un défi de taille dans les pays en développement et développés - où de vastes distances géographiques, un terrain accidenté ou inhospitalier ou encore des communautés insulaires largement dispersées sont un facteur limitant.

Qui plus est, le faible retour sur investissement du déploiement de réseau dans les zones à faible densité de population implique que, dans de nombreux pays en développement, la connectivité est largement limitée aux zones urbaines, laissant les zones rurales et éloignées totalement coupées.

Pour mettre en place une connectivité efficace pour tous et veiller à ce que personne ne soit laissé pour compte, il importe de trouver de nouvelles façons d'assurer aux citoyens et aux communautés non desservies et mal desservies la fourniture de réseaux et de services fiables et abordables sur le dernier kilomètre.

Le Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre répond à ces défis. Il vise à fournir des lignes directrices pour aider les décideurs et les professionnels à sélectionner et à personnaliser des solutions appropriées pour la connectivité sur le dernier kilomètre en tenant compte de leurs environnements respectifs et de leurs objectifs numériques.

Ce Guide fait partie du kit pratique pour la connectivité sur le dernier kilomètre du Bureau de développement des télécommunications (BDT) de l'UIT, à spectre plus large, qui vise à

¹ UIT, "Le chaînon manquant", Rapport de la Commission indépendante pour le développement mondial des télécommunications (présidée par Sir Donald Maitland) (Genève, 1984).

promouvoir de nouvelles stratégies de collaboration pour étendre la connectivité à ceux qui se trouvent au bas de la pyramide sociale et à permettre aux principales parties prenantes d'adopter une approche plus globale selon laquelle le large bande serait considéré comme une infrastructure de base d'utilité publique et un outil essentiel de développement socio-économique.

Pour compléter ce Guide des solutions, le BDT développe une série de ressources visant à aider les États Membres à répondre aux défis de la connectivité sur le dernier kilomètre, dont une base de données d'études de cas et des outils interactifs décisionnels et diagnostiques pour la connectivité sur le dernier kilomètre. Nous offrons également des services de renforcement des capacités et une assistance en matière de conception, de planification et de mise en œuvre, incluant l'identification des zones non connectées et la fourniture d'avis spécialisés sur la sélection de solutions techniques, financières et réglementaires durables.

Le BDT possède par ailleurs un certain nombre de programmes qui utiliseront ce Guide pour aider à concevoir et mettre en œuvre des solutions de connectivité durable, tels que Giga – une initiative menée conjointement par l'UIT et l'UNICEF pour que toutes les écoles soient connectées à l'Internet et que tous les jeunes puissent accéder à l'information, bénéficier de nouvelles possibilités et avoir la liberté de choix; notre partenariat Smart Villages 2.0 avec le gouvernement du Niger notamment; et Connect2Recover – une initiative contribuant à renforcer la fourniture d'une connectivité abordable et fiable dans les pays bénéficiaires.

Je suis convaincue que les membres de l'UIT, de même que les parties prenantes présentes dans tout l'écosystème des TIC, verront en ce Guide un outil indispensable qui facilitera les efforts visant à accroître l'accès au large bande des citoyens et des communautés, où qu'ils se trouvent.



Doreen Bogdan-Martin
Directrice
Bureau de développement des télécommunications, UIT

Table des matières

Remerciements	ii
Avant-propos	iv
Liste des tableaux, figures et encadrés	ix
Abréviations	xiii
Résumé analytique	xv
Introduction.....	1
1 À propos du Guide des solutions	2
2 Structure du Guide des solutions	3
3 Définitions	3
4 Composantes de réseau de télécommunication.....	5
5 Contexte, justification et objectifs.....	7
6 Les étapes du Guide des solutions.....	14
Chapitre 1. Identifier les zones géographiques dans lesquelles il n'y a pas de connexion (ou de services numériques) (étape 1)	16
1.1 Comprendre les défis de fond liés à la cartographie de l'accès et de l'adoption (étape 1a)	17
1.2 Choisir une méthode de cartographie descendante ou ascendante (étape 1b)	19
1.3 Établir la cartographie des éléments clés: actifs de l'infrastructure réseau, demande potentielle et viabilité financière, contraintes des options technologiques (étape 1c).....	27
Chapitre 2. Examiner les solutions existantes pouvant être utilisées (étape 2)	37
2.1 Examiner la base de données des études de cas portant sur les solutions de connectivité sur le dernier kilomètre (étape 2a).....	38
2.2 Utiliser la classification/typologie des interventions (étape 2b)	39
2.3 Comprendre les principales caractéristiques des interventions et les compromis entre ces interventions (étape 2c).....	47
2.4 Principales technologies d'accès sans fil	61
2.5 Principales technologies d'accès filaires.....	69
2.6 Présentation des principales technologies d'accès	71

2.7	Technologies de raccordement.....	87
2.8	Technologies d'accès émergentes.....	93
2.9	Solutions hybrides en termes de technologie et de modèles économiques	96
2.10	Régimes politiques et réglementaires	100
Chapitre 3. Choisir des solutions durables en établissant un équilibre entre viabilité et contraintes (étape 3).....	109	
3.1	Choisir une solution abordable en matière de connectivité sur le dernier kilomètre (étape 3a).....	110
3.2	Identifier les composantes d'une solution appropriée en matière de connectivité sur le dernier kilomètre (étape 3b).....	115
3.3	Élaborer la matrice décisionnelle pour des solutions réalisables (étape 3c)....	125
3.4	Envisager des outils supplémentaires pour évaluer les solutions (étape 3d)...	127
Chapitre 4: Mettre en œuvre des mesures pour élargir l'accès à un service de connectivité durable (étape 4)	129	
4.1	Options d'intervention - Introduction (étape 4a).....	130
4.2	Options d'intervention - Mesures visant à améliorer l'efficacité du marché (étape 4b).....	131
4.3	Options d'intervention - Financement ponctuel (subvention intelligente) (étape 4c)	140
4.4	Options d'intervention - financement/subventions récurrents (étape 4d).....	144
4.5	Exemples d'options tirés des études de cas présentées (étape 4e)	145
Conclusion et prochaines étapes.....	152	
Annexe 1: Exemples de cartographie de réseaux.....	153	
Annexe 2: Documents de référence et ressources complémentaires	164	
Annexe 3: Application du guide dans le cas de déploiements simultanés sur plusieurs sites (conception du réseau)	168	

Liste des tableaux, figures et encadrés

Tableaux

Tableau 1. Composantes de réseau de télécommunication soutenant les interventions sur le dernier kilomètre dans les pays en développement.....	7
Tableau 2. Contenu des différents types de cartes de connectivité	20
Tableau 3. Processus standard pour tous les types de cartographies large bande	20
Tableau 4. Approches descendante et ascendante: avantages et inconvénients	21
Tableau 5. Cartographie descendante des infrastructures: exemples	22
Tableau 6. Exemples de cartographie descendante	24
Tableau 7. Sources de données d'infrastructure réseau.....	28
Tableau 8. Données sociodémographiques nécessaires à l'estimation de la demande potentielle pour les différents services.....	34
Tableau 9. Autres éléments géographiques et actifs d'infrastructure à incorporer pour obtenir une image plus complète des possibilités et des contraintes.....	36
Tableau 10. Classement des caractéristiques des interventions dans la base de données des études de cas sur la connectivité du dernier kilomètre	39
Tableau 11. Classement des interventions en matière de connectivité Internet sur le dernier kilomètre	43
Tableau 12. Caractéristiques des différentes options d'intervention en matière de connectivité sur le dernier kilomètre	45
Tableau 13. Exemples d'exigences en matière de large bande pour diverses activités dans le secteur de l'éducation (débits descendants)*	51
Tableau 14. Exemples d'exigences en matière de large bande par type de fournisseur de télémédecine.....	53
Tableau 15. Modèles commerciaux offrant des services dans les réseaux sur le dernier kilomètre	55
Tableau 16. Modèles de recettes pour les services de détail sur le dernier kilomètre.....	58
Tableau 17. Comparaison des principales technologies de réseau d'accès sans fil*	65
Tableau 18. Familles des IMT	66
Tableau 19. Comparaison des principales technologies de réseau d'accès filaire	68
Tableau 20. Comparaison des différentes générations de technologies WiFi	72
Tableau 21. Comparaison des différentes générations de technologies cellulaires*....	76
Tableau 22. Zone de couverture maximale par radiofréquence (MHz) s'appuyant sur la technologie LTE*	78
Tableau 23. Caractéristiques des satellites GEO, MEO et LEO	85
Tableau 24. Comparaison des principales technologies de raccordement.....	92
Tableau 25. Comparaison des technologies émergentes en matière de connectivité	97

Tableau 26. Comparaison des interventions par catégorie de différentiels d'accès eu égard à l'applicabilité	104
Tableau 27. Composantes des évaluations de la viabilité financière.....	118
Tableau 28. Estimation de la demande par taille de population et revenu.....	119
Tableau 29. Options du réseau d'accès en fonction de la zone et des caractéristiques géographiques*	120
Tableau 30. Limitations du raccordement par capacité (largeur de bande et plafonds de données) et prix	122
Tableau 31. Problèmes de réglementation par structure organisationnelle	123
Tableau 32. Aspects de durabilité par structure organisationnelle.....	125
Tableau 33. Matrice de décision pour identifier les solutions appropriées.....	126
Tableau 34. Outils supplémentaires pour évaluer les solutions (aide à la décision et modélisation des investissements).....	127
Tableau 35. Mesures relatives à l'efficacité du marché et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre	135
Tableau 36. Options de financement ponctuel ou de subventions limitées et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre	142
Tableau 37. Subventions récurrentes et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre.....	145
Tableau 38. Exemples d'options tirés des études de cas présentées	146

Figures

Figure 1. Étapes du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre	3
Figure 2. Composantes de réseau de télécommunication soutenant les interventions sur le dernier kilomètre dans les pays en développement.....	6
Figure 3. Particuliers utilisant l'Internet, 2005-2019*	8
Figure 4. Pourcentage de particuliers utilisant l'Internet, par région et niveau de développement, 2019*.....	9
Figure 5. Ralentissement du nombre d'internautes dans le monde	9
Figure 6. Population à portée de la fibre, mars 2019*	10
Figure 7. Nombre de pays ayant atteint les objectifs de la Commission sur le large bande pour les services mobiles large bande sur ordinateur (1,5 Go par mois), 2020*	11
Figure 8. Nombre de pays ayant atteint les objectifs de la Commission sur le large bande pour les services fixes large bande sur ordinateur (5 Go par mois), 2020	12
Figure 9. Accessibilité financière de 1 Go de données dans les pays à revenu faible et intermédiaire, par région (2018)	13
Figure 10. Étapes du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre	14
Figure 11. Étape 1 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre	17

Figure 12. Couverture mobile de Terre et écarts d'utilisation dans le monde.....	18
Figure 13. Différences entre les approches descendante et ascendante visant à cartographier les populations isolées et mal desservies.....	19
Figure 14. Exemple d'essai en marchant pour identifier les bandes de fréquences GSM dans le but de déployer un réseau cellulaire communautaire	29
Figure 15. Exemple d'essai dans les véhicules pour identifier la disponibilité des bandes de fréquences	29
Figure 16. Exemple de tableau national d'attribution des bandes de fréquences: Moldova.....	31
Figure 17. Exemple d'initiative à données ouvertes pour le suivi de l'attribution des fréquences en Afrique (bande des 900 MHz).....	32
Figure 18. Étape 2 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre	38
Figure 19. Classement des interventions sur le dernier kilomètre par type de réseau et considérations de profit.....	40
Figure 20. Différences de caractéristiques d'utilisation	48
Figure 21. Différents niveaux de l'utilisation de l'Internet (Forum économique mondial).....	49
Figure 22. Classement des interventions selon les disparités en matière d'accès	61
Figure 23. Principaux déploiements de réseau.....	70
Figure 24. Exemples de topologies de réseau WiFi*	72
Figure 25. Comment un réseau optique passif 16 brins peut-il desservir 1 024 abonnés?	81
Figure 26. Comparaison des caractéristiques des satellites GEO, MEO et LEO, incluant les zones de couverture*.....	86
Figure 27. Impact de la latence sur des applications et services ciblés.....	87
Figure 28. Raccordement pour la voix et les données mobiles selon la méthode, Monde et Afrique subsaharienne (2017)	91
Figure 29. Étape 3 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre	109
Figure 30. Modèles d'accès classés par défi (USAID).....	111
Figure 31. Composants dans la sélection d'une solution de connectivité durable et abordable sur le dernier kilomètre	113
Figure 32. Composants d'une solution de connectivité abordable sur le dernier kilomètre en lien avec d'autres cadres.....	114
Figure 33. Viabilité financière et accessibilité	115
Figure 34. Étape 4 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre.....	129
Figure 35. Classement des interventions selon les disparités en matière d'accès	131
Figure A1.1. Exemple de carte de couverture mobile de la GSMA	153
Figure A1.2. Algorithme de Masae Analytics avec données ouvertes granulaires sur la densité de population granulaire et informations sur	

la couverture visant à détecter les zones les plus prometteuses ("zones blanches") en vue de l'installation de nouvelles stations de base.....	155
Figure A1.3. Superposition des cartes de couverture, des données du réseau électrique, des couches de population et des données sociodémographiques dans un pays donné afin de détecter et de regrouper différentes zones d'intérêt.....	156
Figure A1.4. Échantillon de données sur l'infrastructure TIC d'InfraNav, y compris les artères à fibres optiques, les stations de base, les liaisons hyperfréquences et les stations terriennes.....	158
Figure A1.5. Superposition du réseau de fibres optiques et du réseau électrique permettant d'identifier les voies d'expansion.....	159
Figure A1.6. Emplacement des pylônes 4G et nombre de personnes par pylône dans une zone d'un kilomètre carré.....	161
Figure A3.1. Quatre étapes présentées dans le Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre	168

Encadrés

Encadré 1. Exemple de cartographie descendante: initiative Internet para Todos (Pérou).....	25
Encadré 2. Exemple de cartographie ascendante: projet PCARI VBTS (Philippines).....	26
Encadré 3. Étude de cas: réseau d'accès WiFi (Inde)	73
Encadré 4. Déploiements de réseau cellulaire sur le dernier kilomètre (Africa Mobile Networks).....	78
Encadré 5. Déploiements de la fibre optique dans les communautés rurales (Espagne).....	82
Encadré 6. Déploiements de la fibre optique dans les communautés rurales (États-Unis).....	83
Encadré 7. Exemple de réseau hybride (WiFi Hughes Express).....	99
Encadré 8. Cybersécurité des nouveaux utilisateurs dans les déploiements de connectivité du dernier kilomètre	107

Abréviations

ARPU	recette moyenne par utilisateur (<i>average revenue per user</i>)
BDT	Bureau de développement des télécommunications de l'UIT
CDMA	accès multiple par répartition en code (<i>code-division multiple access</i>)
CIESIN	Center for International Earth Science Information Network, Columbia University
(A/V)DSL	ligne d'abonné numérique (asymétrique/à très grande Vitesse) (<i>(asymmetric/very high speed) digital subscriber line</i>)
FMI	Fonds monétaire international
FTTH	fibre jusqu'au domicile (<i>fibre-to-the-home</i>)
GB	gigaoctet (<i>gigabyte</i>)
Gbit/s	gigabit par seconde
GEO	orbite terrestre géosynchrone (<i>geosynchronous earth orbit</i>)
GSM	Système mondial de communications mobiles (<i>global system for mobile communications</i>)
GSMA	GSM Association
HAPS	Station placée sur une plate-forme à haute altitude (<i>high altitude platform station</i>)
(V)HTS	satellite à (très) haut débit (<i>(very) high-throughput satellite</i>)
ICT	technologies de l'information et de la communication (<i>information and communication technology</i>)
IMT	télécommunications mobiles internationales (<i>international mobile telecommunications</i>)
IoT	Internet des objets (<i>internet of things</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
ISP	fournisseur de services Internet (<i>internet service provider</i>)
Kbit/s	kilobit par seconde
LEO	orbite terrestre basse (<i>low earth orbit</i>)
LMC	connectivité sur le dernier kilomètre (<i>last-mile connectivity</i>)
LTE	évolution à long terme (<i>long-term evolution</i>)
(k)m	(kilo)mètre
Mbit/s	mégabit par seconde
MEO	orbite terrestre moyenne (<i>medium earth orbit</i>)
M(V)NO	opérateur de réseau (virtuel) mobile (<i>mobile (virtual) network operator</i>)

(suite)

ms	milliseconde
PIB	produit intérieur brut
PMA	pays les moins avancés
PoP	point de présence (<i>point of presence</i>)
QoS	qualité de service (<i>quality of service</i>)
RNB	revenu national brut
SDG	Objectif de développement durable (<i>sustainable development goal</i>)
TDMA	accès multiple par répartition dans le temps (<i>time division multiple access</i>)
UIT	Union internationale des télécommunications
UNHCR	Haut-Commissaire des Nations Unies pour les réfugiés (<i>United Nations High Commissioner for Refugees</i>)
USAID	Agence des Etats-Unis pour le développement international (<i>United States Agency for International Development</i>)
VoIP	protocole de transmission de la voix par Internet (<i>voice over internet protocol</i>)

Résumé analytique

Malgré la progression fulgurante de la connectivité Internet et large bande, près de 49% de la population mondiale, soit 3,7 milliards de personnes, ne sont toujours pas connectées et ne peuvent profiter des bénéfices directs de l'économie numérique mondiale à la fin de 2019¹. Les populations non connectées sont concentrées pour l'essentiel dans les pays les moins avancés (PMA), dans lesquels seuls 19% des habitants avaient accès à l'Internet en 2019. Au niveau régional, en Afrique et en Asie-Pacifique, qui affichent des taux de 29% et 45% respectivement, moins de la moitié de la population est connectée (voir la Figure 4).

Plusieurs grandes raisons peuvent expliquer pourquoi des milliards de personnes ne sont toujours pas connectées, allant du manque d'infrastructures de réseau disponibles et de services Internet abordables aux écarts en matière de compétences et de capacités, à la disponibilité et au coût des services personnels et au manque de pertinence perçu. Par exemple, plus de 750 millions de personnes (près de 10% de la population mondiale) ne sont pas desservies par un réseau large bande mobile (3G ou supérieur)². Ce manque de couverture est particulièrement concentré dans les zones rurales et isolées. En plus des écarts de couverture, on observe des écarts d'utilisation dans les zones desservies par le large bande. Par exemple, jusqu'à 31% des personnes en Afrique ne sont pas couvertes par un réseau de téléphonie mobile, mais près de 45% des personnes qui vivent dans des endroits bénéficiant d'une couverture mobile n'utilisent pas l'Internet mobile. Selon les estimations, il existe au moins 88 pays dans le monde où le prix moyen du service large bande mobile d'entrée de gamme est considéré comme financièrement non accessible (2% au-dessus du RNB mensuel moyen par habitant)³.

Le Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre a été élaboré pour soutenir la conception et le développement de programmes et d'interventions visant à répondre à deux préoccupations majeures:

- l'absence d'infrastructures Internet disponibles dans certaines zones;
- les prix élevés du service Internet rendant la connectivité Internet inaccessible aux populations locales.

Le Guide des solutions présente une méthodologie pour introduire des solutions de connectivité durables et abordables dans des zones géographiques isolées et mal desservies. Il existe d'autres défis tout aussi importants, tels que la maîtrise des outils numériques, les dispositifs personnels et les contenus locaux adaptés, qui ne sont pas abordés ici dans la mesure où ils sont traités en profondeur dans d'autres ressources listées à l'Annexe 2.

Le Guide des solutions a été conçu dans le but d'aider les États membres à agir plus rapidement pour régler les problèmes de connectivité Internet sur le dernier kilomètre dans les situations où il existe un manque d'infrastructure réseau et dans le but d'encourager une prestation de services plus abordable. Il a été rédigé à l'intention des localités et des utilisateurs des zones géographiques sans accès à l'Internet: ce sont ces communautés-là qui bénéficient de

¹ UIT, *Mesurer le développement numérique: Faits et chiffres 2020* (Genève, 2020).

² C. Handforth, *Closing the Coverage Gap. How Innovation Can Drive Rural Connectivity* (Londres, Royaume-Uni, GSMA, 2019).

³ UIT, *Mesurer le développement du numérique: Tendances des prix des TIC en 2019* (Genève, 2020). Par ailleurs, dans de nombreux pays qui remplissent le critère de 2%, les prix moyens pour les segments de population à faible revenu sont supérieurs à 2% du RNB mensuel moyen par habitant.

la connectivité Internet sur le dernier kilomètre. Les outils, les mesures relatives aux services et les solutions stratégiques reflètent par conséquent la meilleure façon d'élargir l'accès Internet à ces localités, compte tenu de leurs spécificités.

Ce Guide des solutions est conçu pour être utilisé lors des consultations initiales sur les moyens de combler ces écarts; il comprend des documents de référence, des ressources et des liens vers d'autres contenus pour soutenir le processus, le dialogue et la prise de décisions lors de la conception de l'intervention. Il devrait être consulté en première intention lors de tout projet de conception de solutions durables aux problèmes de connectivité.

Le présent Guide aborde les quatre grandes étapes du processus (voir la Figure 1), chacune faisant l'objet d'un chapitre distinct et comprenant les activités ci-après:

Chapitre 1: Identifier les zones géographiques dans lesquelles il n'y a pas de connexion (ou de services numériques) (étape 1)

- 1a - Comprendre les défis de fond liés à la cartographie de l'accès et de l'adoption
- 1b - Choisir une méthode de cartographie descendante ou ascendante
- 1c - Établir la cartographie des éléments clés: actifs de l'infrastructure réseau, demande potentielle et viabilité financière, contraintes des options technologiques

Chapitre 2: Examiner les solutions existantes pouvant être utilisées (étape 2)

- 2a - Examiner la base de données des études de cas portant sur les solutions de connectivité sur le dernier kilomètre
- 2b - Utiliser la classification/typologie des interventions
- 2c - Comprendre les principales caractéristiques des interventions et les compromis entre ces interventions

Chapitre 3: Choisir des solutions durables en établissant un équilibre entre viabilité et contraintes (étape 3)

- 3a - Choisir une solution abordable en matière de connectivité sur le dernier kilomètre
- 3b - Identifier les composantes d'une solution appropriée en matière de connectivité sur le dernier kilomètre
- 3c - Élaborer la matrice décisionnelle pour des solutions réalisables
- 3d - Envisager des outils supplémentaires pour évaluer les solutions

Chapitre 4: Mettre en œuvre des mesures pour élargir l'accès à un service de connectivité durable (étape 4)

- 4a - Options d'intervention - Introduction
- 4b - Options d'intervention - Mesures visant à améliorer l'efficacité du marché
- 4c - Options d'intervention - Financement ponctuel (subventions intelligentes)
- 4d - Options d'intervention - Financement/subventions récurrents

4e - Exemples d'options (tirés des études de cas présentées)

En amont de ces étapes, une introduction fournit des informations contextuelles sur la connectivité Internet et les télécommunications, partageant des définitions communes et des chiffres communs pour présenter les termes clés. Le réseau du dernier kilomètre, également appelé réseau d'accès, est défini comme étant l'endroit où l'Internet parvient aux utilisateurs finals et aux dispositifs d'utilisateur final, ce qui le différencie du réseau intermédiaire (également appelé réseau de raccordement), lequel assure le raccordement d'un réseau dorsal national (ou réseau central) à un point situé dans une région ou une zone géographique excentrée et élargit ainsi le service pour permettre une distribution plus large vers le dernier kilomètre. Les réseaux dorsaux nationaux sont des réseaux haut débit à grande capacité raccordant les agglomérations plus grandes d'un pays et sont généralement le premier point de connexion pour le trafic Internet international. Le Guide des solutions utilise le terme "dernier kilomètre" comme synonyme de "premier kilomètre" au motif que de nombreuses localités établissent elles-mêmes activement des liaisons d'infrastructure pour se connecter au réseau de communication mondial plus large.

Le Guide des solutions présente dans son Chapitre 1, Identifier les zones géographiques dans lesquelles il n'y a pas de connexion (ou de services numériques), l'importance d'établir la cartographie des actifs de l'infrastructure de réseau existants dans une zone géographique donnée, de même que les autres contraintes socio-économiques, géographiques et environnementales. Les difficultés liées à la cartographie résident dans le fait qu'il n'existe pas un ensemble unique de données universelles regroupant l'ensemble des technologies de connectivité réseau et dans la façon de superposer ces informations avec des données clés (telles que la densité de population) et d'autres contraintes essentielles (telles que le terrain géographique ou la disponibilité du réseau électrique). Le Chapitre 1 traite de deux approches différentes en matière de cartographie (approche descendante ou ascendante, voir la Figure 15) et de leur utilisation en association avec différents types de cartographie pour la disponibilité du réseau (demande, infrastructure, investissement et cartographie des services). Il fournit un certain nombre de ressources mondiales sur différents types de cartes d'infrastructure par technologies de connectivité avec des exemples de données nationales sur la connectivité collectées par les gouvernements des États.

Le Chapitre 2, Examiner les solutions existantes pouvant être utilisées, commence par une description de la base de données des études de cas sur la connectivité du dernier kilomètre développée pour le présent Guide des solutions. Les études de cas comprennent des données primaires pour 51 cas soumis directement aux auteurs pour ce projet, plus 72 autres cas provenant de sources secondaires. La base de données inclut des informations sur 17 dimensions différentes de l'intervention (voir le Tableau 10)⁴.

L'analyse des cas a débouché sur une typologie des interventions basée sur deux catégories différentes: le type de service de réseau (déploiement des réseaux mobiles ou ISP généraux) et le bénéfice (entités commerciales ou à but non lucratif). Sur la base de ces deux catégories, les entités sont classées selon quatre grands types de solutions de connectivité sur le dernier kilomètre: ISP commerciaux, MNO commerciaux, ISP locaux à but non lucratif et MNO à but non lucratif (voir le Tableau 11).

Le reste du Chapitre 2 expose les divers problèmes auxquels sont confrontées les différentes interventions et leurs caractéristiques, incluant les fonctionnalités d'utilisation, les modèles

⁴ Voir les données [ici](#).

commerciaux, les modèles de recettes, les technologies d'accès aux réseaux sans fil et filaires, les technologies utilisées pour les liaisons de raccordement, les politiques et régimes réglementaires, les technologies d'accès émergentes et le déploiement croissant des solutions hybrides tant en termes de technologies que de modèles économiques.

Le Chapitre 3, Choisir des solutions durables en établissant un équilibre entre viabilité et contraintes, se concentre sur le processus d'identification d'une intervention adaptée en matière de connectivité sur le dernier kilomètre. Le modèle présenté pour les composants essentiels du processus de sélection inclut l'identification des critères appropriés sur la base de l'accessibilité, de l'utilisation, de la viabilité financière, de la structure et de la durabilité (voir la Figure 33).

Le Chapitre 3 examine chaque composant en détail et fournit une [matrice de décision](#) qui montre comment une approche itérative peut aider à déterminer quel type de solution convient le mieux à telle ou telle situation. Chaque solution peut cependant comprendre plusieurs technologies et/ou modèles commerciaux. D'autres outils d'aide à la décision et modèles d'investissement sont présentés à la fin du Chapitre 3.

Le Chapitre 4, Mettre en œuvre des mesures pour élargir l'accès à un service de connectivité durable, présente des options de prise en charge des interventions sur la base d'ajustements politiques et réglementaires visant à améliorer la faisabilité de l'intervention directe et différents types de subvention (subventions uniques ou interventions continues, récurrentes). Différents exemples d'interventions tirés des études de cas sont fournis ici et mettent en évidence les actions politiques qui ont soutenu leur déploiement.

Le présent Guide des solutions conclut en présentant une gamme de contenus supplémentaires au titre de ses Annexes. Il fait partie du kit pratique pour la connectivité sur le dernier kilomètre.

Introduction



Ce Guide est conçu pour répondre, en accord, en association et en échange avec les pouvoirs publics, les fournisseurs de services, les communautés, la société civile et les organisations techniques, aux problèmes posés par la fourniture des services de télécommunication (communication téléphonique et communication de données) dans les pays en développement à travers le monde. Il détaille un processus d'identification de solutions pour étendre les services de télécommunication dans les zones géographiques non desservies et mal desservies des pays en développement, qui abritent la majeure partie des 49% de la population mondiale qui ne sont pas encore connectés à l'Internet. Les solutions présentées ici peuvent également s'appliquer aux zones géographiques mal desservies et non connectées dans les pays à revenu élevé.

Le Guide des solutions définit un processus d'identification de solutions spécifiques ciblant les localités qui sont non desservies ou mal desservies en termes d'options de télécommunication et qui ne bénéficient pas actuellement de la connectivité. Le raccordement au réseau mondial pour les communications téléphoniques et les communications de données est désigné par le terme "dernier kilomètre" qui, dans le présent Guide, est synonyme de "premier kilomètre".

1 À propos du Guide des solutions

Le Guide des solutions met clairement l'accent sur deux aspects. Premièrement, il décrit les solutions qui peuvent être déployées pour offrir des services de communication durables et financièrement abordables aux communautés non connectées des pays en développement (pays à revenu faible ou intermédiaire, pays en développement sans littoral et petits États insulaires en développement). Tout en mettant en avant les solutions durables et financièrement abordables à disposition des localités mal desservies de même que les interventions qui peuvent être actuellement déployées, il se réfère aux technologies d'accès traditionnelles trouvées dans les économies avancées et aux technologies émergentes qui ne sont pas encore largement déployées sur le marché, sans cependant rentrer dans les détails¹.

Deuxièmement, le Guide des solutions se concentre sur les conditions et les contraintes auxquelles sont confrontées les localités individuelles, et les solutions qu'il présente visent à fournir aux communautés un service durable et financièrement abordable. Bien que ces interventions individuelles puissent être regroupées et observées au travers d'un prisme régional ou national (par exemple, par des organismes gouvernementaux nationaux ciblant l'accès universel), elles sont pour la majeure partie d'entre elles présentées individuellement. D'autres éléments du kit pratique de l'UIT pour la connectivité sur le dernier kilomètre s'appuient sur le Guide des solutions pour développer des outils de planification régionaux et nationaux interactifs.

Le Guide des solutions traite des problèmes de disparité en matière de couverture de l'infrastructure et d'accessibilité financière des services au niveau de l'accès et de l'utilisation de l'Internet. Il existe d'autres contraintes importantes à l'utilisation de l'Internet (telles que la maîtrise des outils numériques, la pertinence du contenu, l'accessibilité aux appareils personnels et les attitudes culturelles qui prévalent envers l'égalité des sexes), mais elles sont abordées dans d'autres documents de référence, ce qui permet au Guide des solutions de se concentrer sur le déploiement des infrastructures et l'accessibilité financière.

Le Guide des solutions s'appuie sur l'expérience acquise par les pouvoirs publics, les fournisseurs de services, les fournisseurs de technologies, les organisations internationales, les banques de développement multilatérales, les bailleurs de fonds bilatéraux, les milieux universitaires et d'autres acteurs au cours des 30 dernières années. Il ne prétend pas être un guide technique exhaustif visant à relever les défis de la connectivité Internet, mais il pointe du doigt les principaux problèmes et identifie les solutions possibles, permettant à chaque individu d'évaluer l'objectif de la fourniture de services.

L'Internet interconnecte des réseaux de réseaux dans un système hautement décentralisé, et les opportunités de même que les contraintes afférentes à chaque situation sont considérablement influencées par le cadre politique et réglementaire national global, les structures de marché en vigueur, les aspects géographiques et les données démographiques. Le Guide des solutions a donc pour but de présenter aux utilisateurs les outils dont ils ont besoin pour identifier, évaluer et étudier diverses solutions possibles. Il se veut un guide évolutif et concret destiné à être constamment mis à jour, révisé et complété.

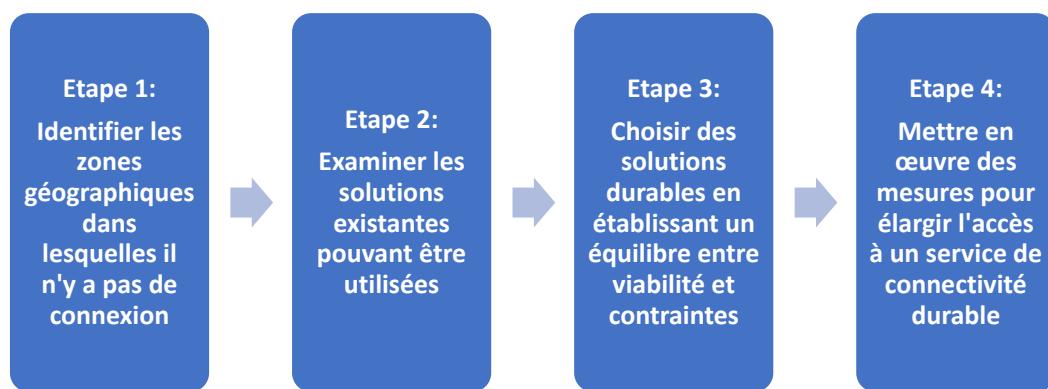
¹ Par exemple, l'utilisation d'une infrastructure en cuivre pour la connectivité DSL peut être appropriée pour les zones dotées de réseaux de téléphonie filaire traditionnels, mais ne serait pas recommandée dans le cadre des nouveaux déploiements compte tenu de son faible débit et de son coût élevé.

Le Guide des solutions peut être abordé selon deux approches. Les utilisateurs peuvent s'en servir comme d'un guide complet, en collaborant avec les partenaires concernés pour franchir toutes les procédures et étapes répertoriées afin d'identifier, d'examiner, de sélectionner et de mettre en œuvre une intervention pour étendre le service de connectivité à des communautés auparavant non desservies. Ils peuvent aussi l'envisager par modules. Chacune de ses sections, de l'introduction aux annexes, comprend des ressources et des outils autonomes qui peuvent être utilisés indépendamment les uns des autres.

2 Structure du Guide des solutions

Le Guide des solutions est divisé en quatre grandes étapes, qui constituent les phases de planification et d'élaboration de politiques des interventions visant à encourager les déploiements (voir la Figure 1).

Figure 1. Étapes du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre



Chaque étape est subdivisée en sous-étapes avec indication des sources du contenu présenté et des ressources pour un examen plus approfondi du sujet.

3 Définitions²

Accès hertzien: connexion(s), par voie hertzienne, de l'utilisateur final aux réseaux d'infrastructure, dont les réseaux téléphoniques publics commutés, les réseaux numériques avec intégration des services, les réseaux mobiles terrestres publics, les réseaux publics de données à commutation par paquets, l'Internet, les réseaux étendus et locaux et la télévision à antenne collective.

Accès hertzien à large bande: accès hertzien dont les capacités de connexion sont supérieures au débit primaire.

Accès hertzien fixe: application d'accès hertzien (la ou les connexions, par voie hertzienne, de l'utilisateur final aux réseaux d'infrastructure) dans laquelle l'emplacement de la terminaison d'utilisateur final (antenne de l'équipement radioélectrique de l'utilisateur final) et le point d'accès au réseau auquel l'utilisateur final doit être connecté sont fixes.

² Voir la Recommandation UIT-R F.1399-1: Terminologie relative aux accès hertziens.

Accès hertzien mobile: application d'accès hertzien dans laquelle l'emplacement de la terminaison d'utilisateur final est mobile.

Accès hertzien nomade: application d'accès hertzien dans laquelle l'emplacement de la terminaison d'utilisateur final peut se trouver dans différents lieux, celle-ci étant fixe pendant son utilisation.

Accès universel: accès aux télécommunications pour tous dans des conditions raisonnables. Il s'agit d'assurer un service universel à ceux qui ont les moyens d'avoir le téléphone chez eux et de fournir aux autres un nombre de publiphones suffisant pour ne pas imposer de trop longs déplacements.

Connectivité: capacité de fournir aux utilisateurs finals une connexion à l'Internet ou à d'autres réseaux de communication.

Équipement des locaux d'abonnés: équipement/réseau géré par l'utilisateur.

Fournisseur de services Internet (ISP): entité, généralement une entreprise privée mais parfois une organisation sans but lucratif ou une entité étatique, qui fournit un accès à l'Internet via la connectivité des données au moyen de diverses technologies telles que liaisons téléphoniques (par circuits commutés), DSL, câbles (coaxiaux), sans fil ou fibre. Normalement, les ISP sont séparés des entités de télécommunication ou des opérateurs de téléphonie mobile, qui fournissent des services vocaux en plus des services de données.

Largeur de bande: plage de fréquences disponible pouvant être occupée par les signaux. Elle est mesurée en hertz (Hz) dans les systèmes analogiques et en bits par seconde dans les systèmes numériques. Plus la largeur de bande est grande, plus la quantité d'informations pouvant être transmises dans un temps donné est importante.

Liaison de raccordement: transport de tous les signaux de communication de la station de base au réseau d'infrastructure.

Opérateur de réseau mobile: entité qui fournit des services mobiles cellulaires via son infrastructure de réseau propre ou l'infrastructure d'un autre opérateur (qui serait dans ce cas un opérateur de réseau virtuel mobile). Cela inclut les services voix et texte (SMS) en plus des éventuels services de données.

Raccordement filaire (fixe): ligne physique qui relie l'abonné au réseau, le terme "filaire" ou "fixe" étant utilisé pour distinguer le réseau de ses homologues sans fil.

Réseau dorsal (ou central) national: réseau qui connecte le trafic Internet international (généralement via des câbles sous-marins ou terrestres à fibre optique) au réseau dorsal national haut débit et à grande capacité raccordant les grandes villes et principales agglomérations du pays.

Réseau du dernier kilomètre: l'endroit où l'Internet parvient aux utilisateurs finals, incluant le réseau d'accès local dont la boucle locale, le bureau central, les commutateurs et les pylônes hertziens.

Réseau intermédiaire (de raccordement): réseau de distribution qui assure le raccordement du réseau dorsal national à un point situé dans une localité ou une zone géographique (point de présence) pour permettre une distribution plus large vers le réseau du dernier kilomètre.

Station de base (ou station centrale): appellation courante désignant l'ensemble des équipements radioélectriques situés en un même lieu et utilisés pour desservir une ou plusieurs cellules.

Station placée sur une plate-forme à haute altitude: station installée sur un objet placé à une altitude comprise entre 20 et 50 km et en un point spécifié, nominal, fixe par rapport à la Terre.

Utilisateur final: individu, organisation ou système de télécommunication qui accède au réseau afin de communiquer par le biais des services fournis par le réseau.

4 Composantes de réseau de télécommunication

Comme mentionné dans les définitions ci-avant, un réseau de télécommunication comprend plusieurs composantes (voir aussi la Figure 2 et le Tableau 1)³. On compte parmi celles-ci:

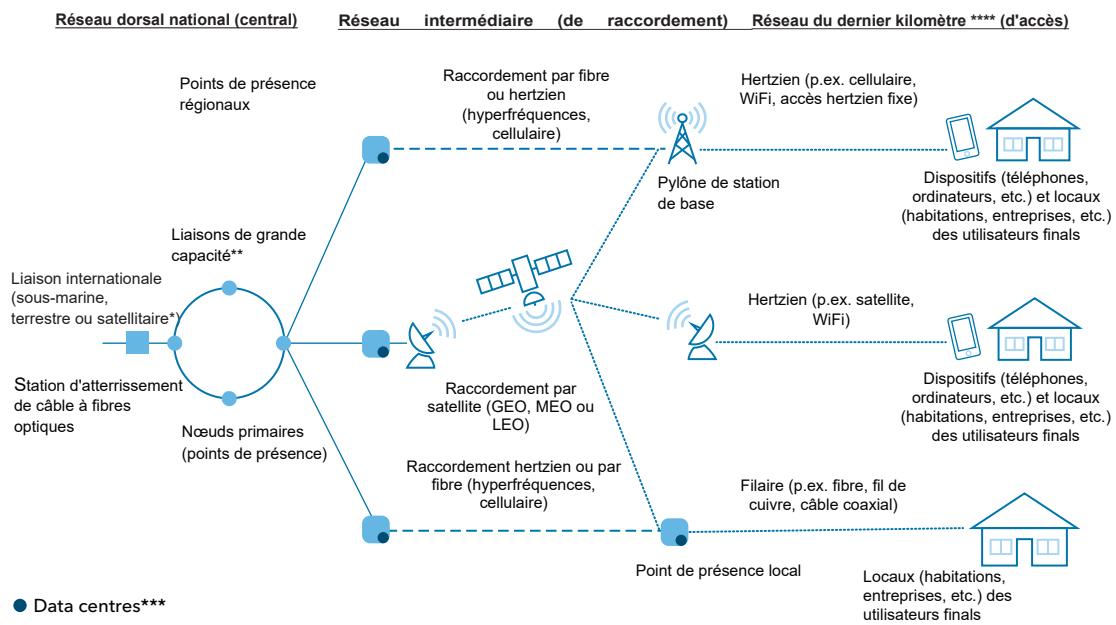
Réseau dorsal (ou central) national: réseau qui connecte le trafic Internet international (généralement via des câbles sous-marins ou terrestres à fibre optique), via des stations d'atterrissement de câble sous-marin (ou des passerelles de Terre pour les frontières terrestres) au réseau dorsal national haut débit et à grande capacité raccordant les grandes villes et principales agglomérations du pays. Le réseau central d'un pays fournit la première couche de redondance globale du réseau en cas de coupures entre les points de présence du réseau central et les centres de données.

Réseau intermédiaire (ou de raccordement): réseau de distribution qui assure le raccordement du réseau dorsal national à un point situé dans une localité ou une zone géographique extérieure pour permettre une distribution plus large vers le réseau du dernier kilomètre.

Réseau du dernier kilomètre ou réseau d'accès: l'endroit où l'Internet parvient aux utilisateurs finals, incluant le réseau d'accès local dont la boucle locale, le bureau central, les commutateurs et les pylônes hertziens. Le réseau d'accès atteint les appareils des utilisateurs finals (téléphones de base, smartphones, ordinateurs portables, tablettes, ordinateurs et autres appareils connectés à l'Internet. Le Guide des solutions utilise le terme "dernier kilomètre" comme synonyme de "premier kilomètre" au motif que de nombreuses localités établissent elles-mêmes activement des liaisons d'infrastructure pour se connecter au réseau de communication mondial plus large.

³ Voir, par exemple, les typologies et les figures présentées par [l'Union européenne](#) et [La Banque mondiale](#).

Figure 2. Composantes de réseau de télécommunication soutenant les interventions sur le dernier kilomètre dans les pays en développement



Notes: Figure non exhaustive, donnée à titre d'illustration. Certains segments sont en outre interchangeables, notamment sur le dernier kilomètre.

* Dans certains pays, le satellite continue d'être la principale voire la seule source de connectivité internationale.

** Ce sont principalement des liaisons à fibre optique (terrestres et sous-marines), mais dans certains pays, les réseaux dorsaux nationaux utilisent des systèmes à hyperfréquence et des satellites sans fil.

*** Les centres de données peuvent être placés à différents endroits du réseau, en fonction de la nécessité d'agrégner les données (comme dans les réseaux centraux), ou de placer les données aussi près que possible des utilisateurs finaux (comme dans les réseaux intermédiaires et du dernier kilomètre).

**** La liste des technologies répertoriées pour le dernier kilomètre n'est pas exhaustive.

Tableau 1. Composantes de réseau de télécommunication soutenant les interventions sur le dernier kilomètre dans les pays en développement

Nom de la composante	Également appelée	Description succincte	Distances types	Technologies d'infrastructure communes
Trafic transfrontalier international	Largeur de bande internationale	Connecte un pays aux autres pays et au reste du monde	Milliers de km	Câbles à fibre optique (sous-marins et terrestres), satellite
Trafic de transit international	Transit	S'applique au trafic transfrontalier à destination de pays sans littoral, en plus des coûts de la largeur de bande internationale	Centaines de milliers de km	Câbles à fibre optique (sous-marins et terrestres), satellite
Réseau dorsal national	Réseau central	Connecte les principaux serveurs réseau et centres de données (PoP) au sein d'un pays	Centaines de milliers de km	Câbles à fibre optique (terrestres et sous-marins pour certains), satellite
Réseau intermédiaire	Réseau de raccordement	Connecte les principaux réseaux aux PoP régionaux	Dizaines de centaines de km	Fibre optique, hyperfréquence, satellite
Réseau du dernier kilomètre	Réseau d'accès	Atteint les utilisateurs finals avec connectivité des PoP régionaux	Dizaines de km	Sans fil (cellulaire: 2G, 3G, 4G, 5G, accès hertzien fixe, WiFi, satellite, etc.); filaire (fibre optique, cuivre, câble coaxial, etc.)

5 Contexte, justification et objectifs

La transformation numérique des économies repose sur la connectivité universelle, elle-même appuyée par la connectivité large bande. En 2016, lorsqu'elle a adopté les Objectifs de développement durable (ODD), la communauté mondiale a inclus une cible spécifique (cible 9c) sur l'accès universel et abordable à l'Internet dans les pays les moins avancés d'ici à 2020⁴. Rien qu'en 2019, trois grands groupes multipartites de haut niveau ont souligné la centralité de l'extension de l'accès universel à l'Internet comme première étape sur la voie de la transformation numérique. Dans son compte-rendu de juin 2019, le Groupe de haut niveau sur la coopération numérique du Secrétariat de l'ONU⁵ a notamment souligné ce qui suit: "Nous recommandons que, d'ici à 2030, chaque adulte bénéficie d'un accès financièrement abordable aux réseaux informatiques, ainsi qu'à des services financiers et à des prestations de santé reposant sur le numérique, pour contribuer notablement à la réalisation des Objectifs de développement durable".

De même, un rapport publié par le nouveau Groupe de travail Union européenne/Union africaine sur l'économie numérique en juin 2019⁶ a identifié son premier objectif comme

⁴ L'Alliance for Affordable Internet estime néanmoins que l'ODD 9c ne sera atteint qu'en 2044, 22 ans après la date cible prévue de 2020 (voir l'Alliance for Affordable Internet, *Affordability Report 2015/16* (Washington, DC, 2016)).

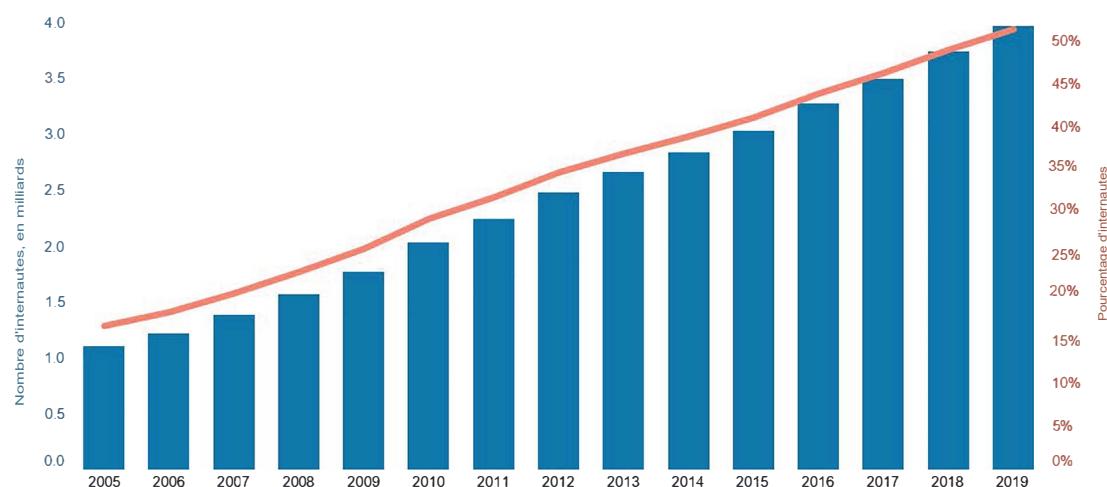
⁵ Nations Unies, *The age of digital interdependence*, Rapport du Groupe de haut niveau sur la coopération numérique du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies (New York, 2019), p.7.

⁶ Nouveau Groupe de travail Union européenne/Union africaine sur l'économie numérique, *Accelerating the Achievement of the Sustainable Development Goals* (2018).

suit: "1. Accélérer l'accès universel au large bande abordable"; et un rapport de Pathways for Prosperity Commission de 2018 sur l'extension de l'accès universel a mis l'accent sur la mise en place d'une connectivité efficace⁷.

La connectivité universelle occupe actuellement le devant de la scène internationale. Cela s'explique en partie par le fait que, malgré la progression fulgurante de la connectivité Internet et large bande, 3,7 milliards de personnes n'étaient toujours pas connectées et ne pouvaient donc pas profiter des bénéfices directs de l'économie numérique mondiale à la fin 2019⁸ (voir la Figure 3). Les populations non connectées sont concentrées pour l'essentiel dans les pays les moins avancés (PMA), dans lesquels seuls 19% des habitants avaient accès à l'Internet en 2019. Au niveau régional, en Afrique et en Asie-Pacifique, qui affichent des taux de 29% et 45% respectivement, moins de la moitié de la population est connectée. (voir la Figure 4).

Figure 3. Particuliers utilisant l'Internet, 2005-2019*



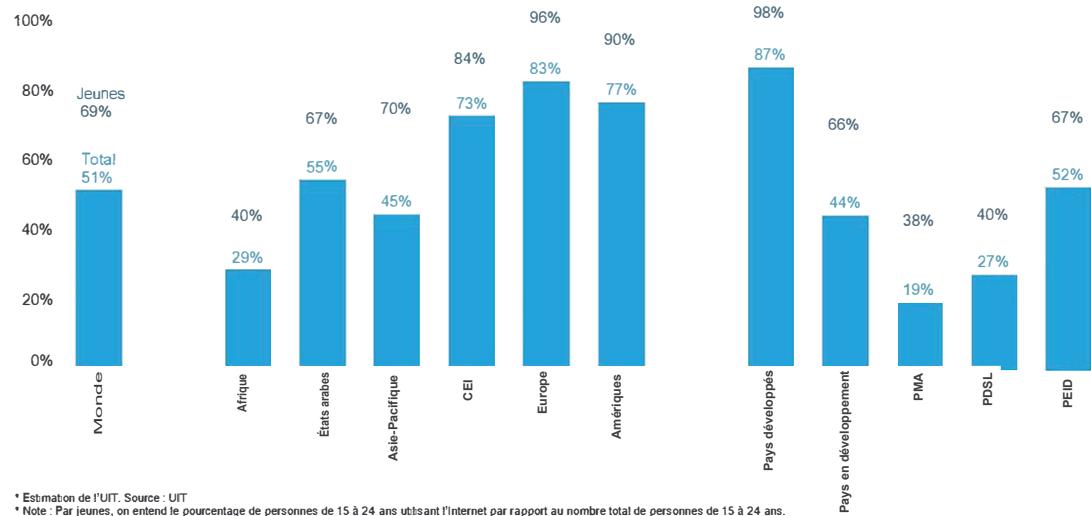
Source: UIT, voir note 2

* Estimation

⁷ Pathways for Prosperity Commission, *Digital Lives. Meaningful Connections for the Next 3 Billion* (2018).

⁸ UIT, op. cit., note 2.

Figure 4. Pourcentage de particuliers utilisant l'Internet, par région et niveau de développement, 2019*

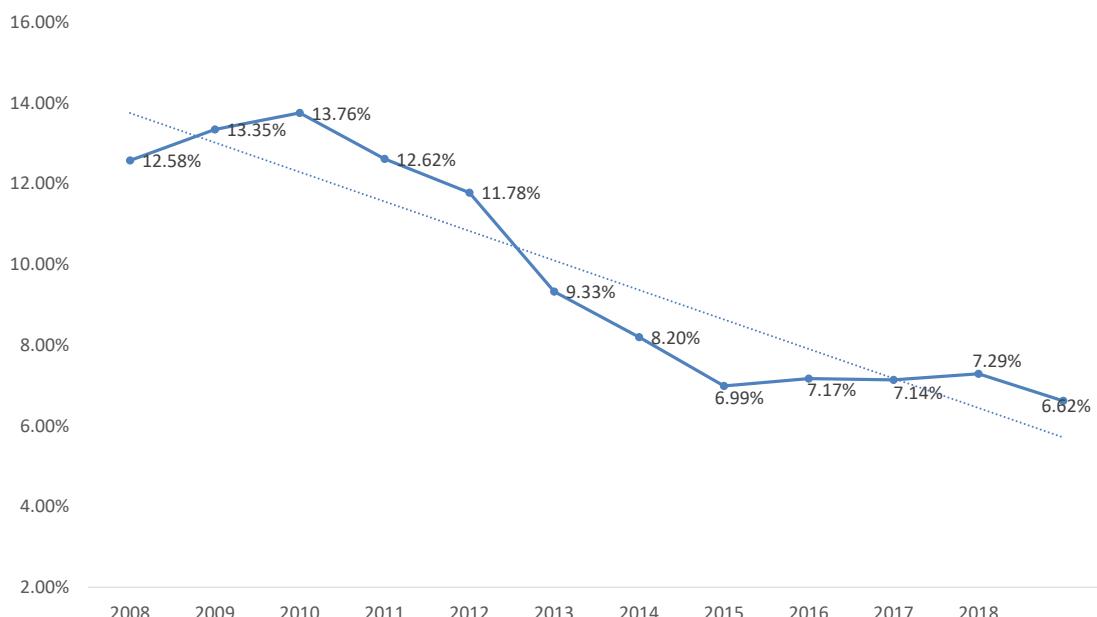


Source: UIT, voir note 2

*** Estimation**

Malgré le succès des déploiements de réseau menés par le secteur privé, la croissance du nombre d'internautes va ralentissant, ce qui retarde les avantages de l'adoption de l'Internet pour des centaines de millions de personnes. Le taux de croissance des particuliers utilisant l'Internet par rapport à la population mondiale totale a ralenti. Comme le montre la Figure 5, la croissance moyenne des utilisateurs de l'Internet dans le monde, sur trois ans, continue de baisser. Bien que l'on puisse s'attendre à un ralentissement de la croissance au fur et à mesure de l'évolution de la technique, l'adoption de l'Internet au niveau monde dépasse tout juste 50% et il pourrait s'écouler encore des dizaines d'années avant qu'elle ne soit universelle.

Figure 5. Ralentissement du nombre d'internautes dans le monde



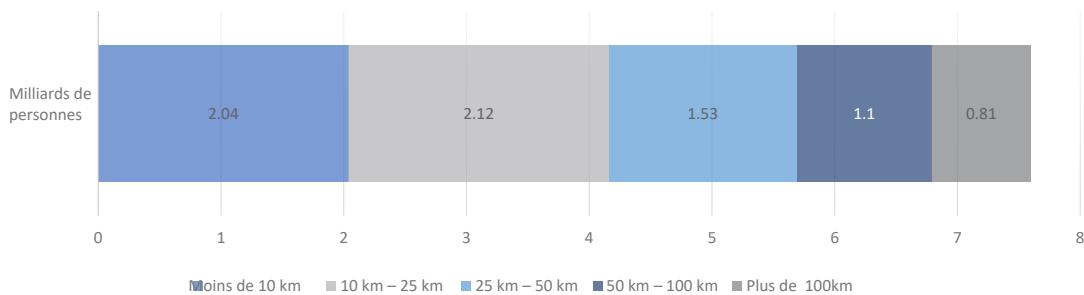
Source: Calculs basés sur les estimations de fin 2020 concernant les indicateurs clés relatifs aux TIC tirés des données de l'UIT dans *Faits et chiffres sur les TIC pour 2020*

Il existe quatre grandes raisons qui expliquent pourquoi des milliards de personnes ne sont toujours pas connectées: le manque d'infrastructure de réseau existante, l'absence de services Internet disponibles, les écarts en matière de compétences et de capacités et le manque de pertinence perçu.

Des écarts de couverture subsistent, quelle que soit la technologie de réseau considérée. Par exemple, les réseaux cellulaires mobiles offrent des niveaux de connectivité généralisés, mais des données récentes de la GSMA (l'association des opérateurs de réseau) indiquent que jusqu'à 750 millions de personnes dans le monde vivent dans des zones où il existe un "écart de couverture", autrement dit dans des zones dépourvues de signal provenant d'un réseau mobile à large bande (3G ou plus)⁹. Qui plus est, 3,28 milliards de personnes supplémentaires sont touchées par la fracture qui existe au niveau de l'utilisation, c'est-à-dire qu'elles vivent dans une zone couverte par un réseau mobile haut débit, mais qu'elles n'utilisent pas l'Internet mobile pour des raisons liées à l'accessibilité (du service et des appareils), à la pertinence et aux compétences des utilisateurs.

Les réseaux câblés basés sur la fibre optique offrent une connectivité de données haut débit, mais n'atteignent que difficilement les populations hors des zones urbaines et suburbaines. Dans le monde, seules 2 milliards de personnes se trouvent à moins de 10 km des réseaux actuels de câbles à fibre optique, ce qui suggère que la grande majorité de la population mondiale n'a potentiellement toujours pas accès aux réseaux à fibre compte tenu des distances géographiques (Figure 6). Les chiffres concernant l'accès réel aux réseaux à fibre peuvent aussi être surestimés, car même si les personnes résident à moins de 10 km des réseaux à fibre optique, il se peut qu'il n'y ait pas de point de présence, de terminal de ligne optique ou de raccordement de fibre optique capable de relier le réseau au domicile ou au bureau des personnes concernées.

Figure 6. Population à portée de la fibre, mars 2019*



Source: UIT

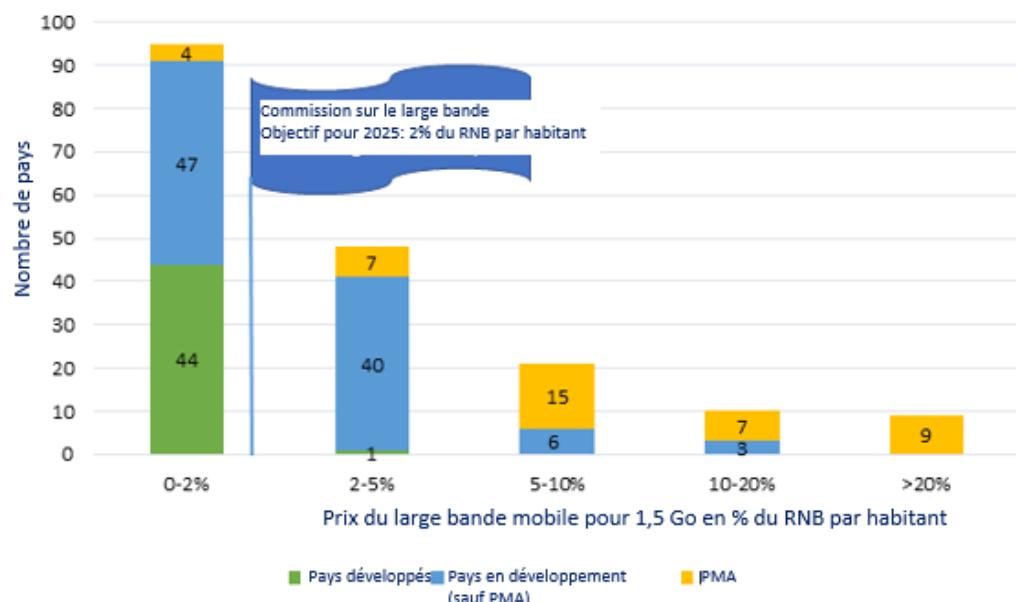
* Chiffres non cumulatifs. La Figure présente la population de la catégorie sans tenir compte des seuils inférieurs.

De plus, même lorsqu'il existe des réseaux de télécommunication, l'accès à l'Internet peut être limité par des prix prohibitifs. Le service peut être économiquement viable pour le fournisseur de services dans ces cas de figure car certains segments de la population peuvent y accéder, mais les particuliers et foyers à faible revenu n'ont vraisemblablement pas les moyens

⁹ GSMA, *Connected Society. The State of Mobile Internet Connectivity 2019* (2019).

financiers d'avoir accès à la connectivité. Aussi la Commission "Le large bande au service du développement durable" de l'UIT et de l'UNESCO a-t-elle adopté un objectif selon lequel les services large bande d'entrée de gamme dans les pays en développement doivent coûter moins de 2% du RNB mensuel par habitant¹⁰. Selon les dernières données de l'UIT, les prix moyens du service mobile large bande d'entrée de gamme dans au moins 88 pays dans le monde - dont presque tous sont des pays en développement et des pays moins avancés (voir les Figures 7 et 8) - sont considérés comme financièrement non accessibles (au-dessus de 2% du RNB moyen).

Figure 7. Nombre de pays ayant atteint les objectifs de la Commission sur le large bande pour les services mobiles large bande sur ordinateur (1,5 Go par mois), 2020*

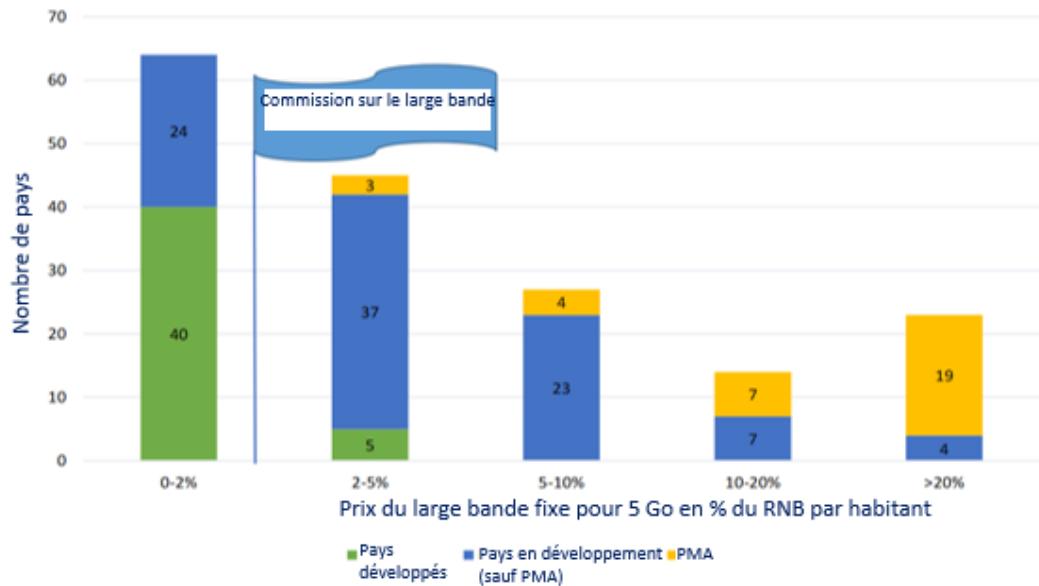


Source: UIT, *Mesurer le développement du numérique: Tendances des prix des TIC en 2019* (Diagramme 21, p. 46)

* Débits de données 3G et plus

¹⁰ Voir <https://www.broadbandcommission.org/Pages/targets/Target-2.aspx>.

Figure 8. Nombre de pays ayant atteint les objectifs de la Commission sur le large bande pour les services fixes large bande sur ordinateur (5 Go par mois), 2020



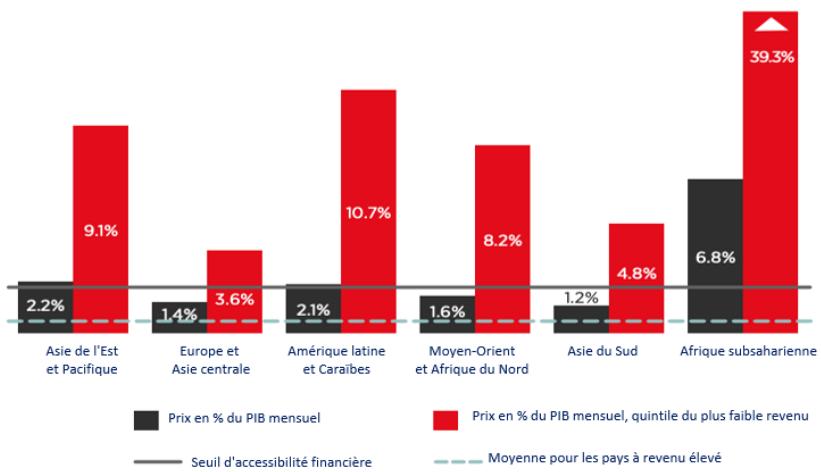
Source: ITU, UIT, *Mesurer le développement du numérique: Tendances des prix des TIC en 2019* (Diagramme 37, p. 65)

* Débit de 256 Kbit/s et plus

Le seuil de 2% a été adopté dans différentes organisations comme mesure utile pour estimer un service abordable. Il ne faut toutefois pas oublier qu'il s'agit du revenu moyen pour une population donnée et que même dans les situations où la tarification d'un pays atteint le seuil, les prix d'accès pour les groupes à faible revenu peuvent être nettement supérieurs à 2% du RNB et une concentration plus précise et ciblée sur les groupes à faible revenu peut être nécessaire¹¹ (voir la Figure 9). C'est pourquoi le présent Guide des solutions cible plus précisément les interventions qui fournissent un service abordable.

¹¹ La campagne "1 pour 2" de l'Alliance pour un Internet abordable («Alliance for affordable Internet») considère que l'Internet est abordable lorsque 1 Go de données mobiles large bande est facturé à 2% ou moins du revenu mensuel moyen (<https://a4ai.org/affordable-internet-is-1-for-2>). L'*Affordability Report 2015/16* (voir note 9, Chapitre 3) examine les effets de distorsion de l'inégalité des revenus sur les mesures d'accès.

Figure 9. Accessibilité financière de 1 Go de données dans les pays à revenu faible et intermédiaire, par région (2018)



Source: Calculs de GSMA Intelligence fondés sur les données de tarification de Tarifica. Pour chaque région, la moyenne est calculée sur la base des pays pour lesquels des données sont disponibles. Les données sur la distribution des revenus proviennent de la Banque mondiale.

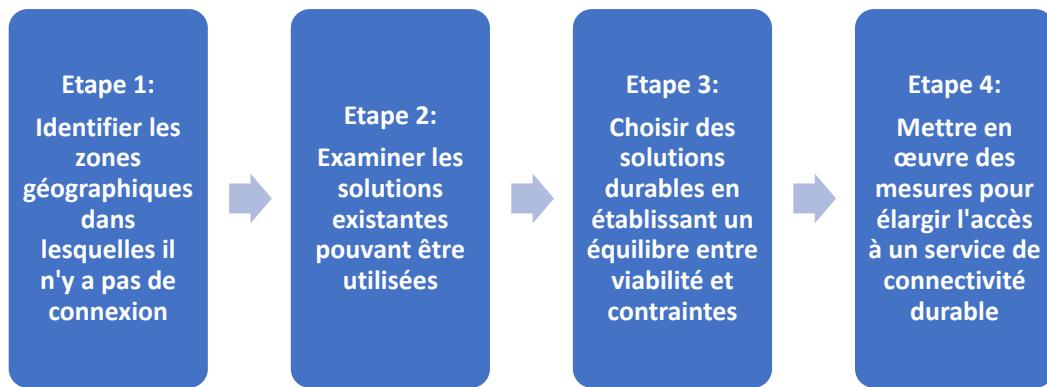
Source: GSMA (voir note 14)

Le Guide des solutions a été conçu dans le but d'aider les États membres à agir plus rapidement pour régler les problèmes de connectivité Internet sur le dernier kilomètre dans les situations où il existe un manque d'infrastructure réseau et dans le but d'encourager la fourniture de services lorsque l'accès est jugé inabordable. Il a été rédigé à l'intention des localités et des utilisateurs des zones géographiques sans accès à l'Internet, car ce sont ces communautés-là qui bénéficient de la connectivité Internet sur le dernier kilomètre. Les outils, les mesures relatives aux services et les solutions stratégiques reflètent par conséquent la meilleure façon d'élargir l'accès Internet à ces localités, compte tenu de leurs spécificités. Les autres défis comme les compétences (maîtrise des outils numériques) et la pertinence perçue (contenus locaux adaptés) sont traités en profondeur dans d'autres ressources listées à l'Annexe 2.

6 Les étapes du Guide des solutions

Le Guide des solutions comprend quatre étapes distinctes, chacune d'elles subdivisée en sous-étapes. La Figure 10 présente ces étapes et sous-étapes.

Figure 10. Étapes du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre



Chapitre 1: Identifier les zones géographiques dans lesquelles il n'y a pas de connexion (ou de services numériques) (étape 1)

1a - Comprendre les défis de fond liés à la cartographie de l'accès et de l'adoption

1b - Choisir une méthode de cartographie descendante ou ascendante

1c - Établir la cartographie des éléments clés: actifs de l'infrastructure réseau, demande potentielle et viabilité financière, contraintes des options technologiques

Chapitre 2: Examiner les solutions existantes pouvant être utilisées (étape 2)

2a - Examiner la base de données des études de cas portant sur les solutions de connectivité sur le dernier kilomètre

2b - Utiliser la classification/typologie des interventions

2c - Comprendre les principales caractéristiques des interventions et les compromis entre ces interventions

Chapitre 3: Choisir des solutions durables en établissant un équilibre entre viabilité et contraintes (étape 3)

3a - Choisir une solution abordable en matière de connectivité sur le dernier kilomètre

3b - Identifier les composantes d'une solution appropriée en matière de connectivité sur le dernier kilomètre

3c - Élaborer la matrice décisionnelle pour des solutions réalisables

3d - Envisager des outils supplémentaires pour évaluer les solutions

Chapitre 4: Mettre en œuvre des mesures pour élargir l'accès à un service de connectivité durable (étape 4)

4a - Options d'intervention - Introduction

4b - Options d'intervention - Mesures visant à améliorer l'efficacité du marché

4c - Options d'intervention - Financement ponctuel (subventions intelligentes)

4d - Options d'intervention - Financement/subventions récurrents

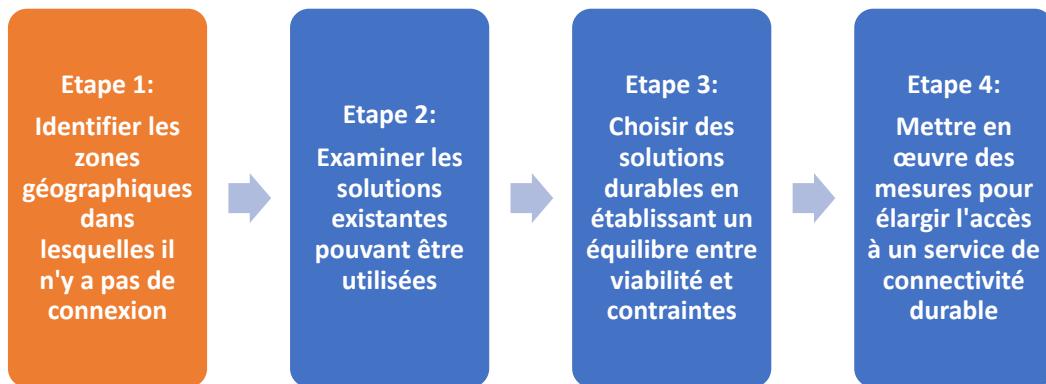
4e - Exemples d'options (tirés des études de cas présentées)

Chapitre 1. Identifier les zones géographiques dans lesquelles il n'y a pas de connexion (ou de services numériques) (étape 1)



La première étape en vue de fournir une connectivité durable et abordable consiste à identifier les limites géographiques de l'infrastructure de réseau en fonction de l'emplacement de la population. La difficulté réside ici dans le fait qu'il n'existe pas un ensemble de données universelles, systématiques et à disposition du public pour l'infrastructure de connectivité. La Figure 11 indique la place qu'occupe cette étape dans le processus global et montre les activités correspondantes.

Figure 11. Étape 1 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre



Étape 1 - Identifier les zones géographiques dans lesquelles il n'y a pas de connexion (ou de services numériques)

1a - Comprendre les défis de fond liés à la cartographie de l'accès et de l'adoption

1b - Choisir une méthode de cartographie descendante ou ascendante

1c - Établir la cartographie des éléments clés: actifs de l'infrastructure réseau, demande potentielle et viabilité financière, contraintes des options technologiques

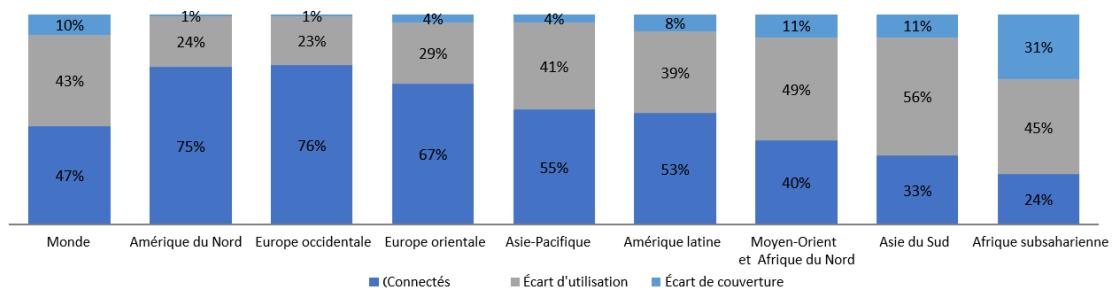
1.1 Comprendre les défis de fond liés à la cartographie de l'accès et de l'adoption (étape 1a)

La raison pour laquelle nous devons commencer par la cartographie, c'est qu'il est nécessaire d'identifier les zones de connectivité limitée ou non abordable avant d'entamer le processus d'identification des possibles raisons du service limité et des éventuelles solutions durables.

La cartographie de la connectivité s'avère complexe, car de nombreuses technologies fournissent des communications numériques; un amalgame des zones de couverture desservies par ces technologies doit donc être développé et étudié par rapport à la situation géographique des individus. Par exemple, l'UIT estime qu'un peu plus de 2 milliards de personnes résident à moins de 10 km de câbles en fibre optique à haut débit (voir la Figure 6). Cependant, en termes de connectivité cellulaire, la GSMA rapporte que 90% de la population mondiale réside dans une zone de couverture desservie par des opérateurs de réseaux de données mobiles (voir la Figure 12).

Selon la GSMA¹², plus de 750 millions de personnes (environ 10% de la population mondiale) ne sont pas couvertes par le large bande mobile (3G ou plus), en particulier dans les zones rurales et isolées. Ceci est aggravé par un écart d'utilisation dans les endroits desservis par le large bande. Par exemple, jusqu'à 31% des personnes en Afrique ne sont pas couvertes par un réseau de téléphonie mobile, mais près de 45% des personnes qui vivent dans des endroits bénéficiant d'une couverture mobile n'utilisent pas l'Internet mobile.

¹² Handforth, op. cit., note 3.

Figure 12. Couverture mobile de Terre et écarts d'utilisation dans le monde

Source: Handforth, voir note 3

Les prestataires de services par satellite, quant à eux, fournissent des services dans certaines zones géographiques qui ne sont pas encore desservies par les réseaux de Terre (technologies cellulaires, à fibre optique ou autres), y compris dans les zones suburbaines, rurales et isolées¹³.

Cependant, une vue d'ensemble de la totalité voire de la majorité des zones de couverture des services n'existe pas au niveau mondial et n'existe que rarement au niveau national, car la cartographie des différents types d'infrastructures de réseau de communication est une entreprise complexe et ce, pour plusieurs raisons: pluralité des couches de technologie avec des portées de couverture différentes; la plupart des données d'infrastructure sont de propriété commerciale; les données changent constamment au fil du temps en raison des investissements et du démantèlement; portée géographique; et nécessité de superposer les caractéristiques géographiques pertinentes telles que la topographie et les données socio-économiques.

Nous ne disposons pas à ce jour de données universelles, systématiques et publiquement disponibles pour l'infrastructure de connectivité au niveau mondial. Ce n'est pas le cas pour d'autres grandes infrastructures de base, telles que les réseaux routiers ou la cartographie des réseaux électriques, ou pour d'autres ressources importantes, telles que la couverture forestière mondiale. La Banque mondiale, Facebook et d'autres ont ainsi collaboré pour développer un nouveau modèle prédictif visant à obtenir une cartographie plus précise du réseau électrique. De même, le World Resources Institute gère Global Forest Watch, une plate-forme de suivi de la couverture forestière en temps quasi réel.

Des données d'infrastructure de réseau robustes existent isolément, dans des couches disparates ou derrière des ensembles de données propriétaires. Les prestataires de services disposent souvent d'une solide cartographie pour leur infrastructure de réseau. Mais le plus souvent, ces données restent propriétaires, isolées et ne sont pas combinées aux autres couches d'infrastructure pertinentes. Certains fournisseurs, en particulier les prestataires de services de contenu en ligne et les sociétés Internet over-the-top, ont une visibilité sur les emplacements géographiques de leurs clients, dans la mesure où ils comptabilisent des centaines de millions voire des milliards d'utilisateurs, et les applications qui utilisent leurs services sont également en mesure de déterminer les types de connectivité utilisés par les individus pour se connecter à l'Internet. Dans de nombreux cas, ces entités donneront accès aux données à des fins de planification du réseau, mais uniquement au cas par cas.

¹³ Voir, par exemple, Satbeams, à l'adresse <https://www.satbeams.com/footprints>.

1.2 Choisir une méthode de cartographie descendante ou ascendante (étape 1b)

Selon la portée géographique de l'exercice, il existe deux approches principales pour cartographier l'infrastructure de réseau et l'accès au réseau. La première est une approche descendante qui implique la cartographie d'une vaste zone géographique en accédant à des sources de données secondaires et en identifiant les disparités en matière de services d'infrastructure. Elle diffère de l'approche ascendante, plus fine et plus localisée, qui se base sur la sélection *ex ante* d'une localité spécifique pour obtenir un aperçu des conditions en vigueur grâce à un recensement direct des résidences et à une étude physique des actifs du réseau. Ces deux approches superposent les actifs d'infrastructure et la couverture à la densité de population. La Figure 13 ci-dessous distingue les deux approches, mais un exercice de cartographie donné peut recourir à des éléments de l'une ou l'autre de ces approches, accéder à la cartographie secondaire des actifs du réseau, de la densité de population et d'autres infrastructures pertinentes, et la combiner avec une enquête et une étude sur le terrain.

Figure 13. Différences entre les approches descendante et ascendante visant à cartographier les populations isolées et mal desservies

Méthode descendante:

On cartographie de vastes zones géographiques (nationales ou sous-nationales) en accédant à des données de cartographie secondaires afin d'identifier les lacunes en matière de couverture de l'infrastructure.

Caractéristiques additionnelles:

- Données recueillies auprès de sources secondaires telles que des organismes publics nationaux ou des agrégateurs tiers (p.ex. données de satellites, infrastructure d'opérateur, etc.)
- Tendance à couvrir de vastes zones géographiques
- Possibilité d'élaborer une approche multidimensionnelle des interventions en matière de connectivité au-delà d'un seul site/emplacement

Méthode ascendante:

A partir de la localité spécifique ciblée, on cartographie les données locales et on teste les différents aspects de la disponibilité de l'infrastructure réseau.

Caractéristiques additionnelles:

- Cartographie locale (tests de l'infrastructure de réseau disponible à proximité)
- Ajout de facteurs socio-démographiques au niveau local, recueillis par le biais de recensements
- Intégration des conditions géographiques et environnementales pertinentes

Les données collectées peuvent concerner l'infrastructure réseau disponible (réseaux d'accès et de raccordement et leur tarification, antennes de téléphonie mobile, utilisation du spectre des fréquences radio électriques, points d'accès WiFi, points de présence pour le câble et la fibre), la viabilité financière (taille de la localité en fonction de la zone géographique et de la population, densité de population, niveaux de revenu par habitant, données démographiques telles que la part des adultes dans la population, les niveaux d'alphanumerisation et la répartition par sexe) et d'autres contraintes environnementales et géographiques (présence d'électrification du réseau, réseaux routiers, topographie et conditions météorologiques). En plus des deux approches susmentionnées, il existe au moins quatre types de carte de connectivité couvrant différents éléments et aspects du service: cartographie de la demande, cartographie des infrastructures, cartographie des investissements et cartographie du service (voir le Tableau 2¹⁴).

¹⁴ L'Union européenne compare ici différents types de cartographie: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/broadband-and-infrastructure-mapping-project>.

Tableau 2. Contenu des différents types de cartes de connectivité

Cartographie de la demande	Cartographie des infrastructures	Cartographie des investissements	Cartographie du service
<ul style="list-style-type: none"> • Demande de largeur de bande • Qualité de service • Consentement à payer • Services requis 	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastructure de télécommunication • Autre infrastructure pertinente (collectif) • Travaux de construction (routes, immeubles) 	<ul style="list-style-type: none"> • Segmentation des infrastructures par source d'investissement • Privés/financés • Planifiés/réalisés 	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur de bande et technologie d'accès (niveau de disponibilité du service) • Fournisseur • Utilisation du volume de données, taux d'adoption • Prix

Le processus standard de développement des cartes peut comprendre trois étapes (voir le Tableau 3): la collecte des données, le traitement des données et la publication des données. La collecte des données concerne l'identification des sources pertinentes et des séries de données appropriées à collecter. Le traitement des données implique la combinaison des séries de données et des contrôles de qualité solides. La publication des données englobe le partage des données avec les audiences appropriées aux niveaux concernés.

Tableau 3. Processus standard pour tous les types de cartographies large bande

Collecte des données	Traitement des données	Publication des données
<p>Choix</p> <ul style="list-style-type: none"> - des sources de données - de l'information à collecter - de l'échelle spatiale de la collecte des données - du processus/de la fréquence d'approvisionnement des données 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôles de qualité (contrôles manuels additionnels/retours des utilisateurs) - Conversion des données - Intégration spatiale de données additionnelles 	<p>Choix</p> <ul style="list-style-type: none"> - du niveau d'accès des données - du niveau spatial de publication - du format de publication

Source: J. Navas-Sabater, *Broadband Mapping - International Good Practices and World Bank Experience* (Présentation du 2 juillet 2019), Groupe de la Banque mondiale

Après examen des deux approches (descendante et ascendante), une décision peut être prise sur l'approche à suivre ou sur les éléments des deux approches à combiner. Le Guide des solutions ayant été rédigé du point de vue des communautés individuelles qui ne sont pas encore desservies par des services de télécommunications accessibles et abordables, celui-ci sera axé sur les éléments nécessaires à l'approche ascendante. Il existe cependant de nombreuses entreprises et de nombreuses ressources (comme indiqué dans la description de l'approche descendante) qui peuvent être contactées pour apporter un soutien global en faveur d'une approche descendante. L'approche ascendante a tendance à être davantage axée sur l'utilisateur et sur la localité. Le Tableau 4 résume les avantages et les inconvénients des deux approches. D'autres exemples de cartographie et études de cas sont présentés à l'Annexe 1.

Tableau 4. Approches descendante et ascendante: avantages et inconvénients

	Approche descendante	Approche ascendante
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Vue d'ensemble sur une vaste région géographique • Peut identifier plusieurs communautés ayant besoin d'un soutien en matière de services de connectivité • Peut remplir plusieurs objectifs en matière de collecte et de suivi robustes des données (obligations de service, problèmes d'électrification, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Capable de développer en profondeur une vue très fine de la connectivité pour une localité spécifique, qui ne serait pas nécessairement possible pour une grande région ou plusieurs communautés • Peut être menée et complétée plus efficacement avec moins de ressources
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des ressources importantes: temps, main-d'œuvre, capital, compétences et puissance de traitement • Peut nécessiter une intervention réglementaire pour obtenir certains ensembles de données • Requiert un engagement pour garantir la validité et l'exactitude des données (mise à jour) • Peut biaiser l'approche d'intervention si les ensembles de données sont incomplets (par ex. si le focus est mis uniquement sur les options cellulaires et non sur l'ensemble des technologies sans fil) 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduit le rayon d'action géographique à une ou quelques communautés • Affecte uniquement la localité concernée et non un pays ou une région • Peut aussi nécessiter beaucoup de temps et de main-d'œuvre pour collecter autant de données pertinentes que possible

Cinq ressources cartographiques peuvent se révéler particulièrement utiles dans le cadre des efforts qui sont déployés pour la cartographie à grande échelle.

1) La cartographie du large bande de l'UIT (<https://itu.int/go/Maps>) est une carte interactive de transmission à large bande en ligne développée par l'UIT et mise à la disposition du public. Elle présente l'infrastructure centrale sous-marine et terrestre, fournit des renseignements de localisation grâce à la visualisation des données et constitue un système d'information géographique (SIG) au service du développement des TIC.

Actuellement, la carte illustre les données de plus de 480 opérateurs, 19 775 notes et plus de 3,5 millions de km d'infrastructure de réseau. L'outil inclut également la superposition des frontières reconnues par l'ONU, de la topographie naturelle de la Terre, de la densité de la population, des distances jusqu'aux nœuds, des stations terriennes par satellite et des points d'échange Internet.

2) Le Projet de cartographie du câble à fibre optique terrestre pour l'Afrique (AfTerFibre, <https://afterfibre.nsrc.org>) fournit une carte des initiatives pour l'Afrique en matière d'infrastructures à fibre optique terrestres (et désormais sous-marines). Il a été mis sur pied avec l'aide initiale de Google et est maintenant hébergé et soutenu par le Network Startup Resource Center. AfTerFibre est une initiative open data avec des sources de données publiquement disponibles en téléchargement. Les cartes pour AfTerFibre proviennent généralement d'images en points, parfois des sites Web des entreprises des opérateurs, parfois des études ou des rapports sur le développement des infrastructures régionales, et parfois par le biais de contacts personnels. Les cartes qui ne sont pas d'ores et déjà disponibles en ligne sont téléchargées sur

Tableau 5. Cartographie descendante des infrastructures: exemples

Nom de la cartographie	Couverture géographique	Réseaux de Terre ou sous-marins	Service public ou commercial	Données téléchargeables par le public ?	URL
Cartographie du large bande de l'UIT	Monde	Fibre terrestre, hyperfréquences et câble sous-marin	Public	Accès limité	https://itu.int/go/Maps
Cartographie des câbles sous-marins de TeleGeography	Monde	Câble sous-marin	Public	Oui	https://www.submarinecablemap.com/ et https://github.com/telegeography/www.submarinecablemap.com
Projet de cartographie du câble à fibre optique terrestre pour l'Afrique (AfTerFibre)	Afrique	Fibre terrestre et câble sous-marin	Public	Oui	https://afterfibre.nsrc.org/
The Connected Pacific	Asie de l'Est et Pacifique	Câble sous-marin	Public	Oui	https://connectedpacific.org
Satbeams	Monde	Satellite	Public	Certaines	https://www.satbeams.com/
Cartes de couverture mobile de la GSMA	Afrique (8 pays)	Cellulaire de Terre	Public	Non	http://www.mobilecoveragemaps.com/
Masae Analytics	Monde	Réseaux de Terre et sous-marins	Commercial	Non	https://www.masae-analytics.com/
InfraNav	Monde	Réseaux de Terre et sous-marins	Commercial	Non	https://www.infranav.com/
Fraym	Afrique	Réseaux de Terre et sous-marins	Commercial	Non	https://fraym.io/
TowerSource (infrastructure)	Monde	Réseaux de Terre	Commercial	Non	https://www.towersource.com/
mapELEMENTS (couverture)	Monde	Couverture mobile de Terre	Commercial	Non	https://www.mapelements.com/
Opensignal	Monde	Couverture cellulaire de Terre	Commercial	Non	https://www.opensignal.com/

un site Web Flickr. Les images en points sont ensuite tracées numériquement puis converties au format SIG avant d'être téléchargées sur CartoDB, une plate-forme SIG basée sur le cloud.

3) La cartographie "The Connected Pacific" (<https://connectedpacific.org>), également soutenue par le Network Startup Resource Center et la Fondation APNIC, établit ses itinéraires

de câbles à partir d'une gamme de sources primaires, incluant les licences FCC, les dépôts financiers, les cartes marines, les données de localisation des navires câbliers, les approbations environnementales et les présentations des opérateurs.

4) Les cartes de couverture mobile de la GSMA (<https://www.mobilecoveragemaps.com/>) nouvellement mises à jour ont été créées par la GSMA sur la plate-forme de cartes de la couverture mobile pour remédier au manque de données de couverture fiables et précises sur les marchés émergents. Grâce à ces cartes interactives, les usagers peuvent:

- obtenir une image précise et complète de la couverture mobile dans un pays donné pour chaque génération de technologie mobile (2G, 3G et 4G);
- évaluer le statut de couverture pour chaque installation de population dans le pays, quel que soit sa taille ou son éloignement;
- simuler le déploiement de nouveaux sites mobiles et estimer la population desservie.

À des fins de pertinence, de précision et d'exploitabilité, les cartes de couverture sont basées sur des données de première main de haute granularité. Pour ce faire, la GSMA collecte des informations de réseau (telles que l'emplacement des antennes et la hauteur des pylônes) directement auprès des opérateurs mobiles et estime la couverture combinée de tous les opérateurs mobiles du marché à l'aide d'un modèle de propagation standard. Les données de couverture sont ensuite superposées aux données démographiques à haute résolution développées par le Facebook Connectivity Lab et le CIESIN. Ces données permettent d'estimer la répartition de la population humaine à un niveau hyperlocal, sur la base des données de recensement et de l'imagerie satellite à haute résolution. Enfin, les cartes intègrent d'autres indicateurs socio-économiques et des bâtiments clés tels que les écoles, les hôpitaux et les centres médicaux. La plate-forme en ligne héberge actuellement huit cartes: Côte d'Ivoire, Ghana, Libéria, Nigéria, Ouganda, Rwanda, Tanzanie et Zambie; d'autres pays seront ajoutés dans les mois à venir. Les cartes de couverture correspondent à un certain nombre de cas d'utilisation, mais le plus important reste la planification des infrastructures rurales. Pour cela, la GSMA a développé des algorithmes qui utilisent les données sous-jacentes des cartes pour optimiser les déploiements et maximiser la couverture de la population tout en minimisant les coûts. Au travers de cette analyse, la GSMA aide les opérateurs mobiles à identifier les zones rurales où ils peuvent étendre la couverture d'une manière commercialement viable. Il aide également les autorités publiques à hiérarchiser leurs efforts de connectivité en identifiant les domaines qui nécessitent une forme de subvention ou de concession pour réduire le coût de déploiement (par ex. exonération des droits d'importation).

5) Satbeams (<https://www.satbeams.com/footprints>) regroupe les satellites géostationnaires/de communication, incluant les zones de couverture, les détails techniques et les diagrammes de fréquences. Il possède actuellement l'une des plus grandes bibliothèques d'empreintes de satellites, avec des informations détaillées sur plus de 1 800 faisceaux, plus de 400 satellites géostationnaires, 7 500 transpondeurs et 32 000 canaux.

Au niveau des pays, plusieurs organismes publics développent et suivent l'infrastructure du réseau et le déploiement des services. Le Tableau 6 montre comment les gouvernements nationaux de la Pologne, du Royaume-Uni et de l'Irlande, ainsi que de l'Union européenne, tiennent à jour des bases de données cartographiques pour informer sur le déploiement des services.

Tableau 6. Exemples de cartographie descendante

Pays	Organisme	Type de carte	Données ouvertes	URL
Pologne	Bureau des communications électroniques	Infrastructure	Oui	https://wyszukiwarka.uke.gov.pl/
Royaume-Uni	Office of Communications (Ofcom)	Couverture des services mobiles	Oui	https://checker.ofcom.org.uk/
Irlande	Commission for Communications Regulation (ComReg)	Couverture des services mobiles	Oui	https://coveragemap.comreg.ie
Union européenne	Commission européenne. Direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies (DG CNECT)	Couverture des services large bande	Oui	https://www.broadband-mapping.eu/

Encadré 1. Exemple de cartographie descendante: initiative Internet para Todos (Pérou)

Internet para Todos (<https://internetparatodos.tid.es/>) (IpT) est une initiative visant à étendre la connectivité Internet, initialement au Pérou. Elle est dirigée par Telefónica en partenariat avec la Banque interaméricaine de développement, Facebook et la Banque de développement d'Amérique latine. Il s'agit d'une société indépendante qui déploie, exploite et possède sa propre infrastructure mobile (y compris l'infrastructure pour un réseau d'accès radioélectrique ouvert) à l'appui de ses partenaires MNO, agissant comme opérateur de connectivité en tant que service (voir le Tableau 16 pour la définition des modèles commerciaux).

L'initiative IpT se caractérise notamment par la présence d'un solide élément de cartographie descendante qui s'est concentré sur le problème initial de l'identification de toutes les informations pertinentes nécessaires à la prise de décision technique et financière. L'initiative a relevé le défi de la cartographie en incorporant des images satellite haute définition à l'échelle nationale, combinées à d'autres ensembles de données et à ses propres informations de réseau interne, et a appliqué des modèles de réseau neuronal, tels que des algorithmes d'apprentissage automatique formés par les données de recensement, dans le but d'identifier correctement les maisons, les établissements et autres caractéristiques pertinentes.

Voir également:

<http://www.ipt.pe>

<https://www.telefonica.com.pe/es/ipt>

<https://www.linkedin.com/pulse/how-telef%C3%B3nica-uses-ai-ml-connect-unconnected-patrick-lopez/>

<https://www.slideshare.net/wap13/big-data-for-social-good-106562070>

Encadré 2. Exemple de cartographie ascendante: projet PCARI VBTS (Philippines)

Le projet PCARI Village Base Station (VBTS) (<https://pcarivbts.github.io/>) est un projet de réseau cellulaire communautaire, axé sur la fourniture de services vocaux de base (2G) et SMS aux villages isolés auparavant non connectés le long de la côte est des Philippines. En tant que réseau mobile local à but non lucratif (voir la section 2.2 Utiliser la classification/typologie des interventions), le projet VBTS a conclu un partenariat avec un opérateur MNO national pour l'interconnexion et la permission d'utiliser l'assignation des fréquences de l'opérateur.

Le projet visait également à évaluer l'impact économique de la connectivité voix et données émergente (voir le test de contrôle aléatoire mené dans le cadre de l'initiative: http://jblumenstock.com/files/papers/jblumenstock_2020_ccn.pdf). La première étape du processus a consisté à identifier les communautés qui n'avaient pas de service de connectivité. L'équipe de projet a adopté une série de mesures visant à identifier les contraintes de connectivité, parmi lesquelles:

- une vérification préliminaire sur le terrain (interrogation des villageois sur l'utilisation de leur appareil, la disponibilité du signal, les emplacements pour accéder au signal);
- une analyse de spectre à l'aide d'une gamme d'outils variés (analyseurs de spectre portatifs; antennes large bande pour contrôler les fréquences et téléphones cellulaires équipés d'une fonction de surveillance spéciale) (voir la Figure 14);
- la cartographie des résultats de l'indicateur d'intensité du signal reçu, qui mesure la qualité du signal en décibels.

Encadré 2 figure: Sites de déploiement du projet VBTS



- Communautés côtières isolées dans les criques
- Accès principalement par bateau
- Absence de réseau routier effectif
- Alimentation électrique hors réseau
- Pas de signal cellulaire mais certains habitants ont des téléphones portables
- 80% des terres sont des zones protégées
- Villes principalement agricoles
- Accès aux services sociaux limité aux services de base

Source: J. Dionisio, C. Festin et C. Barela, Village Base Stations (VBTS): Connecting Communities Through Mobile Networks, présentation à l'atelier US-ACI sur les centres d'accès Internet et la prestation de services sur le dernier kilomètre dans l'ASEAN, 15 août 2018, Université des Philippines

Pour plus d'informations, voir:

<https://pcarivbts.github.io/>
https://kurti.sh/pubs/ccn_takeup_paper.pdf

1.3 Établir la cartographie des éléments clés: actifs de l'infrastructure réseau, demande potentielle et viabilité financière, contraintes des options technologiques (étape 1c)

Quelle que soit l'approche choisie (descendante, ascendante ou mixte), l'infrastructure réseau existante devra être mappée pour identifier les options de service potentielles qui sont disponibles ou qui devront être établies.

Il s'agit notamment d'identifier les sources de capacité de raccordement, telles que les itinéraires de câbles à fibres optiques et les points de présence, afin de comprendre la quantité de capacité qui sera disponible pour le réseau d'accès – et son coût. Le coût de la capacité Internet de raccordement (kilomètre intermédiaire) est l'une des plus grosses dépenses opérationnelles pour les réseaux ruraux et éloignés. La disponibilité du service de raccordement existant vers une localité réduit ainsi le coût de la fourniture du service (les dépenses en capital et les dépenses d'exploitation). L'existence d'autres services de connectivité (tels que les services cellulaires, même 2G) peut signaler la présence de liaisons de capacité de raccordement vers la localité. Cette capacité devra vraisemblablement être augmentée si des services plus gourmands en données nécessitent ou exigent un débit supérieur.

De nouvelles liaisons de raccordement peuvent par ailleurs être requises si la capacité disponible ne suffit pas (ou en l'absence de capacité). Le niveau de demande et de consentement à payer de la localité va déterminer le type de capacité de raccordement qui sera offert par le nouveau service. Dans certains cas, une liaison de raccordement à moindres coûts pourra être utilisée, par exemple des liaisons hertziennes point à point ou des solutions de raccordement cellulaires. Dans d'autres cas, notamment pour des sites très isolés, des liaisons de raccordement par satellite seront requises, pour un coût au débit supérieur.

Pour cartographier les liaisons de raccordement, il convient d'identifier les solutions de raccordement existantes actuellement disponibles sur la localité, d'identifier les points de présence les plus proches pour l'autre réseau central et l'infrastructure sur le kilomètre intermédiaire et de déterminer le coût de l'établissement de nouvelles liaisons de raccordement.

De même, il peut être judicieux d'établir la cartographie des données relatives à la couverture du réseau mobile et à l'emplacement des pylônes dans une localité cible pour identifier la couverture existante et les sources potentielles de raccordement. Quand bien même certains opérateurs MNO fournissent des cartes de couverture, il arrive dans bon nombre de pays que les données de couverture ne soient pas disponibles directement auprès des opérateurs MNO ou des régulateurs nationaux. Dans ces cas-là, on utilisera d'autres sources, comme les données collaboratives de localisation des pylônes, pour vérifier tout d'abord le périmètre de couverture des pylônes situés dans la zone en question. OpenSignal (<https://www.opensignal.com>), qui cartographie la couverture de réseau, et OpenCellId (<https://opencellid.org>), qui identifie les médonnées relatives à l'emplacement des pylônes, sont deux ressources qui peuvent être utiles à cette fin.

La présence de pylônes à proximité suggère qu'il peut être possible:

- de travailler avec l'opérateur MNO existant pour étendre ou augmenter la couverture et la capacité;
- de développer un modèle tiers qui étend le service MNO grâce à un accord de partage des recettes; ou

- d'identifier la source de raccordement des pylônes et la capacité de passation des marchés pour un nouveau service qui sera étendu à la localité concernée.

Tableau 7. Sources de données d'infrastructure réseau

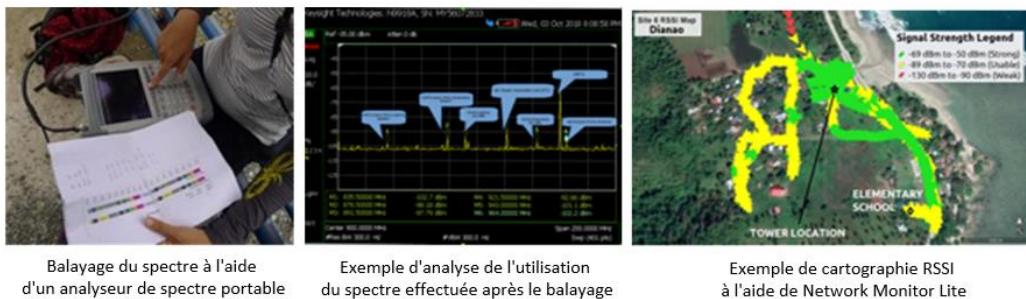
Type d'infrastructure	Motifs de la cartographie	Sources potentielles
Itinéraires de câbles à fibres optiques et points de présence	Signale la disponibilité des liaisons de raccordement pour la largeur de bande grande capacité et de moindres coûts	Fournisseurs d'installations de raccordements à fibre optique, régulateur national, cartographie des réseaux de transmission large bande de l'UIT
Réseau cellulaire (couverture et pylônes)	Signale la disponibilité des éventuelles liaisons de raccordement (fibre ou hyperfréquences jusqu'au pylône) et du réseau d'accès existant	Cartographie de la couverture des opérateurs MNO, régulateur national, données collaboratives (par ex. OpenSignal, OpenCellID)
Cartes de la couverture satellite	Stipule si les services par satellite couvrent la zone et quels sont les types de services disponibles	SatBeams: https://www.satbeams.com/ ; LyngSat Maps: http://www.lyngsat-maps.com/ (des références complémentaires de cartes par satellite sont fournies à l'Annexe 2)
Points d'accès WiFi	Signale la disponibilité des éventuelles liaisons de raccordement (fibre ou hyperfréquences jusque dans les locaux) et du réseau d'accès existant	Mozilla Location Services et Facebook App
Droits d'utilisation du spectre	Permet de déterminer si les bandes de spectre attribuées à des services donnés sont d'ores et déjà affectées aux fournisseurs. Si tel est le cas, on obtient confirmation que les obligations sont bien remplies. Dans le cas contraire, il existe un potentiel pour exploiter légalement le spectre non attribué (ou inutilisé).	Régulateur national, traçage des données ouvertes de télécommunication en mode collaboratif (pour l'Afrique: https://opentelecomdata.org/spectrum-chart/)

Selon les options envisagées, un examen de l'utilisation du spectre aiderait à déterminer la disponibilité du service et des bandes de fréquences. La cartographie des bandes de fréquences dans le voisinage immédiat de la localité servirait à identifier:

- le recours à des bandes de fréquences utilisées dans les canaux cellulaires standard;
- la présence de bandes de fréquences utilisées dans d'autres canaux pertinents (en particulier pour les systèmes hyperfréquences);
- l'étendue du brouillage dans les bandes WiFi non soumises à licence.

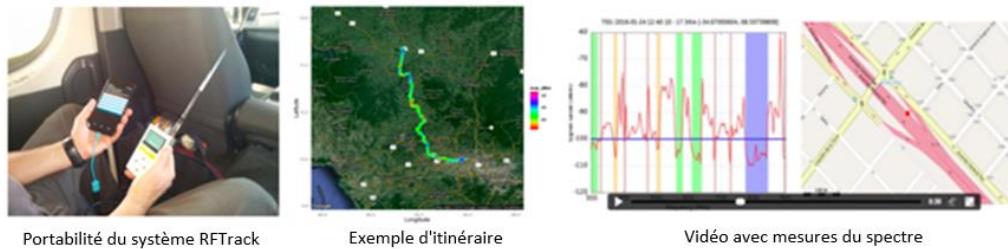
Les approches standard pour cartographier l'utilisation des bandes de fréquences comprennent le déploiement d'analyseurs de spectre sur les essais en mouvement, en marchant (Figure 14) ou dans les véhicules (Figure 15).

Figure 14. Exemple d'essai en marchant pour identifier les bandes de fréquences GSM dans le but de déployer un réseau cellulaire communautaire



Source: Projet PCARI Village Base Station, disponible à l'adresse <https://pcarivbts.github.io/>

Figure 15. Exemple d'essai dans les véhicules pour identifier la disponibilité des bandes de fréquences



Source: International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italie, disponible à l'adresse <http://wireless.ictp.it/Papers/RFTrack-ICTP.pdf>; pour plus de précisions concernant les essais dans les véhicules, voir <https://www.telecomhall.net/t/what-is-rf-drive-test-testing/6392>

D'autres options pour cartographier l'utilisation du spectre font appel à des drones. Astrea, partenaire de l'initiative Airband de Microsoft, utilise des drones équipés d'analyseurs de spectre pour mesurer le rapport signal/bruit à différentes hauteurs au-dessus du niveau du sol et déterminer le degré de "propreté" du spectre en un lieu donné. Un service radio dans la même zone et dans les mêmes bandes de fréquences provoquerait des brouillages entraînant une dégradation des performances du signal sans fil. Dans un proche avenir, les satellites en orbite terrestre basse (LEO) pourraient même aider à surveiller l'utilisation du spectre radioélectrique et fournir des informations sur les options de service possibles¹⁵.

La présence d'informations plus accessibles au public sur l'infrastructure du réseau permettrait à l'ensemble des parties intéressées d'identifier plus rapidement les écarts de fourniture de service. Ces informations sont néanmoins limitées, ce qui laisse penser que les initiatives de données ouvertes visant à partager davantage d'informations pourraient avoir un impact. Une première étape pour identifier la disponibilité du spectre dans une région donnée consiste à essayer d'obtenir des informations sur l'attribution et l'assignation des fréquences auprès des organismes compétents dans un pays donné. L'"attribution" désigne le processus de détermination de l'utilisation d'un bloc de fréquences donné, alors que l'"assignation"

¹⁵ HawkEye 360 est l'une de ces solutions LEO. Elle vise à utiliser des capteurs spatiaux permettant d'examiner une large gamme de fréquences dans de grandes régions sur la planète. Le service fournit aux entreprises et aux régulateurs des analyses de fréquences radioélectriques pour améliorer l'efficacité opérationnelle et la résilience des communications et aide les opérateurs à identifier et à localiser rapidement les sources de problèmes lorsque leurs réseaux de communication essentiels subissent des brouillages.

fait référence au processus de détermination des personnes autorisées à utiliser ce bloc¹⁶. Cependant, il peut être difficile dans de nombreux pays d'identifier l'attribution et l'assignation des fréquences. Un grand nombre de gouvernements pourraient soutenir la publication ouverte de l'attribution et de l'assignation des fréquences, ainsi que d'autres aspects de l'infrastructure de réseau, afin d'accélérer le processus d'extension du service dans les zones géographiques non connectées et d'augmenter l'efficacité de la couverture dans son ensemble. Le fait de publier des informations ouvertes sur différents aspects de l'infrastructure réseau favoriserait les efforts descendants et ascendants pour cartographier et étendre le service réseau. Ces informations concernent notamment:

- l'attribution et l'assignation de fréquences par les régulateurs nationaux;
- les données de tarification concernant le trafic de passerelle internationale (station d'atterrissement); la tarification du trafic de transit sur le kilomètre intermédiaire du réseau central; et le service du réseau d'accès;
- les données relatives à l'emplacement des pylônes pour la téléphonie mobile.

Au titre des efforts déployés sur le thème au niveau national, notamment en ce qui concerne l'attribution des fréquences, citons le Nigéria qui se distingue dans sa manière de partager les données d'assignation¹⁷. Le régulateur de la Malaisie rend les prix de gros plus transparents¹⁸. Le régulateur canadien publie un fichier de valeurs séparées par des virgules, lisible par machine et téléchargeable, avec l'emplacement de chaque pylône au Canada¹⁹. Pour plus d'informations sur les données de télécommunication ouvertes, voir <https://wiki.opentelcomdata.org/good-practice/transparency>. La Figure 16 fournit un exemple de tableau national d'attribution des bandes de fréquences et la Figure 17 présente une initiative participative à données ouvertes pour le suivi de l'attribution des fréquences en Afrique, qui pourrait être étendue. opentelcomdata.org est l'une des ressources qui permet de suivre les développements en la matière.

¹⁶ Pour de plus amples informations, se reporter au Règlement des radiocommunications et en particulier à l'Article 4, qui définit l'attribution d'une bande de fréquences comme une inscription, dans le Tableau d'attribution des bandes de fréquences, d'une bande de fréquences déterminée, aux fins de son utilisation par un ou plusieurs services de radiocommunication de Terre ou spatiale, tandis que l'assignation est une autorisation donnée par une administration pour l'utilisation par une station radioélectrique d'une fréquence ou d'un canal radioélectrique déterminé selon des conditions spécifiées.

¹⁷ Voir Commission des communications du Nigéria, [900 MHz band plan](#).

¹⁸ Voir S. Raja et R. Record, [Malaysia's need for speed: How regulatory action is unleashing ultrafast Internet](#) (article de blog, 7 août 2019, World Bank Blogs).

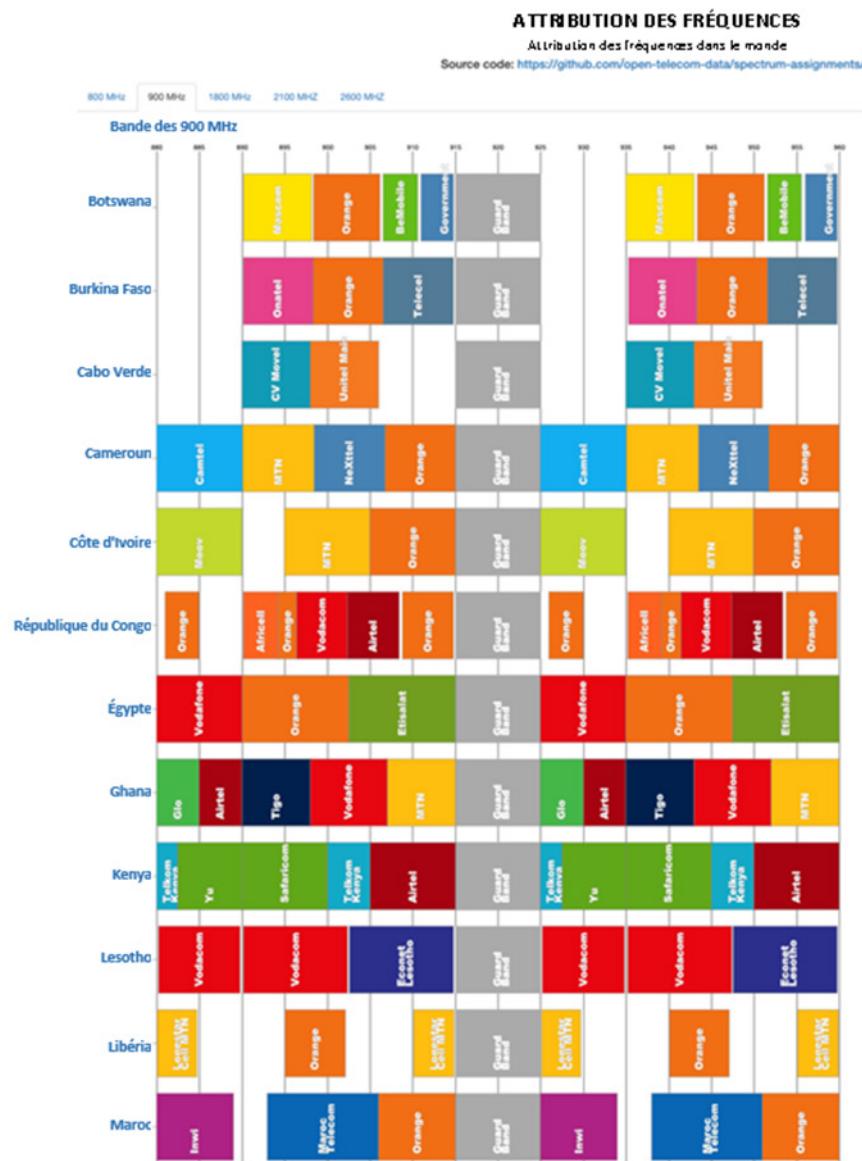
¹⁹ Voir Gouvernement du Canada, [Données du système de gestion du spectre](#) (page Web).

Figure 16. Exemple de tableau national d'attribution des bandes de fréquences: Moldova

Région 1	Attribution au niveau national		
	Bandes de fréquences - Services - renvois	Bandes de fréquences - Services	Renvois
143,65 - 144 MHz MOBILE AERONAUTIQUE (OR) 5.210, 5.211, 5.212, 5.214	143,65 - 144 MHz MOBILE AERONAUTIQUE (OR)	RN018, RN035	G
144 - 146 MHz AMATEUR SATELLITE - SATELLITE 5.216	144 - 146 MHz AMATEUR SATELLITE - SATELLITE	RN018, RN035	NG
146 - 148 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique (R)	146 - 148 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique (R)	RN018, RN018A, RN018B, RN035	G
148 - 149,9 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique (R) MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace) 5.209 5.218, 5.219, 5.221	148 - 149,9 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique (R) MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace)	5.209, 5.218, 5.219, 5.221 RN018, RN018A, RN035	G
149,9 - 150,05 MHz RADIONAVIGATION PAR SATELLITE 5.224B MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace) 5.209, 5.224A 5.220, 5.222, 5.223	149,9 - 150,05 MHz RADIONAVIGATION PAR SATELLITE MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace)	5.209, 5.220, 5.222, 5.223, 5.224A, 5.224B RN018, RN018A, RN035	P
150,05 - 153 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique RADIOASTRONOMIE 5.149	150,05 - 153 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique RADIOASTRONOMIE	5.149 RN018, RN018A, RN019, RN035	P
153 - 154 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique (R) Auxiliaires de la météorologie	153 - 154 MHz MOBILE FIXE sauf mobile aéronautique (R) Auxiliaires de la météorologie	RN018 RN018A RN019, RN035	P
154 - 156,4875 MHz	154 - 156,4875 MHz	5.226	P

Source: UIT, *Lignes directrices pour l'élaboration d'un tableau national d'attribution des bandes de fréquences* (Genève, 2015)

Figure 17. Exemple d'initiative à données ouvertes pour le suivi de l'attribution des fréquences en Afrique (bande des 900 MHz)



Source: opentelecomdata.org, à l'adresse <https://opentelecomdata.org/spectrum-chart/>

En plus des éléments d'infrastructure de réseau, des données sociodémographiques seront nécessaires aux fins de l'estimation de la demande potentielle pour les différents services. Pour estimer cette demande, de même que sa viabilité financière, il convient:

- de déterminer la taille de la population locale, de développer une base d'abonnés/ utilisateurs potentiels;
- de définir la zone géographique à couvrir dans le but de déterminer la viabilité des différentes technologies d'accès;
- d'estimer le revenu par habitant, qui indique les RMPU potentielles;
- d'estimer les "locataires stratégiques" potentiels ou abonnements d'entreprise auprès d'entités commerciales et de bureaux gouvernementaux (incluant les écoles et les dispensaires), qui détermineront d'autres sources de prise en charge des services (revenu); et
- d'estimer les subventions en provenance du gouvernement ou de donateurs.

Ces éléments sont résumés dans le Tableau 8. À noter que les facteurs démographiques (taux d'alphabetisation, équilibre et dynamique hommes/femmes, répartition de la population et part des jeunes adultes dans la population) peuvent également impacter la base d'abonnés. Le *kit pratique pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC de 2019*²⁰ de l'UIT présente plusieurs méthodes d'estimation de la demande (calculs simples, modèles économétriques, tableaux Delphi) et des recettes potentielles (voir notamment les Chapitres 2 (Estimation de la demande de services large bande) et 3 (Estimation des recettes tirées de la fourniture des services à large bande)).

²⁰ UIT, *Kit pratique pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC de 2019* (Genève, 2019).

Tableau 8. Données sociodémographiques nécessaires à l'estimation de la demande potentielle pour les différents services

Type de données socio-économiques	Motifs	Sources potentielles
Taille de la population	Pour construire la base potentielle des abonnés individuels aux services de connectivité	Enquête/recensement direct; ensembles de données nationales; données d'observation de la Terre obtenues par satellite sur la densité de population (par exemple: couche mondiale des établissements humains du Centre commun de recherche (CCR) , WorldPop – Université de Southampton , Landscan – Oak Ridge , base de données sur la population mondiale par unité de grille (GPW) du Centre pour un réseau international d'informations sur les sciences de la Terre (CIESIN), cartographie à haute résolution de la couche des établissements (HRSL) du CIESIN et de Facebook)
Zone géographique du service	Il faut estimer la zone de service totale pour sélectionner les technologies d'accès viables	Cartographies GIS
Estimations du revenu par habitant	Signale les estimations RMPU potentielles requises pour estimer le revenu net et la viabilité financière des différents services	Enquête/recensement direct; ensembles de données nationales
Clients potentiels (locataires stratégiques: gouvernement, entreprise, entité commerciale)	Devront être prises en compte dans les estimations requises pour estimer le revenu net et la viabilité financière des différents services	Enquête/recensement direct
Autres sources de revenu (par ex. subventions du gouvernement ou de donateurs)	Devront être prises en compte dans les estimations requises pour estimer le revenu net et la viabilité financière des différents services	Enquête/recensement direct

Les caractéristiques géographiques et les facteurs environnementaux peuvent contraindre les options technologiques. Par exemple, la densité de population, qui entre en compte dans le calcul des recettes potentielles totales globales, est essentielle pour déterminer la viabilité des différentes options technologiques. Il peut être également utile d'incorporer d'autres éléments géographiques et actifs d'infrastructure dans le but d'obtenir une vue plus complète des opportunités et des contraintes. Citons à ce titre l'étendue de l'électrification dans la zone, la topographie (cartographie de la propagation des fréquences radioélectriques) et d'autres facteurs environnementaux.

L'étendue de l'infrastructure du réseau électrique disponible déterminera si des coûts supplémentaires seront engagés sous forme de capital (pour l'ajout de systèmes de production d'électricité) et de dépenses d'exploitation. Récemment, la Banque mondiale, le World Resources Institute et Facebook ont publié un nouveau modèle prédictif pour cartographier avec précision le réseau électrique (voir le Tableau 9).

La cartographie de la topographie est importante pour déterminer la propagation des fréquences radioélectriques. Les estimations de la couverture du service de réseau peuvent changer radicalement selon que l'on tient compte ou non de la topographie et de la propagation des fréquences radioélectriques. SPLAT (Signal Propagation, Loss and Terrain, voir le Tableau 9) est un outil open source couramment utilisé pour cartographier la propagation des fréquences radioélectriques en lien avec les données topographiques. Il existe d'autres logiciels dans le commerce tels que CloudRF (<https://cloudrf.com>), GEOG (qui fait référence à une base de données sur des hauteurs de terrain au Royaume-Uni, à l'adresse <https://www.qsl.net/g8yoa/geog/geog.html>), QRadiopredict (<http://qradiopredict.sourceforge.net/>), Radio Mobile (<http://www.ve2dbe.com/english1.html>), TAP Mapper (<https://www.softwright.com>) et Tower Coverage (<https://www.towercoverage.com/>).

D'autres facteurs de risque peuvent être identifiés et cartographiés, surtout s'ils représentent des risques supérieurs à la moyenne pour la localité concernée. Ainsi, pour les communautés situées dans des zones sujettes aux ouragans saisonniers ou aux moussons, il peut être utile d'identifier le chemin habituellement emprunté par de telles conditions météorologiques extrêmes à travers la région.

Le Tableau 9 résume les éléments supplémentaires à inclure dans toute analyse de carte.

Tableau 9. Autres éléments géographiques et actifs d'infrastructure à incorporer pour obtenir une image plus complète des possibilités et des contraintes

Autres données pertinentes	Motifs	Sources potentielles
Électrification	L'étendue de l'infrastructure du réseau électrique disponible déterminera si des coûts supplémentaires seront engagés sous forme de capital (pour l'ajout de systèmes de production d'électricité) et de dépenses d'exploitation.	La Banque mondiale, le World Resources Institute et Facebook ont publié un nouveau modèle prédictif pour cartographier avec précision le réseau électrique: https://engineering.fb.com/connectivity/electrical-grid-mapping
Routes	Aide à évaluer l'accessibilité de la localité et des sites où l'infrastructure pourrait devoir être construite.	Open Street Maps (https://www.openstreetmap.org/) ou agences gouvernementales nationales de transport
Topographie	Importante pour déterminer la propagation des fréquences radioélectriques. Les estimations de la couverture du service de réseau peuvent changer radicalement selon que l'on tient compte ou non de la topographie et de la propagation des fréquences radioélectriques.	SPLAT (Signal Propagation, Loss and Terrain) est un outil open source couramment utilisé pour cartographier la propagation des fréquences radioélectriques en lien avec les données topographiques: http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html Il existe d'autres logiciels dans le commerce.
Autres facteurs de risque	La communauté concernée peut être exposée à des risques supérieurs à la moyenne. Ainsi, pour les communautés situées dans des zones sujettes aux ouragans saisonniers ou aux moussons, il peut être utile d'identifier le passage de ces phénomènes météorologiques extrêmes à travers la région.	Cas par cas

Chapitre 2. Examiner les solutions existantes pouvant être utilisées (étape 2)

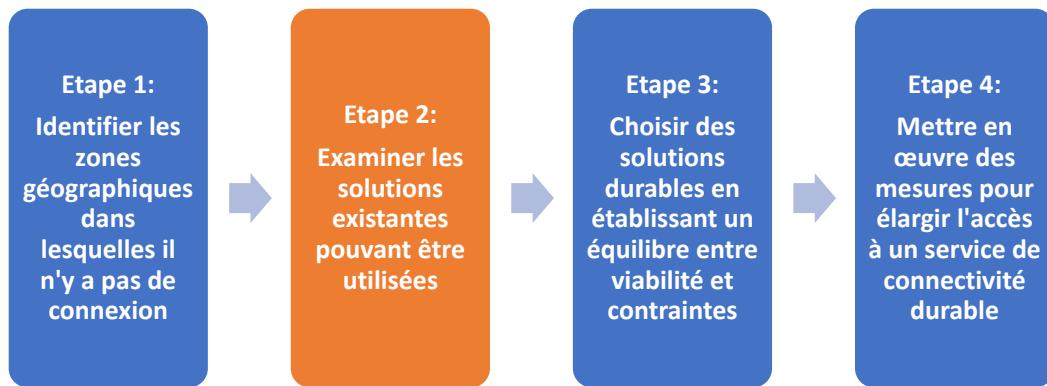


Une large gamme hétérogène de solutions de connectivité est actuellement déployée dans le monde entier. Dans le cadre des mesures réalisées pour estimer le nombre de réseaux qui forment l'Internet dans son ensemble, les dernières données du 4 mai 2020 révèlent l'existence d'au moins 96 175 systèmes autonomes distincts²¹, ce qui correspond au nombre de domaines individuels contrôlés par un ensemble d'adresses IP. Les systèmes autonomes sont généralement des fournisseurs de services Internet et des grandes entreprises qui gèrent leurs propres adresses IP. Quand bien même ce chiffre surestime le nombre de fournisseurs de services Internet dans le monde, même dans les petits pays, le nombre de systèmes autonomes s'élève à plusieurs centaines voire milliers, et beaucoup sont des fournisseurs de services de connectivité. Par ailleurs, plusieurs rapports récents mettent en évidence les défis et les approches adoptés pour étendre davantage la connectivité dans les régions rurales et isolées²². Toutefois, ces rapports ne présentent pas un processus visant à identifier les solutions appropriées adoptées à la lumière de caractéristiques spécifiques. Cette section partage des exemples de solutions qui existent dans différentes catégories et met en évidence les caractéristiques des composants de ces solutions. La Figure 18 indique la place qu'occupe l'étape 2 dans le processus global et montre les activités correspondantes.

²¹ Statistiques des registres Internet régionaux, à l'adresse https://www-public.imtbs-tsp.eu/~maigron/RIR_Stats/RIR_Delegations/World/ASN-ByNb.html.

²² Voir l'Annexe 2 pour les ressources complémentaires.

Figure 18. Étape 2 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre



Étape 2 Activités visant à examiner les solutions existantes pouvant être utilisées:

- 2a** - Examiner la base de données des études de cas portant sur les solutions de connectivité sur le dernier kilomètre
- 2b** - Utiliser la classification/typologie des interventions
- 2c** - Comprendre les principales caractéristiques des interventions et les compromis entre ces interventions

2.1 Examiner la base de données des études de cas portant sur les solutions de connectivité sur le dernier kilomètre (étape 2a)

Cette analyse visant à mettre en lumière le processus d'identification des solutions abordables appropriées a commencé par le développement de la base de données d'études de cas sur la connectivité du dernier kilomètre, une vaste base de données de différentes études de cas passant en revue les solutions de connectivité sur le dernier kilomètre. Les solutions provenaient de sources primaires (engagement direct avec les gestionnaires et responsables de la mise en œuvre des solutions) et secondaires (rapports, etc.). Les différents cas ont été classés en 17 dimensions dans cinq catégories principales (matériel de référence, entité, technologies, caractéristiques de la localité, informations complémentaires).

En août 2020, la base de données contenait 123 cas, dont 51 de sources primaires et 72 de sources secondaires, en particulier 1 World Connected (<http://1worldconnected.org/>) et APC/CRDI *GIS Watch 2018*²³. Cette base de données est un document évolutif, qui sera mis à jour à chaque fois que de nouvelles études de cas seront soumises.

²³ Association for Progressive Communications (APC) et Centre de recherche pour le développement international (CRDI), *Global Information Society Watch 2018. Community Networks* (Etats-Unis, APC, 2018). Photo fournie par Bluetown.

Tableau 10. Classement des caractéristiques des interventions dans la base de données des études de cas sur la connectivité du dernier kilomètre

Matériel de référence	Entité	Technologies	Caractéristiques de la localité	Informations complémentaires
Organisation ou nom du projet; pays	Entité opérationnelle du réseau d'accès; modèle de recettes; niveau de subvention	Technologies de raccordement; technologies de réseaux d'accès; dispositif d'accès primaire	Densité de population/niveau d'urbanisation; taille de la population; zone géographique; topographie; revenu par habitant/ARPU par utilisateur; niveaux d'alphabétisation; autres facteurs socio-démographiques et environnementaux	Toujours en activité; considérations en matière de réglementation et de politique générale

2.2 Utiliser la classification/typologie des interventions (étape 2b)

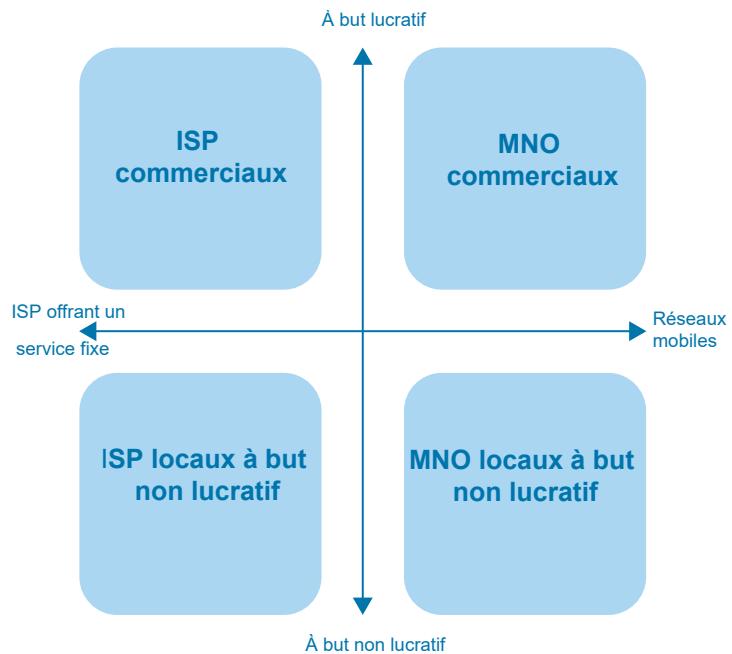
L'examen des 123 interventions différentes présentées dans la base de données des études de cas sur la connectivité du dernier kilomètre montre que les interventions se positionnent le long de deux axes (voir la Figure 19). Le premier axe est le *type de service de réseau*, tel que défini par la technologie du réseau d'accès primaire utilisée. Les interventions sont rassemblées autour:

- a) des déploiements de réseaux mobiles qui fournissent divers services mobiles hertziens, dont le service vocal, et sur lesquels le dispositif de l'utilisateur final est mobile et non stationnaire; ou
- b) des fournisseurs de services Internet généraux, qui utilisent une gamme de technologies distinctes, fixes et sans fil, pour fournir des services axés sur les données.

Le deuxième axe a trait au *profit*. Alors que la majorité des entités intègrent des opérations commerciales officielles en partenariat avec des services commerciaux, certaines interventions sont soit:

- a) à but non lucratif, avec à la clé un service de connectivité qui ne met pas l'accent sur le rendement commercial; ou
- b) à visée commerciale, sur la base de décisions d'investissement fondées sur des calculs de rendement.

Figure 19. Classement des interventions sur le dernier kilomètre par type de réseau et considérations de profit



Il ressort de l'analyse et de l'examen de la gamme des interventions pour la connectivité sur le dernier kilomètre, telles que recensées dans la base de données, que les solutions peuvent être efficacement organisées par type de considération de profit (commercial ou à but non lucratif) et par technologie de réseau d'accès (opérateurs de réseaux mobiles cellulaires ou fournisseurs de services (de données) Internet généralisés).

Chaque type d'intervention sur la connectivité du dernier kilomètre se distingue par les services offerts, le modèle de recettes et la technologie d'accès ou technologie utilisée. Selon la nature de l'intervention et de la conception opérationnelle du réseau, l'intervention sera également soumise à plusieurs types et niveaux de régulation qui, ensemble, fournissent une série d'avantages et de défis.

Les interventions sont donc classées en fonction des services offerts et des considérations de profit (à but lucratif ou non). Les fournisseurs de services Internet (ISP), que leur activité soit à but lucratif ou non, offrent principalement une connectivité Internet. Ceux qui œuvrent à des fins commerciales sont des prestataires régionaux ou nationaux qui assurent leurs services sous réserve d'une licence ou d'une autorisation (solution moins restrictive), sur les réseaux fixes (fibre optique, câble, etc.) ou hertziens, y compris sur les réseaux par satellite. À l'inverse, ceux qui œuvrent au niveau local à but non lucratif sont de petits réseaux servant uniquement à la transmission de données, généralement exploités par des bénévoles.

D'autres interventions offrent plus que des services Internet et intègrent souvent des services vocaux mobiles. Les opérateurs de réseaux mobiles (MNO) commerciaux proposent habituellement des services traditionnels de voix et de données, sous réserve d'un régime national d'octroi de licences (par exemple, des licences de télécommunication) sur la base des fréquences qui leur ont été assignées. Les opérateurs de réseaux mobiles (MNO) qui œuvrent au niveau local à but non lucratif, en revanche, sont de petits réseaux cellulaires qui sont souvent exploités sur une base volontaire par des utilisateurs finals locaux.

En ce qui concerne le modèle de recettes, les ISP et MNO commerciaux génèrent tous deux des revenus liés à une combinaison de frais basés sur l'utilisation des services voix, données et autres services payants, tels que le VoIP. Les opérateurs MNO à but non lucratif offrent un mélange de services payants et d'accès gratuit selon un modèle évoluant en fonction du contexte de l'intervention. Les fournisseurs ISP à but non lucratif qui œuvrent au niveau local proposent, quant à eux, un accès majoritairement gratuit ou donnent aux utilisateurs un accès à des services à bas prix, parfois complémentaires.

Le modèle de recettes utilisé dans le cadre d'une intervention est souvent majoritairement influencé, le cas échéant, par le niveau de subvention. Les deux types de réseaux commerciaux, bien souvent, ne reçoivent que peu ou pas de subventions, à l'exception des fonds de service universel pour soutenir le déploiement dans les zones marginalisées; les fournisseurs ISP et opérateurs MNO, en revanche, bénéficient souvent d'un accès à des subventions partielles (ponctuelles et récurrentes) ou complètes (récurrentes), incluant parfois la mise en commun de ressources.

La technologie d'accès utilisée dans le cadre d'une intervention dépend du service fourni (service Internet seul ou service complet) et de la pertinence technique de la technologie au regard de la localité cible, tout en tenant compte des coûts et d'autres considérations. Les opérateurs MNO utilisent des technologies de spectre sous licence telles que les technologies 2G, 3G et 4G. Les MNO commerciaux qui bénéficient de financements et d'économies d'échelle utilisent aussi des technologies plus récentes et plus ciblées (5G comprise), telles que les ondes millimétriques, ou complètent leur réseau mobile avec des points d'accès WiFi pour le délestage des réseaux cellulaires.

Les fournisseurs ISP utilisent une ou plusieurs technologies fixes filaires (fibre optique, câble coaxial, cuivre) et/ou hertziennes (accès fixe sans fil, points d'accès WiFi ou connectivité par satellite). Certains ISP à but non lucratif ont aussi utilisé des technologies émergentes expérimentales pour étendre la portée de leur réseau et raccorder davantage de localités à leur réseau.

Dans le cadre des interventions, il y a donc lieu de décider de la technologie d'accès à utiliser mais aussi de choisir parmi les différentes technologies de raccordement disponibles, à savoir la fibre, les hyperfréquences ou le satellite. Le mix spécifique de technologies finalement utilisé par le réseau détermine en partie les réglementations auxquelles l'intervention sera soumise, tout en gardant à l'esprit le fait que chaque juridiction obéit à des lois et des politiques spécifiques.

Tous les opérateurs MNO sont normalement soumis aux réglementations en vigueur concernant l'utilisation du spectre sous licence, les certifications radio, la présence d'une franchise de télécommunications (le cas échéant), les accords de droit de passage et de fixation de poteaux et les licences commerciales (normalement des licences locales pour les opérateurs MNO à but non lucratif et des licences nationales et régionales pour les opérateurs MNO commerciaux). Les fournisseurs ISP, quant à eux, sont assujettis quasiment aux mêmes exigences réglementaires, à l'exception de la franchise et de la licence d'utilisation du spectre sachant qu'ils ont régulièrement recours, lorsque la situation se présente, à des fréquences soumises à licence. Les interventions basées sur la technologie satellitaire peuvent également nécessiter l'obtention de droits d'atterrissement auprès du régulateur concerné.

Un autre défi lié à l'utilisation du mobile sur le dernier kilomètre est la disponibilité de ressources spectrales appropriées et, en présence de ces ressources, de licences appropriées pour des fréquences radioélectriques spécifiques. Les régimes réglementaires variant d'une juridiction à l'autre, les fréquences radioélectriques pour les communications mobiles sont généralement attribuées aux enchères, ce qui signifie en général qu'elles sont attribuées à des opérateurs de grande envergure offrant tous les services. S'il peut donc être difficile pour les petits réseaux d'accès uniquement sur le dernier kilomètre d'obtenir des licences appropriées pour les fréquences cellulaires, en particulier s'ils ne desservent qu'une petite zone ou une petite base d'utilisateurs, il n'en demeure pas moins que les opérateurs MNO à but non lucratif émergent et font la preuve de leur viabilité.

Les différents types d'intervention présentent chacun des avantages et des défis spécifiques. Les opérateurs MNO commerciaux sont susceptibles d'avoir la couverture géographique la plus étendue, parfois en raison des obligations de couverture découlant de la politique ou des réglementations nationales qui peuvent également inclure les normes de qualité de service. Cependant, le modèle commercial nécessite d'importantes ressources en capital et tend à privilégier les zones géographiques offrant un meilleur retour sur investissement.

À côté des opérateurs traditionnels qui offrent une gamme multi-services, les fournisseurs ISP contribuent à accroître la concurrence dans le secteur des services de données, notamment en différenciant les offres du service cellulaire. Malheureusement, leur couverture géographique peut être restreinte par l'accès aux liaisons de raccordement et les limitations de la zone de couverture, en particulier par rapport aux opérateurs traditionnels.

De manière analogue, les opérateurs MNO locaux à but non lucratif démontrent la viabilité du service cellulaire là où les opérateurs MNO traditionnels ne fournissent pas de couverture, souvent dans des zones qui seraient sinon dépourvues de service. Cependant, il s'agit en règle générale de très petits déploiements, à une échelle limitée, qui nécessitent toujours une capacité locale pour négocier l'interconnexion avec les opérateurs MNO traditionnels et assurer la maintenance du réseau. Les fournisseurs ISP locaux à but non lucratif montrent également que les services de données peuvent être fournis de manière viable à des communautés sans accès ou lorsque d'autres services s'avèrent trop coûteux. La durabilité du service reste cependant un défi pour ces interventions, en l'absence de toutes subventions, tout comme l'ampleur des réseaux et du service.

Tableau 11. Classement des interventions en matière de connectivité Internet sur le dernier kilomètre

		Technologie d'accès réseau	
		Réseaux mobiles	ISP services fixes
Modèle de recettes	Commercial	MNO commercial: Fourniture de services MNO traditionnels et interventions similaires lorsque l'utilisateur et l'appareil sont mobiles	ISP commercial: ISP, fournisseurs de services Internet sans fil, visant à desservir les communautés rurales et urbaines par le biais de technologies fixes et hertziennes
	À but non lucratif	Réseaux mobiles locaux à but non lucratif: Communautés possédant et/ou exploitant leur propre infrastructure de réseau cellulaire, parfois en partenariat avec des MNO traditionnels	Réseaux ISP locaux à but non lucratif: Réseaux établis par des organisations à but non lucratif, des gouvernements ou des communautés, visant à fournir un accès dans les zones mal desservies

2.2.1 Le modèle de recettes: commercial ou à but non lucratif

Il existe plusieurs types d'organisation pour les réseaux d'accès sur le dernier kilomètre dans les zones où les fournisseurs traditionnels ne sont pas présents ou ne sont pas en mesure de fournir un service adéquat (en termes de qualité, de prix, de couverture ou les trois à la fois). Dans une certaine mesure, ces organisations sont conçues pour atteindre un même objectif: couvrir les dépenses d'investissement et d'exploitation du réseau afin de garantir la viabilité. Elles peuvent donc être comprises et différenciées sur la base des modèles d'investissement et de recettes qui, à leur tour, montrent combien elles peuvent être appropriées dans tel ou tel contexte.

Les entités commerciales sont des organisations qui ont pour unique but de réaliser un profit. Cet aspect caractéristique de leur modèle de recettes a un impact significatif sur l'investissement. Les réseaux commerciaux doivent nécessairement opérer dans des zones qui peuvent générer des revenus supérieurs à leur seuil de rentabilité et sont donc susceptibles d'investir et de fournir des services uniquement dans les zones où il existe une analyse de rentabilisation suffisante pour le réseau - dans des communautés où les utilisateurs ont la capacité financière de payer un abonnement ou une autre forme d'adhésion. Cependant, la nécessité de générer un retour financier sur l'investissement (pour couvrir les coûts en capital) peut conduire à un déploiement rapide de la couverture des services.

Les réseaux à but non lucratif ont pour objectif premier de répondre aux besoins des communautés qui les accueillent. Ils opèrent généralement dans des zones où le problème de connectivité le plus pressant est le manque d'accès - dans des communautés où les opérateurs traditionnels n'ont pas ou peu accès. De nombreux réseaux à but non lucratif fournissent un accès sur la base d'un abonnement ou d'un paiement à l'usage (comme les systèmes à prépaiement pour les quantités fixes de données ou les bons d'accès basés sur la durée d'utilisation); d'autres dépendent des contributions volontaires de leurs utilisateurs ou fournissent un accès entièrement gratuit. Les organisations à but non lucratif sont particulièrement adaptées aux

petites communautés marginalisées, lesquelles peuvent avoir des besoins ou des circonstances spécifiques qui ne sont pas facilement satisfaits par d'autres modèles d'organisation (notamment ceux proposés par les opérateurs commerciaux traditionnels).

Le Tableau 12 résume les différents aspects des quatre types d'intervention en matière de connectivité sur le dernier kilomètre, au travers de plusieurs dimensions.

Tableau 12. Caractéristiques des différentes options d'intervention en matière de connectivité sur le dernier kilomètre

Type d'intervention	Description/services	Modèle de recettes (réseau d'accès)	Niveau de subvention	Technologies d'accès couramment utilisées	Technologies de raccordement couramment utilisées	Questions réglementaires	Exemples tirés de la base de données des études de cas (soumissions)	Avantages	Défis
MNO commercial	Services voix et données traditionnels; sous réserve d'un régime national d'octroi de licences (par ex. licences de télécommunication), sur la base des bandes de fréquences soumises à licence	Ensemble de services voix et données basés sur l'utilisation et autres services payants	Peu ou pas de subventions, à l'exception des fonds de service universel pour soutenir le déploiement dans les zones marginalisées	Technologies de spectre sous licence: 2G, 3G, 4G, 5G; dans certains cas, WiFi	Spectre sous licence, certifications radio, franchise, accords de droit de passage et de fixation de poteaux, licences commerciales nationales, régionales et locales	Ruralstar Ghana; WTL Morocco; WTL Tanzania	Couverture géographique étendue (parfois en raison des obligations de couverture); normes de qualité de service à respecter	Nécessite d'importantes ressources en capital; nécessite à desservir des zones géographiques offrant un faible retour sur investissement	
ISP commercial	Peut être régional ou national; soumis à un régime d'octroi de licences ou d'autorisations (moins restrictif), sur les réseaux fixes (fibre, câble, etc.) ou hertziens, y compris sur les réseaux par satellite	Ensemble de services voix (ligne fixe) et données basés sur l'utilisation et autres services payants (même si la VoIP est réglementée dans certains pays)	Peu ou pas de subventions, à l'exception des fonds de service universel pour soutenir le déploiement dans les zones marginalisées	Fibre; hyperfréquences; satellite	Certifications radio, franchise, accords de droit de passage et de fixation de poteaux, licences commerciales nationales, régionales et locales; droits d'atterrissement des satellites	Airtel Inde; Mawingu Kenya; Bluetown Ghana et Inde; Brightwave South Africa; Viasat Mexico	Accroît la concurrence dans le secteur des services de données, notamment en différenciant les offres du service cellulaire	La couverture géographique peut être restreinte par l'accès aux liaisons de raccordement et les limitations de la zone de couverture	
Réseau mobile local à but non lucratif	Petit réseau cellulaire, souvent exploité par une communauté	Ensemble de services payants et de services libres d'accès	Subventions partielles (ponctuelles et récurrentes) ou complètes (récurrentes), incluant parfois la mise en commun de ressources	Technologies de spectre sous licence: 2G, 3G, 4G	Spectre sous licence, certifications radio, franchise, accords de droit de passage et de fixation de poteaux, licences commerciales locales	CELCOM Brazil; Tecnologias Indígenas Comunitárias	Démontre la viabilité du service cellulaire lorsque les opérateurs MNO traditionnels ne fournissent pas de couverture	Très petits déploiements à une échelle limitée; nécessite une capacité locale pour négocier l'interconnexion avec les opérateurs MNO traditionnels et assurer la maintenance du réseau	

Tableau 12. Caractéristiques des différentes options d'intervention en matière de connectivité sur le dernier kilomètre (suite)

Type d'intervention	Description/services	Modèle de recettes (réseau d'accès)	Niveau de subvention	Technologies d'accès couramment utilisées	Technologies de raccordement couramment utilisées	Questions réglementaires	Exemples tirés de la base de données des études de cas (soumissions)	Avantages	Défis
Réseaux ISP locaux à but non lucratif	Petits réseaux de données seulement, souvent exploités par une communauté	Services majoritairement libres d'accès ou à faible coût	Subventions partielles, récurrentes ou complètes, récurrentes, incluant parfois la mise en commun de ressources	Technologies fixes filaires (fibre optique, câble coaxial, cuivre); technologies fixes hertziennes (WiFi, inclus); satellite	Certifications radio, franchise, accords de droit de passage et de fixation de poteaux, licences commerciales locales	Zenzeleni Networks, Altermundi, Pamoja Net et BOSCO Uganda	Démontre la viabilité de la fourniture de services de données dans les communautés dépourvues d'accès (ou lorsque les autres services sont trop onéreux)	Durabilité du service en l'absence de subventions continues; étendue des réseaux et du service	

2.3 Comprendre les principales caractéristiques des interventions et les compromis entre ces interventions (étape 2c)

La base de données des études de cas sur la connectivité du dernier kilomètre présente une gamme d'interventions différentes, chacune avec une combinaison unique de caractéristiques organisationnelles. Les interventions peuvent néanmoins être classées en catégories, sur la base des principales caractéristiques décrites ci-dessous.

La première de ces catégories permettant de différencier les interventions est l'utilisation, à savoir l'usage prévu pour les services de connectivité et les exigences techniques correspondantes. L'usage prévu influence les choix opérationnels et techniques en matière d'intervention, a fortiori lorsqu'il est question du niveau de qualité de service à fournir.

Un autre point de différenciation est le choix du modèle commercial, autrement dit comment l'entité opérationnelle organise ses activités, construit sa structure d'organisation et établit/maintient ses relations commerciales.

Mentionnons également le choix du modèle de recettes: l'entité opérationnelle parvient-elle à couvrir le coût de la fourniture du service avec les recettes perçues et/ou au moyen d'autres méthodes incluant les subventions et l'appui en nature?

Le choix de la technologie d'accès par l'entité opérationnelle est une autre caractéristique distinctive. Les différentes façons dont les technologies sont utilisées dans le réseau d'accès permettent aux entités de se distinguer et de définir qui a accès à la connectivité et comment. Cela implique, dans certains cas, d'utiliser les technologies d'accès émergentes qui peuvent aider à résoudre les problèmes techniques liés à un usage ou au contexte d'une localité.

Même si cela est moins manifeste pour l'utilisateur final, le choix de la technologie de raccordement ou de la combinaison des technologies pour fournir une capacité de large bande peut avoir un impact considérable sur la qualité de service fournie aux utilisateurs. Les technologies de raccordement sont donc un autre point majeur de différenciation.

Tous ces choix affectent les types de régimes politiques et réglementaires auxquels seront soumis les entités opérationnelles, ce qui permet par là même de distinguer les interventions les unes des autres, dans la mesure où les points de différenciation aux niveaux politique et réglementaire agissent comme des catalyseurs ou des contraintes pour les différents types de modèle commercial, modèle de recettes, technologie utilisée et entité opérationnelle.

2.3.1 Caractéristiques d'utilisation

Les différentes caractéristiques et contraintes d'utilisation peuvent reposer sur un ensemble de limitations, comme le montre la Figure 20. Il existe plusieurs manières d'envisager les différences d'utilisation, car les caractéristiques et contraintes en la matière diffèrent considérablement sur la base des exigences et contraintes technologies liées au service. Il peut être utile de définir l'utilisation d'une intervention en fonction de sa portée et de son échelle par rapport à d'autres interventions.

Ainsi, l'étendue de la connectivité dans le cadre d'une intervention peut être limitée par le réseau local (par exemple, lorsqu'un routeur local fournit un accès limité au réseau local partagé pour obtenir des ressources pédagogiques hors ligne). À l'inverse, une autre intervention pourra offrir une connectivité fiable à l'Internet public mondial qui, en tant que réseau des réseaux,

fournit un accès à la plus large étendue possible de connectivité en termes de géographie et de largeur et profondeur du contenu.

La *continuité de service* est un autre paramètre important dont il faut tenir compte au titre des caractéristiques d'utilisation, pouvant influencer le type d'activités effectuées par les utilisateurs en fonction de la connectivité fournie. Une connectivité intermittente peut signifier que l'accès ne sera disponible que quelques heures par jour, permettant aux utilisateurs d'utiliser le réseau de manière occasionnelle pour, par exemple, envoyer un courriel ou télécharger des fichiers en vue d'une consultation hors ligne. En revanche, une connexion ininterrompue peut modifier les structures d'utilisation et permettre aux utilisateurs d'intégrer dans leur quotidien certaines applications telles que les messageries en temps réel et les applications de télétravail.

Le type de *TIC* auquel le réseau donne accès définit également ce que les utilisateurs peuvent faire avec la connectivité fournie. Avec une connexion voix et SMS 2G, par exemple, les utilisateurs peuvent envoyer et recevoir des messages texte basiques et établir des communications vers d'autres usagers. La présence d'une connexion voix et données à haut débit, en revanche, permet aux utilisateurs d'accéder à des contenus multimédias, à la fois d'autres utilisateurs et de l'Internet en général, ouvrant ainsi de nombreuses autres possibilités en termes d'applications et de cas d'utilisation.

Le paramètre *débit de données* est lui aussi utile pour différencier les caractéristiques d'utilisation des différents réseaux. Les utilisateurs disposant d'une connexion à bande étroite peuvent visualiser du contenu à faible largeur de bande comme des messages électroniques de type texte ou des applications de réseautage social basiques. S'ils bénéficient d'une connexion large bande, en revanche, ils peuvent accéder à une plus grande variété de contenus, comme des vidéos haute définition sur des plates-formes en ligne et des sites de streaming de contenu, participer à des appels vidéo en temps réel et naviguer facilement sur des sites multimédia lourds.

Le type de *dispositif d'accès* requis pour établir une connexion avec le réseau d'une entité peut également fournir des informations sur l'utilisation. Un réseau conçu essentiellement pour fonctionner avec des téléphones rudimentaires, par exemple, ne devrait prendre en charge que des services d'appel et services vocaux de base. Un réseau destiné à fournir un accès à plusieurs dispositifs à haut débit est généralement capable de gérer une plus grande variété d'applications accessibles en même temps.

Figure 20. Différences de caractéristiques d'utilisation

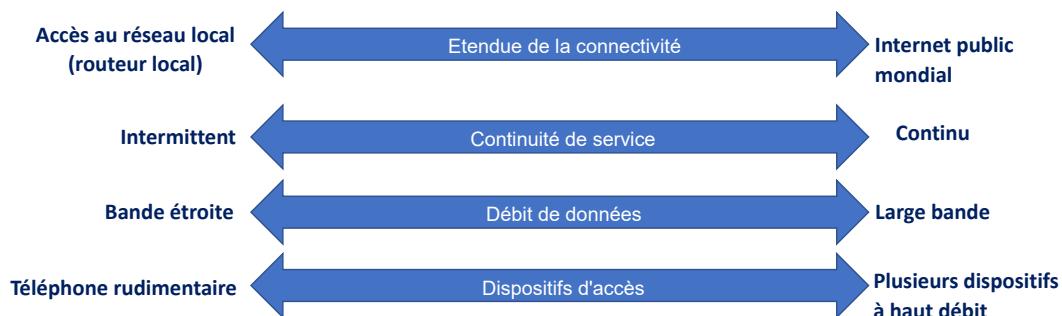


Figure 21. Différents niveaux de l'utilisation de l'Internet (Forum économique mondial)

	1	2	3	4	5
	L'Internet sous sa forme basique	L'Internet, un plus dans la vie de tous les jours	L'Internet, partie intégrante de la majorité des activités	L'Internet, catalyseur de la société	L'Internet, pilier central de demain
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Débit descendant	512 Kbit/s	2-3 Mbit/s	25 Mbit/s	100 Mbit/s	1 Gbit/s
Débit ascendant	64 Kbit/s	512 Kbit/s	10 Mbit/s	100 Mbit/s	1 Gbit/s
Latence	1 000 ms	400 ms	100 ms	20 ms	10 ms (1 ms pour des applications ciblées)
Utilisation mensuelle	10-100 Mo	500 Mo	50 Go	200 Go	1 To

Source: adapté du Forum économique mondial, note 29

Le Forum économique mondial, quant à lui, classe les niveaux d'utilisation selon d'autres critères²⁴ (voir la Figure 21). Il examine les schémas d'utilisation qui sont rendus possibles par le réseau et procède à un classement en fonction du degré de centralité de l'accès à l'Internet dans la vie quotidienne des utilisateurs. Cette typologie met également en avant les exigences techniques minimales requises pour chaque niveau d'utilisation, tant en ce qui concerne la qualité de service que les technologies spécifiques pour fournir le niveau de service requis.

Le premier niveau d'utilisation de l'Internet, le Niveau 1, correspond à une "utilisation de l'Internet sous sa forme la plus basique" ou un "accès limité à l'Internet, généralement du fait d'une faible connectivité, de contraintes liées aux ressources, de compétences limitées ou de manque de contenu pertinent". Dans la pratique, il peut s'agir de l'envoi occasionnel d'un

²⁴ Forum économique mondial, *Financing a Forward-Looking Internet for All*, Livre blanc (Genève, 2018).

courrier électronique ou de l'utilisation peu fréquente de ressources Internet au sein d'une école ou sur un lieu de travail.

Le Niveau 2 désigne, quant à lui, une "utilisation fréquente de l'Internet, libérée bien souvent de toutes formes de contraintes liées aux coûts d'accès, intégrée à certains aspects de notre vie quotidienne". On retrouve dans cette catégorie les utilisateurs qui sont branchés sur les médias sociaux à longueur de journée et qui communiquent régulièrement les plates-formes de messagerie en ligne à des fins personnelles.

Les Niveaux 3 à 5 sont marqués par la généralisation croissante de la connectivité Internet, définie par la proportion des activités des utilisateurs qui dépendent de l'accès et l'importance de ces activités aux yeux des utilisateurs. Cela va de la connectivité jugée "essentielle pour des raisons personnelles et professionnelles" (Niveau 3) à la dépendance à une connectivité constante et à l'Internet des objets qui rendent les pannes Internet "extrêmement perturbatrices et parfois dangereuses" (Niveau 4). Le niveau le plus élevé d'utilisation de l'Internet, le Niveau 5, est réservé aux modèles d'utilisation émergents pour lesquels le niveau de centralité pour les individus et la société est encore supérieur à celui du Niveau 4: "un rôle jusque-là inconnu pour les futures applications de l'Internet".

Au niveau de la qualité de service, le Forum économique mondial mentionne également la norme requise pour le service Internet à chaque niveau d'utilisation: débit descendant et descendant, latence et consommation mensuelle totale de bande passante par utilisateur. L'utilisation de Niveau 1, par exemple, nécessite un débit descendant de seulement 512 Kbit/s, un débit ascendant de 64 Kbit/s, une latence de 1 000 ms et une consommation mensuelle totale de 10 à 100 mégaoctets.

Par comparaison, l'utilisation de Niveau 3 exige un débit descendant de 25 Mbit/s, un débit ascendant de 10 Mbit/s, une latence de 20 ms et une consommation mensuelle totale de 50 gigaoctets. Par anticipation, l'utilisation de Niveau 5 ne devrait être possible qu'avec des débits descendants et ascendants d'au moins 1 Go par seconde, une latence de 10 ms (et de 1 ms ou moins pour des applications ciblées) et une consommation mensuelle de 1 téraoctet.

Toutes les technologies ne sont pas en capacité de fournir le niveau de service requis pour chaque niveau d'utilisation. Les niveaux les plus élevés nécessitent des technologies toujours plus récentes et plus performantes. Le Forum économique mondial identifie les technologies du dernier kilomètre qui seront nécessaires sur les 100 derniers mètres pour permettre chaque niveau d'utilisation.

Les Niveaux 1 à 3, par exemple, peuvent être desservis par une infrastructure filaire en cuivre, en fonction du déploiement spécifique et de la conception du réseau. L'utilisation de Niveau 1 peut fonctionner avec la technologie 2G; le Niveau 2 a besoin d'une connexion 3G ou plus et le Niveau 3 nécessite la 4G. Cela traduit bien le fait que les différentes technologies présentent des limites qui leur sont propres et qu'une utilisation plus intensive nécessitera des solutions plus modernes capables de fournir la qualité de service requise. Le rapport du Forum économique mondial mentionne que seules la fibre (pour les connexions filaires) et la technologie émergente 5G (pour les connexions hertziennes) devraient être en mesure de répondre aux exigences de l'utilisation de Niveau 5.

Les exigences en matière d'utilisation et de seuil de qualité de service pour chaque application et chaque service diffèrent selon le secteur, et la quantité de largeur de bande "minimum" nécessaire peut varier en fonction des besoins et de la demande des utilisateurs de même

qu'en fonction des applications qui utiliseront la connectivité. Il convient donc de porter une attention toute particulière à la façon dont les utilisateurs utiliseront cet accès de même qu'aux applications qui seront utilisées, de manière à garantir dans tous les cas une bande passante suffisante.

Concrètement, certains secteurs nécessiteront une largeur de bande plus importante que d'autres, et ce qui peut suffire pour l'un ne sera pas nécessairement approprié pour l'autre. Aux États-Unis, par exemple, la State Educational Technology Directors Association a estimé les débits large bande qui étaient nécessaires dans le secteur de l'éducation pour utiliser certaines applications ou conduire certaines activités²⁵ (voir le Tableau 13).

Tableau 13. Exemples d'exigences en matière de large bande pour diverses activités dans le secteur de l'éducation (débits descendants)*

Activité	Débits large bande
Suivre un cours en ligne	0,25 Mbit/s
Faire une recherche sur le Web	1 Mbit/s
Consulter ses e-mails	0,5 à 1 Mbit/s
Télécharger du matériel didactique numérique, y compris des ressources éducatives libres	1 Mbit/s
Utiliser les réseaux sociaux	0,03 Mbit/s
Réaliser des évaluations à choix multiples	0,06 Mbit/s
Musique en continu	2 Mbit/s
Vidéo en continu - qualité définition normale	3 Mbit/s
Vidéo en continu - qualité HD	5 Mbit/s
Vidéo en continu - qualité Ultra HD	25 Mbit/s
Diffuser en continu une vidéo HD ou un cours universitaire	4 Mbit/s
Regarder une visioconférence	1 Mbit/s
Participer à une visioconférence HD	4 Mbit/s
Participer à une visioconférence	1 Mbit/s par utilisateur
Utiliser une simulation et un jeu	1 Mbit/s
Utiliser des jeux en ligne bidirectionnels	4 Mbit/s

Source: adapté de State Educational Technology Directors Association, note 30

* Ce tableau n'est pas destiné à être utilisé pour calculer la bande passante projetée pour l'ensemble d'une école ou d'un district, car d'autres facteurs, tels que les applications administratives, les services cloud et les stratégies d'agrégation, doivent être pris en compte.

²⁵ State Educational Technology Directors Association, *The Broadband Imperative II: Equitable Access for Learning*. (2016).

La navigation sur les réseaux sociaux peut fonctionner avec une connexion à seulement 0,03 Mbit/s mais le streaming vidéo en définition standard nécessite des vitesses 100 fois supérieures - au moins 3 Mbit/s. Le débit requis peut même monter jusqu'à 25 Mbit/s pour le streaming vidéo en qualité Ultra HD, ce qui montre bien combien les exigences de connectivité peuvent varier, y compris pour une même activité, à mesure que les contenus nécessitent des largeurs de bande toujours plus grandes.

Le secteur de l'éducation fournit aussi une bonne illustration de la façon dont une meilleure connectivité peut permettre une plus large gamme d'utilisations et augmenter par là même la productivité des utilisateurs sur le réseau. Si un débit de 0,25 Mbit/s peut suffire à un étudiant pour consulter un cours en ligne ou compléter une évaluation à choix multiples, par exemple, le fait d'augmenter ce débit à 1 Mbit/s permettra à ce même étudiant de suivre une visioconférence et d'y participer, de faire une simulation ou de conduire des recherches sur l'Internet.

Les intervenants doivent définir le niveau d'utilisation qu'ils souhaitent activer afin d'estimer les débits qui seront fournis aux utilisateurs finals. Cela implique de comprendre qui sont les utilisateurs, ce qu'ils font et ce dont ils ont besoin ou ce qui les intéresse. Il est nécessaire d'appréhender la localité dans laquelle l'intervention interviendra pour avoir un impact sur les utilisateurs du réseau.

Le secteur de la santé illustre bien combien les applications - qu'elles soient émergentes ou arrivées à maturité - peuvent être gourmandes en bande passante et nécessiter une connectivité robuste pour rendre possible l'utilisation.

Une connexion de 1,5 à 3 Mbit/s peut être suffisante pour permettre aux patients d'effectuer des vidéoconsultations, mais un médecin - seul dans sa pratique - aura besoin d'un débit d'au moins 4 Mbit/s pour pouvoir assurer la fourniture de services de télémédecine²⁶ (voir le Tableau 14). Ce type de connexion "prend en charge les fonctions de gestion de la pratique, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique (DME) et des consultations vidéo de haute qualité; permet les téléchargements d'images en différé; [et] active la surveillance à distance".

On voit bien, au travers de tous ces exemples, que la demande en largeur de bande augmente en proportion de l'étendue des activités. Elle augmente également avec le nombre d'utilisateurs: un petit cabinet de médecins regroupant deux à quatre professionnels autour des mêmes activités que celles de la pratique mentionnée ci-avant aura besoin d'une connexion de 10 Mbit/s ou plus²⁷.

²⁶ Health IT, [What is the recommended bandwidth for different types of health care providers?](#) (HealthIT.gov., 2019).

²⁷ Health IT, [What is the recommended bandwidth for different types of health care providers?](#) (HealthIT.gov., 2019).

Tableau 14. Exemples d'exigences en matière de large bande par type de fournisseur de télémédecine

Acteur de la télémédecine	Services	Largeur de bande
Patient	Vidéoconsultation; accès aux dossiers électroniques	1,5 à 3 Mbit/s
Cabinet - 1 médecin	Prend en charge les fonctions de gestion de la pratique, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique et des consultations vidéo de haute qualité; permet les téléchargements d'images en différé; active la surveillance à distance	4 Mbit/s
Cabinet (2 à 4 médecins)	Prend en charge les fonctions de gestion de la pratique, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique et des consultations vidéo de haute qualité; permet les téléchargements d'images en différé; active la surveillance à distance; permet les vidéoconsultations en HD	10 Mbit/s
Établissement médicalisé	Prend en charge les fonctions de gestion de l'établissement, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique et des consultations vidéo de haute qualité; permet les téléchargements d'images en différé; active la surveillance à distance; permet les vidéoconsultations en HD	10 Mbit/s
Dispensaire en zone rurale (env. 5 médecins)	Prend en charge les fonctions de gestion de la clinique, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique et des consultations vidéo de haute qualité; permet les téléchargements d'images en différé; active la surveillance à distance; permet les vidéoconsultations en HD	10 Mbit/s
Centre clinique/ grands cabinets de médecins (5-25 médecins)	Prend en charge les fonctions de gestion de la clinique, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique et des consultations vidéo de haute qualité; permet le transfert d'images en temps réel; active la surveillance à distance; permet les vidéoconsultations en HD	25 Mbit/s
Hôpital	Prend en charge les fonctions de gestion de l'hôpital, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique et des consultations vidéo de haute qualité; permet le transfert d'images en temps réel; active la surveillance continue à distance; permet les vidéoconsultations en HD	100 Mbit/s
Centre académique/ grand centre médical	Prend en charge les fonctions de gestion de l'hôpital, le courrier électronique et la navigation Web; permet l'utilisation simultanée du dossier médical électronique et des consultations vidéo de haute qualité; permet le transfert d'images en temps réel; active la surveillance continue à distance; permet les vidéoconsultations en HD	1 000 Mbit/s

Source: Health IT, note 31

Les applications de télémédecine complexes ou plus avancées nécessitent également plus de largeur de bande que les vidéoconsultations de base. L'un des attraits de la télémédecine est la possibilité de consulter à distance des spécialistes simplement en leur envoyant les données de diagnostic appropriées. Cependant, plus ces données augmentent, plus les fichiers sont

volumineux; et les examens médicaux réclament toujours davantage de bande passante et de débits pour que les spécialistes puissent examiner les données en temps opportun.

2.3.2 Modèles commerciaux

Le modèle commercial est un autre critère de classement des entités opérationnelles, qui permet d'étudier les différences et de proposer à la localité un modèle susceptible de répondre à ses besoins. La base de données des études de cas portant sur les solutions de connectivité sur le dernier kilomètre présente six types de modèles commerciaux qui fournissent un certain niveau de service sur le réseau d'accès local du dernier kilomètre. Ces derniers sont résumés dans le Tableau 15.

L'*opérateur international intégré* possède l'infrastructure nationale de réseau de transport, de raccordement et d'accès au dernier kilomètre et peut fournir des services de détail. La principale préoccupation des opérateurs qui ont mis en place ce modèle commercial est de vendre de la capacité aux opérateurs locaux et MVNO et de desservir les clients sur le marché de détail, avec la largeur de bande achetée à l'international ou depuis les stations d'atterrissement du câble.

L'*opérateur local intégré*, quant à lui, possède l'infrastructure régionale de raccordement et de réseau d'accès sur le dernier kilomètre, et fournit des services de détail. Ces opérateurs peuvent vendre des capacités de gros à d'autres opérateurs régionaux et fournir des services de détail aux utilisateurs finals. Ils se procurent généralement la largeur de bande auprès du fournisseur de réseau central national.

L'*opérateur d'infrastructure en tant que service* possède l'infrastructure de réseau passive mais n'exploite pas un équipement de réseau actif ni ne fournit un service de réseau à d'autres utilisateurs. Ce modèle commercial est davantage centré sur la location de biens immobiliers (mâts, conduits et fibre non utilisée) à des opérateurs de réseau actifs, qui peuvent ensuite utiliser l'infrastructure dans le cadre de leur propre réseau.

À l'inverse, l'*opérateur de connectivité en tant que service* possède l'infrastructure de réseau active sur le réseau d'accès du dernier kilomètre, mais ne fournit pas son propre service de vente au détail. Il vend la capacité de gros sur les réseaux régionaux à des fournisseurs de détail, qui vendent ensuite la capacité aux utilisateurs sous leur propre marque. Les entités qui utilisent ce modèle commercial peuvent acheter une infrastructure centrale nationale ou une capacité de passerelle internationale pour leur réseau.

L'*opérateur intégré LMC* possède l'infrastructure de réseau d'accès sur le dernier kilomètre et fournit des services de détail sous sa propre marque tout en achetant la capacité de raccordement. À titre de comparaison, l'*opérateur de service LMC* ne possède aucune infrastructure de réseau mais fournit des services sous sa propre marque. Au lieu d'exploiter son propre réseau, il achète la capacité directement sur les réseaux d'accès locaux.

Tableau 15. Modèles commerciaux offrant des services dans les réseaux sur le dernier kilomètre

Modèle commercial	Description	Partenariat/accords commerciaux	Exemples
Opérateur international intégré	Possède l'infrastructure nationale de réseau de transport, de raccordement et d'accès au dernier kilomètre et peut fournir des services de détail	Vend de la capacité aux opérateurs locaux, aux opérateurs MVNO et aux clients sur le marché de détail; achète la largeur de bande à l'international ou auprès des stations d'atterrissement de câbles	Liquid Telecom
Opérateur local intégré	Possède l'infrastructure régionale de raccordement et de réseau d'accès sur le dernier kilomètre, et fournit des services de détail	Peut vendre de la capacité de gros à d'autres opérateurs régionaux et fournit des services de détail; achète la largeur de bande auprès d'un fournisseur domestique national de réseau central	
Opérateur d'infrastructure en tant que service	Possède l'infrastructure de réseau passive mais n'exploite pas un équipement de réseau actif ni ne fournit un service de réseau	Loue des biens immobiliers (mâts, conduits et fibre non utilisée) à des opérateurs de réseau	IHS; American Tower
Opérateur de connectivité en tant que service	Possède l'infrastructure de réseau active sur le réseau d'accès du dernier kilomètre, mais ne fournit pas son propre service de vente au détail	Vend de la capacité sur le réseau régional aux fournisseurs de services de détail; peut acheter une infrastructure centrale nationale ou une capacité de passerelle internationale	Internet para Todos (Pérou); Africa Mobile Networks
Opérateur intégré LMC	Possède l'infrastructure de réseau d'accès sur le dernier kilomètre et fournit ses propres services de détail	Vend des services de détail sous sa marque et achète la capacité de raccordement	Bluetown (Inde); AirJaldi (Inde)
Opérateur de services LMC	Ne possède aucune infrastructure de réseau mais fournit des services sous sa propre marque	Vend des services de détail sous sa marque et achète la capacité sur le réseau d'accès local	

2.3.3 Modèles de recettes

Les modèles commerciaux ayant trait à la connectivité sur le dernier kilomètre sont généralement organisés de manière à répondre aux demandes initiales de dépenses en capital, alors que les modèles de recettes définissent la couverture des dépenses d'exploitation. Les réseaux d'accès à la connectivité du dernier kilomètre sont classés selon quatre principaux modèles de recettes, chacun avec ses variantes, et se concentrent sur la gestion des dépenses d'exploitation. La source de recettes à long terme est l'un des éléments déterminants pour la durabilité d'un

réseau d'accès sur le dernier kilomètre. Si les dépenses d'investissement pour l'infrastructure de réseau peuvent être d'un coût prohibitif, la disponibilité de technologies de réseau à faible coût peut permettre aux petits réseaux de lever plus facilement des fonds pour le déploiement. Faire face aux dépenses opérationnelles – coûts récurrents par exemple pour la bande passante, l'électricité, le personnel et la maintenance – sur le long terme constitue un défi persistant pour la survie d'un réseau (voir le Tableau 16).

Le modèle de recettes à prépaiement (également appelé "pay-as-you-go"), basé sur l'utilisation, inclut la vente d'un accès à la connectivité, limité dans le temps ou en données; les utilisateurs paient à l'avance pour accéder au réseau jusqu'à l'expiration du délai ou de leur forfait de données. L'accès est vendu via un système basé sur des bons ou un système similaire, ou au point d'utilisation dans les cas où la connectivité est fournie via un centre d'accès partagé.

Le modèle à postpaiement ou abonnement est un autre type de modèle de recettes basé sur l'utilisation. Tout comme le système à prépaiement, il se fonde sur les services de connectivité grand public (ou d'entreprise). L'accès sur abonnement implique des paiements récurrents réguliers sur une période, ce qui donne au réseau une source régulière de revenus à partir d'une base d'utilisateurs stable. Les abonnements couvrent généralement une période mensuelle, pendant laquelle les utilisateurs ont accès à une quantité fixe ou illimitée de données.

Du point de vue de la gestion du réseau, les abonnements simplifient la tâche de calcul de la quantité totale de largeur de bande que le réseau a besoin pour d'acheter ou, le cas échéant, de fournir aux utilisateurs. Ces abonnements peuvent cependant s'avérer trop coûteux pour les utilisateurs à faible revenu, qui pourraient ne pas être en mesure de s'acquitter de leurs obligations financières périodiques envers le réseau. L'utilisation d'un modèle de recettes basé sur les abonnements nécessite par conséquent une base stable d'utilisateurs capables de payer leurs connexions ou de ramener le coût de l'abonnement à un niveau abordable en tirant parti des subventions ou des accords de partage des coûts.

L'accès à prépaiement peut être une solution plus économique pour ceux qui n'utilisent les données que sporadiquement ou qui ont des besoins limités en matière de données. Ce type d'accès permet à un plus grand nombre de personnes d'accéder au réseau et de générer des recettes à partir d'utilisateurs qui n'auraient autrement pas été en mesure de payer un abonnement sur une base périodique. Dans un cas, une entité opérationnelle a généré des recettes uniquement avec les touristes prêts à payer pour un accès court terme à la connectivité; sur la base de ces recettes, le réseau a pu subventionner les membres permanents de la localité et leur fournir un accès gratuit²⁸. Dans un autre cas, en Inde, un réseau géré par le gouvernement a fourni un accès aux habitants du village sur la base d'un abonnement et aux visiteurs occasionnels sur la base d'une formule prépayée à l'occasion des fêtes religieuses²⁹.

Un modèle qui serait majoritairement à prépaiement pourrait présenter un inconvénient dans la mesure où la demande de largeur de bande varie par rapport à une base d'utilisateurs composée essentiellement d'abonnements. A fortiori lorsque les recettes sont occasionnelles, comme lorsque l'accès est vendu à des touristes qui vont et viennent à leur guise. Dans ce contexte, et dans une moindre mesure toutefois lorsque les principaux utilisateurs sont des résidents de la localité, la bonne gestion des charges d'exploitation variables (en particulier le coût de la largeur de bande) passe par une prévision efficace de la demande. Les recettes

²⁸ APC & IDRC, op. cit., note 28, Small and Medium Telecom Operators Association of Georgia and Tusheti Development Fund, pp. 124-127.

²⁹ Ibid., Case on Gram Marg Rural Broadband Project, pp. 150-156.

issues des services prépayés peuvent être plus irrégulières et plus instables que celles en provenance des abonnements en cas de fort taux de désabonnement de la clientèle.

En dehors des modèles de recettes basés sur l'utilisation, certains réseaux d'accès présentent de nouvelles sources de recettes alternatives. L'une de ces approches consiste à facturer l'accès ou l'utilisation de services à valeur ajoutée. Dans ce cas, les dépenses d'exploitation sont couvertes par des services au-delà de l'utilisation des données, tels que la publicité payante ou d'autres services à valeur ajoutée (argent mobile, services d'information agricole, éducation, etc.) qui subventionnent la fourniture de données. Le modèle de service à valeur ajoutée n'est pas un modèle courant, mais il est présent dans les projets sur le dernier kilomètre où les avantages pour l'utilisateur final sont clairement évidents. Par exemple, un réseau fournit un accès par l'intermédiaire d'un centre d'accès partagé et ne facture pas l'utilisation de l'Internet, mais facture l'impression et d'autres services traditionnels. Par ailleurs, les modèles de paiement fondés sur l'action permettent aux utilisateurs de payer la connectivité avec des moyens non financiers. Les utilisateurs ou clients peuvent entreprendre certaines actions (comme recycler les plastiques ou suivre des cours de formation) en échange de blocs de temps ou de capacité de connectivité. Cela crée des options où les dépenses publiques ou d'aide peuvent être utilisées efficacement pour obtenir des résultats en utilisant la connectivité comme récompense. Ce modèle est relativement récent. Il n'a pas encore fait ses preuves mais il possède un grand potentiel.

De même, les contenus sponsorisés, tels que les divertissements et les événements sportifs adaptés aux préférences locales, donnent aux fournisseurs de connectivité une source de revenus supplémentaire grâce à l'utilisation d'un modèle de facturation à l'utilisation très faible. Un exemple est PockitTV, une plate-forme de divertissement et de sport sur mobile basée en Afrique qui facture 0,06 USD/jour seulement pour l'accès au contenu local et international. La tarification zéro est une forme de contenu sponsorisé par lequel les charges de données sont subventionnées principalement par le fournisseur de services pour l'accès à des applications ou services spécifiques.

Certaines interventions sont réalisées uniquement dans un but non lucratif ou en vue de fournir un accès gratuit aux utilisateurs. Le modèle de recettes limitées/à but non lucratif/d'accès gratuit repose souvent sur des contributions en nature (comme la gestion communautaire du réseau) ou sur une subvention récurrente continue visant à couvrir les dépenses d'exploitation.

Il existe également des réseaux où les utilisateurs fournissent des contributions volontaires pour la maintenance de la bande passante partagée et de l'infrastructure de réseau³⁰. Des subventions récurrentes, provenant de donateurs-partenaires publics ou privés, permettent aux entités opérationnelles de fournir une connectivité gratuite ou (en association avec d'autres modèles de recettes) à un coût très bas pour les utilisateurs. Les subventions peuvent prendre la forme de contributions monétaires ou de contributions en nature, à l'instar de la bande passante gratuite d'un fournisseur de services Internet avec un point de présence à proximité³¹. Dans de tels cas, les subventions couvrent tout ou partie des dépenses opérationnelles du réseau. Les dépenses en capital, telles que les extensions de réseau et remplacements d'équipement, peuvent être couvertes par des subventions ponctuelles séparées ou d'autres sources de revenu³².

³⁰ Ibid.

³¹ Ibid., Cases on Tunapanda Institute (pp. 166-170) and on Gram Marg Rural Broadband Project (pp. 150-156).

³² Ibid.

Cela étant dit, ce modèle présente le risque que les recettes se révèlent inférieures aux coûts du réseau, en particulier lorsque le réseau repose sur des contributions volontaires. Il convient donc davantage aux petits réseaux pour lesquels les risques sont plus gérables ou, alternativement, en complément des abonnements ou des frais prépayés, qui peuvent représenter une source de recettes plus stable.

Tableau 16. Modèles de recettes pour les services de détail sur le dernier kilomètre

Modèle de recettes	Description
Selon utilisation (à prépaiement)	Il s'agit du système de tarification standard pour les services de connectivité du consommateur dans les marchés émergents, où le consommateur paye des services de données traditionnels sur la base d'un modèle à prépaiement (également appelé pay-as-you-go). Les recettes issues des services prépayés peuvent être plus irrégulières et plus instables que celles en provenance des abonnements en cas de fort taux de désabonnement de la clientèle.
Selon utilisation (à postpaiement/abonnement)	À l'instar du modèle à prépaiement, les modèles à postpaiement ou abonnement se fondent sur les services de connectivité grand public (ou d'entreprise).
Services à valeur ajoutée	Les dépenses d'exploitation sont couvertes par des services au-delà de l'utilisation des données, tels que la publicité payante ou d'autres services à valeur ajoutée (argent mobile, services d'information agricole, éducation, etc.) qui subventionnent la fourniture de données; modèle peu courant que l'on retrouve néanmoins dans les projets du dernier kilomètre qui présentent des avantages clairement évidents pour l'utilisateur final.
Recettes limitées, à but non lucratif, accès gratuit	Avec ce modèle, les dépenses d'exploitation peuvent être couvertes par des contributions en nature (telles que la gestion communautaire du réseau) ou une subvention continue.

2.3.3.1 Les motifs des subventions (aucune subvention, subvention ponctuelle, subvention récurrente)

Certains réseaux d'accès du dernier kilomètre reçoivent divers niveaux de subventions de la part de donateurs et partenaires publics ou privés. Outre le niveau de subvention par rapport aux dépenses totales du réseau, ces subventions diffèrent également en termes de régularité: certaines prennent la forme de subventions ponctuelles; d'autres se répètent sur une longue période voire sur toute la durée de vie du réseau. Cette section présente les différents niveaux de subventions. Elle explique à quoi servent les subventions, quelle est leur utilisation la plus optimale et quelles sont les implications pour le fonctionnement du réseau.

Les réseaux commerciaux traditionnels ne sont pas subventionnés à proprement parler. Des exceptions sont toutefois possibles, par exemple dans les zones non rentables où les opérateurs peuvent recevoir une subvention sous forme de paiement d'un fonds d'accès ou de service

universel. Les entités sans but lucratif, en revanche, sont davantage susceptibles de bénéficier de subventions des secteurs public et privé. Les réseaux gérés par l'État sont régulièrement subventionnés par le secteur public.

Les subventions se distinguent en premier lieu par leur périodicité. Les subventions ponctuelles ont habituellement pour objet de contribuer au déploiement du réseau, à l'acquisition des équipements ou à d'autres coûts assimilables à des dépenses en capital. Les subventions récurrentes, quant à elles, peuvent couvrir *a minima* une partie des coûts d'exploitation.

Les subventions ponctuelles intégrales permettent à une organisation d'installer le réseau et d'entamer ses activités; le réseau devra encore générer des recettes pour couvrir les coûts d'exploitation. Les subventions ponctuelles partielles fonctionnent de la même manière mais dans une moindre mesure, pour aider les réseaux à acquérir des équipements, à déployer du personnel et à couvrir les coûts associés à la construction des infrastructures.

Les subventions ponctuelles, aussi utiles soient-elles, n'impactent pas nécessairement le modèle de génération des recettes du réseau de manière significative. Les subventions sont dites intégrales à compter du moment où elles suffisent à couvrir l'ensemble des dépenses en capital et dépenses d'exploitation sur une période donnée. S'il peut être utile de ne pas avoir à récupérer les dépenses en capital sur les recettes, le réseau devra quand même couvrir les dépenses d'exploitation une fois la subvention épuisée - ce qui adviendra inévitablement. De même, les bénéficiaires de subventions ponctuelles partielles devront générer des recettes, à la différence qu'ils seront confrontés à ce défi plus immédiatement que les réseaux qui reçoivent des subventions ponctuelles intégrales.

Des exemples tirés de la littérature montrent que les réseaux recevant des subventions ponctuelles fonctionnent de la même manière que ceux qui n'en reçoivent pas; c'est-à-dire qu'ils continuent de dépendre des abonnements ou d'autres activités génératrices de recettes pour assurer la durabilité³³. Les subventions ponctuelles ont pour principal avantage d'aider les réseaux à surmonter les barrières financières à l'entrée (réduisant les risques d'investissement), leur permettant de se déployer dans des zones où le capital d'investissement peut être peu enclin à ou peu susceptible de prendre le risque. Par comparaison, les subventions récurrentes ont un impact à long terme plus tangible sur les opérations du réseau.

Les subventions récurrentes intégrales, comme leur nom l'indique, couvrent la totalité des coûts liés aux activités du réseau pendant toute la durée de vie du réseau ou sur une longue période de temps. Les subventions récurrentes partielles, en revanche, doivent couvrir une partie des dépenses d'exploitation du réseau. Elles ont un impact plus important que les subventions ponctuelles, dans le sens où elles permettent aux réseaux de fonctionner dans des communautés où cela ne serait pas possible autrement.

Les subventions récurrentes intégrales permettent au réseau de fournir un accès entièrement gratuit³⁴. Elles sont plus courantes dans les communautés où les utilisateurs seraient autrement en incapacité de payer l'accès ou dont les caractéristiques font qu'il est peu probable que les coûts puissent être récupérés sur les activités conventionnelles génératrices de recettes. Citons l'exemple à Bornéo d'un réseau qui dessert des communautés autochtones dans la jungle et d'un réseau urbain au Kenya conçu pour fournir un accès aux utilisateurs démunis³⁵.

³³ Ibid.

³⁴ Ibid.

³⁵ Ibid., Cas du FORMADAT (pp. 157-161) et Tunapanda Institute (pp. 166-170).

Les réseaux qui bénéficient de subventions récurrentes intégrales peuvent littéralement transformer leurs communautés, mais ils peuvent également se heurter à des problèmes de durabilité s'il s'agit là de leur unique source de financement: une diminution des fonds alloués peut dans ce cas signer l'arrêt de mort du réseau. Pour parer à cette éventualité, certains réseaux entièrement subventionnés génèrent des recettes grâce à la fourniture de services à valeur ajoutée sur le réseau, même si l'accès à la connectivité demeure gratuit.

Enfin, les subventions récurrentes partielles visent à couvrir une partie des coûts opérationnels récurrents du réseau. Le coût de la largeur de bande, qu'il soit couvert gratuitement par un fournisseur de services Internet partenaire privé ou financé par des contributions financières de donateurs, est un exemple type³⁶. Les réseaux qui reçoivent ces subventions n'offrent généralement pas de services gratuits (contrairement à ceux qui reçoivent des subventions récurrentes intégrales), mais ils peuvent offrir une connectivité pour un prix inférieur à celui qui aurait été appliqué si la subvention n'avait pas été mise en place. Ils doivent néanmoins générer des flux de recettes afin de couvrir les autres coûts et d'assurer la pérennité du réseau.

La question de savoir quand les subventions sont les plus efficaces est une considération importante pour les institutions publiques et privées qui peuvent envisager une certaine forme de subvention pour améliorer l'accès sur le dernier kilomètre. Le kit pratique de l'UIT pour la connectivité sur le dernier kilomètre fournit un guide utile qui aidera à déterminer le moment où les subventions auront un impact³⁷ (voir la Figure 22).

Si le marché affiche des écarts en termes d'efficacité et d'expansion, les subventions ne seront peut-être pas le meilleur outil pour favoriser l'accès. La fourniture de services privés peut en revanche combler ces écarts moyennant l'adoption d'une politique visant à éliminer les obstacles non économiques, en adoptant une réglementation appropriée et en instaurant un climat fiscal, commercial et d'investissement positif axé sur la participation au marché. Le secteur privé peut ainsi répondre à la demande existante, sans recourir à des subventions et en se fondant uniquement sur les incitations du marché.

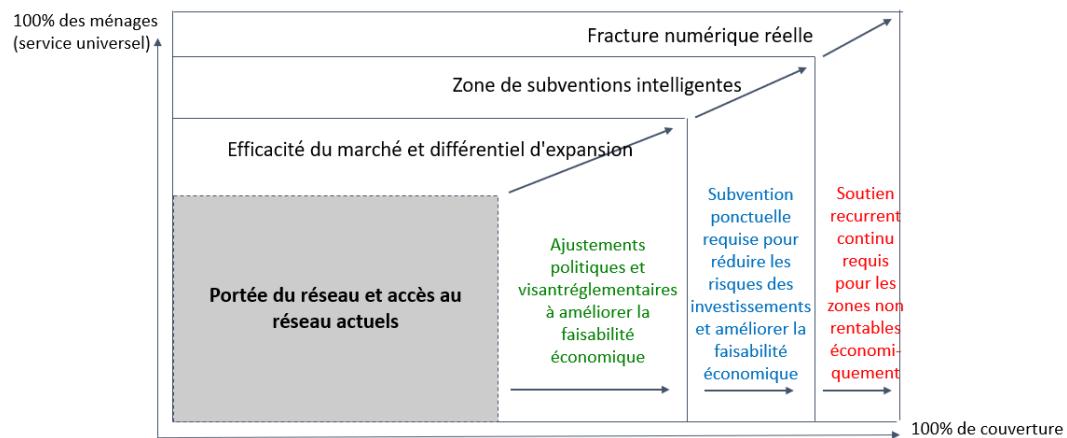
D'un autre côté, certaines zones peuvent ne pas être attrayantes pour les investissements du secteur privé, peut-être en raison des difficultés techniques liées à l'extension du réseau existant sur la localité cible. Dans ce cas précis, le kit pratique sur la réglementation des TIC propose d'utiliser des "subventions intelligentes", autrement dit des subventions ponctuelles pouvant encourager les entités opérationnelles nouvelles ou existantes à fournir le service dans la zone. Comme indiqué précédemment, les subventions sont essentiellement utilisées dans le cadre des interventions pour aider à couvrir les dépenses en capital élevées lors du déploiement des réseaux, lesquelles dépenses seraient autrement prohibitives. Ensuite, l'opérateur peut normalement mener ses activités comme à l'accoutumée. Ces subventions sont les plus appropriées pour les localités qui présentent une analyse de rentabilisation viable pour une entité commerciale, sans les obstacles techniques qui peuvent être surmontés ou atténués grâce à une subvention ponctuelle.

³⁶ Ibid.

³⁷ UIT, [Kit pratique sur la réglementation des TIC](#), Section 4.1.3.3 (Différentiels de marché et politique d'accès universel).

Enfin, certaines zones ont peu de chances d'être commercialement viables, tout du moins à court et moyen terme. Il s'agit probablement de zones éloignées et peu peuplées où un opérateur commercial ne pourra pas couvrir ses dépenses de fonctionnement. Le Kit pratique sur la réglementation des TIC appelle cela le "fossé de l'accès", à savoir que le développement de la connectivité se fait sur la base du bien public, et non du gain commercial. De tels cas nécessitent un soutien économique continu et récurrent, qui peut prendre la forme de subventions récurrentes intégrales ou partielles pouvant aider une entité opérationnelle à couvrir les coûts de déploiement de son réseau dans la localité.

Figure 22. Classement des interventions selon les disparités en matière d'accès



Source: Kit pratique sur la réglementation des TIC de l'UIT, voir note 42

2.4 Principales technologies d'accès sans fil

Cette section compare les différentes technologies de connectivité sans fil et filaires utilisées dans le cadre du déploiement d'un réseau d'accès sur le dernier kilomètre à la lumière d'une série de facteurs, notamment les coûts de déploiement des dépenses en capital, les coûts d'exploitation, la gamme de technologies et le débit de la large bande. La comparaison porte sur le déploiement par site, conformément au Guide des solutions qui privilégie les solutions potentielles pour les localités individuelles non connectées et mal desservies. Il existe aussi d'autres différences, notamment entre les licences commerciales et les frais de spectre par rapport au coût du déploiement de la technologie sous-jacente, qui tiennent compte du coût total de possession d'un réseau global. De plus, les différences de portée et de débit par site sont prises en compte dans le coût total de possession de réseaux de différentes tailles.

Certains réseaux offrent un accès sur le dernier kilomètre en utilisant essentiellement la technologie cellulaire. Cet accès cellulaire sur le dernier kilomètre consiste à connecter les dispositifs des utilisateurs finals directement aux stations de base, sans qu'il soit nécessaire de disposer d'un point de connexion intermédiaire. Il s'agit de la principale technologie de réseau d'accès utilisée par les opérateurs qui offrent également des services de télécommunication de base; dans ce cas, la voix, les SMS et les données sont tous servis via des fréquences radioélectriques assignées et attribuées ou octroyées par adjudication publique pour les services mobiles.

La technologie cellulaire peut couvrir une large zone avec un seul pylône, mais elle peut aussi subir des brouillages et la qualité peut chuter avec la distance. Cela signifie que les utilisateurs finals équipés de smartphones ou d'autres dispositifs Internet mobiles peuvent avoir accès à la connectivité depuis n'importe quel endroit situé à portée du pylône - et ce, même en mouvement. Le principal inconvénient de cette technologie d'accès est son coût de mise en oeuvre. Le déploiement de réseaux cellulaires peut également être entravé par une topographie difficile, ce qui peut rendre excessivement coûteuse, voire totalement irréalisable, l'utilisation du cellulaire dans des endroits éloignés ou sur des terrains difficiles.

Un autre défi lié à l'utilisation du mobile sur le dernier kilomètre est la disponibilité de ressources spectrales appropriées et, en présence de ces ressources, de licences appropriées pour des fréquences radioélectriques spécifiques. Les régimes réglementaires variant d'une juridiction à l'autre, les fréquences radioélectriques pour les communications mobiles sont généralement attribuées aux enchères, ce qui signifie en général qu'elles sont attribuées à des opérateurs de grande envergure offrant tous les services. S'il peut donc être difficile pour les petits réseaux d'accès uniquement sur le dernier kilomètre d'obtenir des licences appropriées pour les fréquences cellulaires, en particulier s'ils ne desservent qu'une petite zone ou une petite base d'utilisateurs, il n'en demeure pas moins que les opérateurs MNO à but non lucratif émergent et font la preuve de leur viabilité. Si des licences nationales appropriées ont déjà été obtenues, en revanche, il n'y a pas de frais supplémentaires pour l'extension de la couverture.

L'accès fixe sans fil fournit de la connectivité en utilisant des fréquences radioélectriques sous licence allouées à des services fixes ou des bandes de fréquences non soumises à licence (par exemple le WiFi). Bien qu'il puisse recourir également à des bandes de service mobile, le fait d'utiliser ces bandes pour l'accès fixe sans fil ne fournirait pas une protection supplémentaire contre les interférences au-delà de ce qui est prévu pour les utilisateurs mobiles. La principale différence avec le cellulaire réside dans le fait que l'accès sans fil fixe est principalement destiné à être reçu par un point d'accès fixe sans fil, plutôt que directement par des appareils grand public. La portée d'un pylône d'accès fixe sans fil est comparable à celle d'un pylône cellulaire, mais un modem est nécessaire pour transmettre la connectivité via Ethernet ou WiFi.

Un exemple d'accès fixe sans fil est le WiMAX, une technologie de troisième génération qui utilise la gamme des hyperfréquences pour assurer la connectivité entre un point de présence et un point d'accès. La technologie des hyperfréquences se fonde sur les fréquences de la bande d'ondes décimétriques ou supérieures pour connecter des systèmes radioélectriques à portée de vue. Cette exigence de visibilité directe constitue un obstacle majeur, car les terrains montagneux et autres terrains difficiles peuvent empêcher les systèmes radioélectriques de se connecter les uns aux autres. La nécessité d'un point de présence à proximité peut également limiter l'applicabilité des hyperfréquences; si aucune station hyperfréquences connectée par fibre optique n'est disponible à portée de vue, il convient de construire un relais hyperfréquences, ce qui viendra se rajouter au coût de déploiement. L'utilisation de systèmes radioélectriques à hyperfréquences, en tant que technologie sans fil, est également soumise à la réglementation du spectre radioélectrique, qui peut différer selon la juridiction dans laquelle le réseau est situé.

Dans les zones géographiques où les options d'accès cellulaires, hertziens fixes sans fil et hyperfréquences ne sont pas viables, il est possible d'utiliser la connectivité par satellite pour fournir de la largeur de bande à un réseau d'accès. Cette technologie s'appuie sur des fournisseurs de large bande par satellite pour connecter les communautés les plus éloignées. Selon le type exact de technologie utilisée, la connectivité par satellite peut être déployée rapidement, sans qu'il soit nécessaire de construire l'infrastructure coûteuse et techniquement contraignante requise par les autres technologies.

Il existe plusieurs fournisseurs de satellites offrant des niveaux de services différents: les satellites GEO pour les applications qui utilisent une largeur de bande importante et les satellites MEO qui desservent les petits utilisateurs y compris les réseaux d'accès du dernier kilomètre.

Les satellites, par rapport à d'autres technologies, présentent l'avantage de pouvoir être déployés facilement et rapidement. La qualité de service, en revanche, n'atteint pas le niveau de la qualité de service qui est offerte par les autres technologies telles que la fibre optique, notamment en termes de largeur de bande et de latence. En fonction de la technologie satellitaire spécifique et de la bande de fréquences utilisées, la qualité peut également se détériorer dans certaines conditions météorologiques. Le développement futur de grandes constellations de satellites LEO promet d'améliorer la qualité et l'accessibilité de la connectivité par satellite.

Les technologies susmentionnées, à l'exception de la technologie cellulaire, nécessitent toutes un modem ou un équipement similaire dans les locaux du client pour distribuer la connectivité aux appareils des utilisateurs finals. Une option sans fil pour connecter les utilisateurs est le WiFi. Bien qu'il s'agisse d'une technologie d'accès sans fil, le WiFi utilise des fréquences non soumises à licence et n'a donc pas besoin du même type d'approbation réglementaire que le cellulaire. Le WiFi est également très courant, ce qui signifie qu'une pléthore de routeurs abordables de qualité grand public sont disponibles. Ces deux facteurs font du WiFi une technologie relativement abordable en termes de déploiement.

Cependant, la nature sans licence des bandes de fréquences industrielles, scientifiques et médicales utilisées par la technologie WiFi oblige les systèmes à accepter les interférences non seulement d'autres services mais aussi entre eux (congestion WiFi), tout en garantissant des niveaux de rayonnement minimum.

La qualité d'une connexion WiFi peut donc varier fortement à cause des interférences. La portée est également très limitée: pour un seul routeur WiFi moyen, elle est de plusieurs ordres de grandeur inférieure à celle d'une station cellulaire.

À l'échelle d'un réseau, cependant, il existe des moyens de surmonter certaines de ces limitations et de tirer parti de l'accessibilité et de la facilité de déploiement du WiFi à plus grande échelle. Une approche de plus en plus populaire au sein des entités opérationnelles consiste à utiliser des routeurs WiFi dans une architecture de réseau maillé, avec des routeurs individuels se connectant les uns aux autres au cas par cas et obtenant leur connectivité à partir du routeur le plus proche ou ayant la connexion la plus forte.

Parce qu'elle utilise un réseau maillé, la technologie WiFi peut desservir une zone plus large et elle s'avère également plus résistante, car il n'existe pas de point de défaillance isolé sur un réseau maillé entièrement décentralisé. Certains réseaux maillés sont en revanche très limités dans la mesure où certains routeurs ne sont pas en capacité de transmettre et de recevoir des données simultanément, et l'efficacité d'un réseau global peut diminuer à mesure que le nombre de routeurs augmente. Les réseaux maillés génèrent de plus une faible réutilisation du spectre, car seuls quelques canaux non chevauchants peuvent être utilisés à la fois.

Malgré ces limitations, les réseaux WiFi à structure maillée sont parvenus à connecter les communautés, même sur les terrains difficiles, faisant de la technologie WiFi une option encore plus attrayante pour les réseaux où il n'y a pas d'infrastructure existante et lorsque d'autres technologies seraient trop coûteuses ou difficiles à déployer.

Le Tableau 17 affiche, sous forme de résumé, une comparaison des principales technologies de réseau d'accès sans fil et le Tableau 18 détaille les familles des IMT et leurs technologies.

Tableau 17. Comparaison des principales technologies de réseau d'accès sans fil*

Technologie de réseau d'accès	Débit théorique/qualité de service	Portée	Dépenses en capital pour déployer le nouveau réseau	Dépenses de fonctionnement	Infrastructure requise	Possibilité de déploiements ruraux	Exigences d'octroi de licences d'utilisation du spectre	Type de dispositif d'accès
WiFi: 802.11	2 Mbit/s (a) à 10 Gbit/s (ax)	Centaines de m	Faibles	Faibles	Routeurs WiFi	Oui, mais des liaisons de raccordement sont nécessaires (satellite, hyperfréquences ou fibre)	Pas de licence spécifique mais respect des spécifications techniques via une "licence globale" sous réserve de ne pas causer de brouillage et de ne pas demander de protection	Smartphones, tablettes et ordinateurs WiFi
Mobile cellulaire (2G, 3G, 4G, 5G)	0,1 - 1000 Mbit/s	5 à 15 km	Moyennes à élevées	Moyennes élevées	Pyônes et équipement radioélectrique	Oui, mais des liaisons de raccordement sont nécessaires (satellite, hyperfréquences ou fibre)	Oui	Téléphones mobiles cellulaires, ordinateurs portables, ordinateurs personnels (via des dongles)
Accès fixe sans fil (4G/5G)	20 - 1 000 Mbit/s	Jusqu'à 10 km	Faibles à moyennes	Faibles	Pyônes et équipement radioélectrique	Peut-être, selon la viabilité financière et la demande	Dépend de la réglementation en vigueur dans le pays	Modems grand public Ethernet ou WiFi
Satellite (HTS GEO et MEO)	5 - 150 Mbit/s	Centaines de km	Élevées (déploiement de nouveaux satellites); faibles (terminaux des utilisateurs finals)	Faibles	Station de Terre, satellite, microstation	Oui	Oui	Microstation, modems grand public Ethernet ou WiFi

Source: adapté de sources diverses, dont Union européenne, Cisco, Huawei, UIT, Banque interaméricaine de développement, Banque mondiale et EMEA Satellite Operators Association (références techniques listées à l'Annexe 2)

* Grâce au développement des technologies 4G et 5G, le débit peut atteindre jusqu'à 1 Gbit/s.

Tableau 18. Familles des IMT

Recommandation UIT-R	IMT-2000	IMT-évoluées
<p>UIT-R M.1457-14 (01/2019): Spécifications détaillées des interfaces radioélectriques des télécommunications mobiles internationales 2000 (IMT-2000)</p> <p>1) Grande communauté de conception à l'échelle mondiale</p> <p>2) Compatibilité des services dans les systèmes IMT-2000, et avec les réseaux fixes</p> <p>3) Qualité élevée</p> <p>4) Utilisation de terminaux de petite taille exploitables dans le monde entier</p> <p>5) Capacité de prise en charge d'applications multimédias et d'un large éventail de services et de terminaux</p> <p>6) Possibilité de déplacement des abonnés itinérants partout dans le monde</p> <p>Principaux critères techniques</p>	<p>UIT-R M.2012-4 (11/2019): Spécifications détaillées des interfaces radioélectriques de Terre des télécommunications mobiles internationales évoquées (IMT-évoluées)</p> <p>1) Nombreuses fonctions communes à l'échelle mondiale et souplesse permettant de prendre en charge une large gamme de services et d'applications d'un manière rentable</p> <p>2) Compatibilité des services entre les systèmes IMT et entre les systèmes IMT et les réseaux fixes</p> <p>3) Capacité d'interfonctionnement avec d'autres systèmes d'accès radioélectrique</p> <p>4) Services mobiles de haute qualité</p> <p>5) Équipement d'utilisateur utilisable dans le monde entier</p> <p>6) Applications, services et équipements faciles à utiliser</p> <p>7) Possibilités d'itinérance à l'échelle mondiale</p> <p>8) Augmentation des débits de données maximaux pour la prise en charge d'applications et de services évolués (des débits cibles de 100 Mbit/s pour une mobilité élevée et de 1 Gbit/s pour une faible mobilité ont été établis aux fins de travaux de recherche)(données tirées de UIT-R M.1645)</p>	

Tableau 18. Familles des IMT (suite)

		IMT-2000		IMT-évoluées	
	Norme	Norme commercial	Norme		Norme commercial
1) AMRC, séquence directe, IMT-2000	W-CDMA UMTS UTRA FDD, (UMTS/HSPA/LTE family; 3GPP)		1) LTE-Advanced	E-UTRA Release 10 (LTE family; 3GPP)	
2) AMRC, multiporteuse, IMT-2000	CDMA 2000 UMB (3GPP2)		2) WirelessMAN-Advanced	WiMAX IEEE 802.16m (WiMAX family; IEEE)	
Interfaces radioélectriques reconnues					
3) AMRC, DRT, IMT-2000	TD-CDMA UMTS UTRA TDD, E-UTRA TD (UMTS/HSPA/LTE family; 3GPP)				
4) AMRT, porteuse unique, IMT-2000	UWC 136 (ATIS/TIA) EDGE (GSM family)				
5) AMRF/AMRT, IMT-2000	DECT (ETSI)				
6) IMT-2000 OFDMA TDD WMAN				WiMAX IEEE 802.16-2012 (WiMAX family; IEEE)	

Source: UIT

Tableau 19. Comparaison des principales technologies de réseau d'accès filaire

Technologie de réseau d'accès	Débit théorique/qualité de service	Portée	Dépenses en capital pour déployer le nouveau réseau	Dépenses de fonctionnement	Infrastructure requise	Possibilité de déploiements ruraux	Autres questions réglementaires	Type de dispositif d'accès
Fibre	100 - 1 000 Mbit/s	Centaines de km	Câblage aérien: faibles à moyennes	Moyennes	Pylônes, poteaux, armoires, équipements actifs de réseau	Dans certains cas, sous réserve d'un pouvoir d'achat et de densités de population suffisants	Fixation des poteaux	Dispositifs entre modem à fibre et Ethernet ou WiFi
			Sous terre: moyennes à élevées (nouvelle excavation)	Faibles à moyennes	Conduits souterrains, armoires, équipements actifs de réseau	Non	Droits de passage	
Coaxial (câble)	Jusqu'à 200 Mbit/s	Jusqu'à 100 km	Faibles à moyennes	Faibles à moyennes	Pylônes, poteaux, armoires, équipements actifs de réseau	Dans certains cas, sous réserve d'un pouvoir d'achat et de densités de population suffisants	Fixation des poteaux	Dispositifs entre câblo-modem et Ethernet ou WiFi
Cuivre	0 à 24 Mbit/s (ADSL, ADSL 2, ADSL 2+); 100 Mbit/s (VDSL, VDSL2, Vectoring); 1 Gbit/s (G.Fast)	0,1 à 5 km	Faibles à moyennes	Faibles à moyennes	Pylônes, poteaux, armoires, équipements actifs de réseau	Dans certains cas, sous réserve d'un pouvoir d'achat et de densités de population suffisants	Fixation des poteaux	Dispositifs entre modem et Ethernet ou WiFi

Source: adapté de sources diverses, dont Union européenne, Cisco, Huawei, UIT, Banque interaméricaine de développement, Banque mondiale et European School of Antennas (références techniques liées à l'Annexe 2)

2.5 Principales technologies d'accès filaires

Les technologies d'accès filaires incluent la fibre optique, la ligne de cuivre et le câble coaxial. Leur coût de déploiement par utilisateur est cependant plus onéreux, ce qui rend l'accès problématique dans les localités où la densité d'utilisateurs est insuffisante pour réaliser des économies d'échelle. Le Tableau 20 recense les principales technologies filaires pour les déploiements du dernier kilomètre.

Dans les endroits où il existe déjà des réseaux de cuivre ou coaxiaux, l'utilisation de l'infrastructure existante pour fournir la connectivité est relativement simple. Le principal problème avec l'accès filaire ce sont les problèmes techniques, financiers et réglementaires à surmonter lors du déploiement d'une nouvelle infrastructure.

La fibre optique est la technologie filaire qui offre la bande passante maximale la plus élevée. Qui plus est, comme toute technologie filaire, la fibre n'a pas besoin de ressources de spectre et est donc exemptée de certains types d'approbation réglementaire. À noter toutefois que les déploiements filaires doivent faire l'objet d'une autorisation pour les droits de passage, la fixation des poteaux électriques, les tubes à la terre et autres aspects du déploiement. La fibre peut être très coûteuse à déployer, en particulier dans les régions éloignées ou peu peuplées, ou sur des terrains difficiles.

Étant donné que la fibre doit passer physiquement par un emplacement spécifique, elle peut aussi, au même titre que d'autres technologies filaires (cuivre/DSL et câble coaxial), se heurter à des problèmes de droits de passage et de permis de construction. Ces contraintes sont encore plus fortes lorsque la fibre est utilisée exclusivement pour connecter les utilisateurs via une architecture de réseau FTTH (fibre jusqu'au domicile) ou FTTP (fibre jusqu'aux locaux). À l'instar du cellulaire, la fibre est donc la technologie qui convient le mieux dans les zones où la densité d'utilisateurs est relativement élevée et où les économies d'échelle peuvent réduire le coût de déploiement par utilisateur.

Le principal avantage du câble coaxial et du cuivre est qu'il existe d'ores et déjà des réseaux dans des zones qui ne disposent peut-être pas encore de la fibre. Là où la fibre atteint couramment un débit 1 000 Mbit/s, les câbles coaxiaux – les plus couramment utilisés pour les services de télévision par câble – sont généralement plafonnés à 200 Mbit/s³⁸. Un avantage du coaxial, cependant, est sa portée, qui peut atteindre 100 km avant que le signal ne se détériore et que des répéteurs et autres équipements ne deviennent nécessaires. En revanche, les fils téléphoniques en cuivre ont une portée de seulement 0,1 à 5 km (selon certaines conditions techniques), tandis qu'une ligne continue de fibre peut être déployée sur des centaines de kilomètres avant que la dégradation du signal ne devienne un problème.

Comparé à la fibre et au câble coaxial, le cuivre a la portée la plus limitée avant qu'un équipement réseau actif ne devienne nécessaire et offre généralement des débits maximums inférieurs, avec les technologies VDSL, VDSL2 et vectorisation atteignant seulement 100 Mbit/s (bien que les réseaux cuivre G.Fast relativement rares puissent atteindre des débits de 1 Gbit/s). Le cuivre est populaire car très courant: les réseaux téléphoniques câblés existants utilisent des câbles de cuivre, ce qui signifie que l'infrastructure est déjà disponible dans de nombreux endroits.

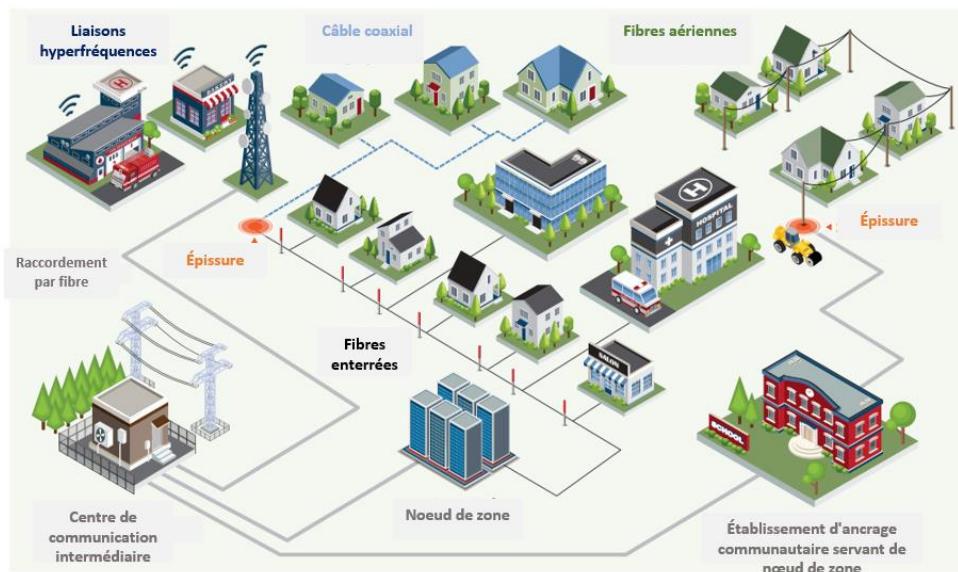
Ce dernier élément a son importance, car le coût de déploiement de la fibre sous terre peut être assez conséquent quand bien même son déploiement via un câblage aérien pourrait aussi

³⁸ Union européenne, *Comparison of wired and wireless broadband*.

être une option. Pour la plupart des technologies câblées, cependant, les coûts de déploiement et d'exploitation varient de faibles à moyens. Toutes les options câblées nécessitent par ailleurs une variété d'équipements de réseau actifs, en plus d'une infrastructure passive telle que pylônes, poteaux, armoires et conduits souterrains. Une fois que la fibre, le cuivre ou le câble pénètre les locaux, une connexion est établie avec le modem qui fournit une connectivité via Ethernet ou WiFi.

La faiblesse du pouvoir d'achat et la faible densité de population dans certaines communautés constituent des obstacles au déploiement rural des technologies filaires. En présence de ces deux paramètres, il peut être difficile pour les entités opérationnelles de couvrir les coûts de déploiement et de fonctionnement du réseau. Les problèmes de fixation des poteaux peuvent également rendre difficile (et coûteuse) l'installation du réseau, et les déploiements souterrains nécessitent des droits de passage pour les conduits sous Terre. La Figure 23 illustre les déploiements filaires aux côtés du sans fil.

Figure 23. Principaux déploiements de réseau



Source: Administration nationale des télécommunications et de l'information des États-Unis, [Costs at-a-Glance: Fiber and Wireless Networks](#) (mai 2017)

* Exclut certaines technologies d'accès telles que les technologies par satellite et DSL

2.6 Présentation des principales technologies d'accès

2.6.1 WiFi

WiFi est le nom couramment utilisé pour désigner la gamme des différentes technologies d'accès radioélectriques basées sur le groupe de normes IEEE 802.11, utilisées principalement pour transmettre des données sur des bandes de fréquences non soumises à licence. Le WiFi est couramment utilisé par les réseaux locaux personnels, pour connecter Internet à un point d'accès WiFi qui, à son tour, est connecté aux dispositifs des utilisateurs finals. Les réseaux maillés WiFi peuvent également être déployés pour connecter les villages et les communautés dans les zones mal desservies.

Le WiFi est une technologie d'accès de dernier kilomètre à la fois très populaire et rentable. Non seulement la technologie fonctionne dans des bandes de fréquences autorisant une exploitation non soumise à licence (ce qui réduit le coût des déploiements et de l'exploitation), mais de nombreux appareils sont aussi compatibles WiFi (téléphones, ordinateurs portables, etc.) et sont donc directement en mesure de se connecter à des points d'accès WiFi. Un trait commun aux réseaux du dernier kilomètre est la connexion au réseau de raccordement depuis un point d'accès dans la localité via une liaison par fibre.

Le WiFi fonctionne sur des fréquences sans licence et ne nécessite donc pas l'obtention d'une licence si l'administration a rendu le spectre exempt de licence. Un spectre sans licence permet aux utilisateurs d'utiliser toutes les technologies à des fins professionnelles ou de loisirs dans la bande (par exemple LTE-U, MulteFire, NR-U, ZIGBEE, Bluetooth, jouets télécommandés, clavier/souris sans fil). L'exemption de licence ne signifie pas, cependant, qu'il n'y a pas de réglementation. Certaines administrations peuvent imposer des réglementations supplémentaires (intérieur/extérieur, point à point, puissance d'émission limitée). Au vu de la généralisation de l'utilisation du WiFi, une multitude de routeurs abordables de qualité grand public sont aujourd'hui disponibles.

La technologie est prise en charge dans diverses bandes de fréquences ne faisant pas l'objet d'une licence³⁹: 2,4 GHz et 5 GHz⁴⁰. Les fréquences concernées donnent au WiFi une portée théorique de plusieurs centaines de mètres pour les points d'accès locaux, de plusieurs dizaines de kilomètres pour les systèmes radioélectriques point à point et point à multipoint - compte tenu et sous réserve d'exceptions réglementaires et de la densité des appareils WiFi et autres dans la même bande sans licence. La qualité d'une connexion WiFi peut donc varier fortement, car elle est sujette aux interférences. La portée est également très limitée: pour un seul routeur WiFi moyen, elle est de plusieurs ordres de grandeur inférieure à celle d'une station cellulaire.

Le WiFi est une norme qui évolue et qui a connu plusieurs itérations au fil des ans, chacune d'elles ayant apporté des améliorations en termes de débit de données maximal. Les normes 802.11 (a), (b) et (g) initiales, par exemple, qui ont été déployées entre 1997 et 2003, affichaient des débits allant de 2 à 54 Mbit/s. La norme suivante, 802.11n, offrait un débit de données maximal de 600 Mbit/s - soit plus de dix fois plus rapide. La dernière norme 802.11ax, sortie en 2020 et surnommée WiFi 6, se distingue non seulement par un débit encore plus important

³⁹ Les bandes sans licence ne sont pas exclusives, mais plutôt partagées avec d'autres services primaires/secondaires, et encouragent une utilisation opportuniste du spectre.

⁴⁰ Dans certaines régions, comme les États-Unis, la bande 6 GHz est affectée à la technologie WiFi 6.

(de 6 900 Mbit/s pour 802.11ac à 9 600 Mbit/s pour 802.11x), mais aussi par son utilisation de la bande de fréquences 6 GHz aux côtés des bandes 2,4 GHz et 5 GHz (voir le Tableau 21).

Tableau 20. Comparaison des différentes générations de technologies WiFi

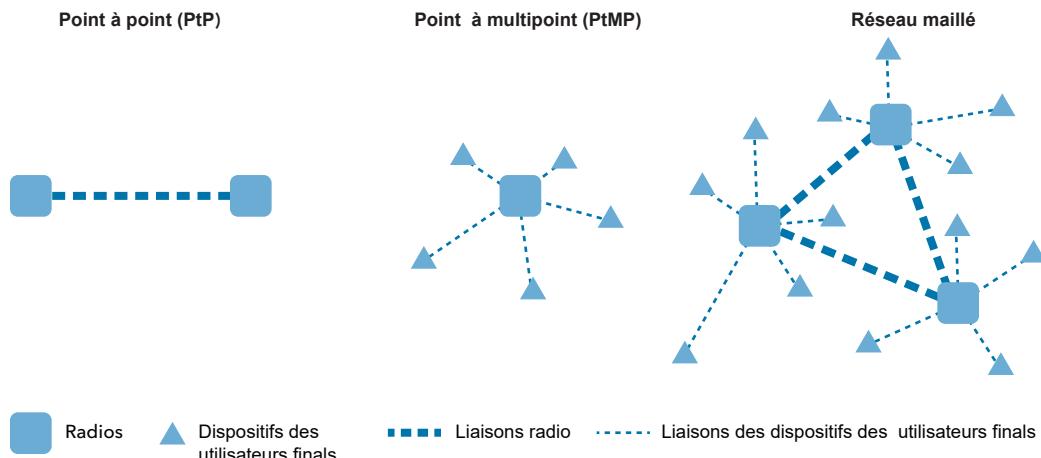
Protocole IEEE 802.11 version	Année de déploiement	Bandes de fréquences, GHz	Débit de données maximum (Mbit/s)
802.11ax ("WiFi 6")	2020	2,4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	9 600 Mbit/s
802.11ac	2014	5 GHz	6 900 Mbit/s
802.11n	2009	2,4 GHz et 5 GHz	600 Mbit/s
802.11 (a), (b), (g)	1997 - 2003	2,4 GHz et 5 GHz	2 Mbit/s à 54 Mbit/s

L'un des avantages du WiFi est qu'il présente à la fois un faible coût par appareil, une absence de coûts d'utilisation du spectre, des technologies et du matériel modulaires et un écosystème mature avec de nombreux fournisseurs. En conséquence, les conceptions de réseau topographique des déploiements sont très larges, car elles peuvent exploiter des points d'accès maillés ensemble via des liaisons point à point et point à multipoint.

Certaines des typologies de réseau pour le WiFi incluent Tree, où tout le trafic est agrégé de manière hiérarchique vers le haut; Ring, où chaque nœud est connecté à deux autres nœuds; Meshed, où chaque nœud est connecté à plusieurs nœuds pour la redondance; et Star, où chaque nœud se connecte à un nœud central (voir la Figure 24).

La polyvalence du WiFi, combinée à son faible coût et à sa facilité de déploiement, en fait une option attrayante pour les localités où l'expertise peut être limitée et où les utilisateurs sont censés effectuer eux-mêmes une partie de l'entretien de base du réseau. Le WiFi fonctionne également bien avec d'autres technologies en tant que dernière couche reliant, par exemple, la technologie fibre ou hyperfréquences aux dispositifs des utilisateurs finals.

Figure 24. Exemples de topologies de réseau WiFi*



* D'autres topologies de réseau peuvent être consultées à l'adresse <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/network-and-topology>.

Encadré 3. Étude de cas: réseau d'accès WiFi (Inde)

En Inde, Bluetown a déclaré fonctionner en tant que fournisseur de services de points d'accès gérés pour les zones rurales en partenariat avec BSNL à Jharkhand, un État de l'est de l'Inde. Grâce au raccordement de BSNL, Bluetown déclare fournir des points d'accès WiFi dans les zones rurales dans plus de 782 sites éloignés de Jharkhand dans le cadre d'une mise à niveau du service dans des endroits qui ne disposaient auparavant que d'un accès 2G.

Le modèle commercial se fonde en partie sur la recommandation de l'Autorité de régulation des télécommunications de l'Inde pour un modèle non réglementé, dans lequel un agrégateur (Public Data Office Aggregator) peut fournir une infrastructure WiFi du dernier kilomètre et où les petits entrepreneurs mettent en place des bureaux de données publics dans les zones locales pour fournir un accès aux clients. Le Public Data Office Aggregator permettra à plusieurs bureaux de données publics de fournir des services WiFi publics, sans qu'il soit nécessaire de détenir une licence de télécommunication, car ils travailleront principalement en tant que revendeurs pour les fournisseurs de services Internet.

Le large bande dans ces zones rurales est fourni par un prestataire de services de points d'accès gérés (MHSP) qui, en partenariat avec les télécommunications/fournisseurs de services Internet, installe des équipements qui seront gérés par un entrepreneur au niveau du village (Village Level Entrepreneur, VLE). Le VLE, en tant que franchisé du MHSP, sert de point de contact unique pour tous les produits et services liés au large bande. Il reçoit une formation de base du MHSP pour l'entretien régulier et l'exploitation de l'infrastructure des points d'accès et fournit le WiFi pour permettre aux villageois d'accéder aux services d'assistance à large bande. Il est également en charge de la maîtrise des outils numériques et des services d'assistance à large bande (tels que les services de gouvernance électronique) au sein de la population rurale. Le VLE utilisera l'infrastructure WiFi pour générer des recettes grâce à d'autres activités (telles que la recharge mobile, la billetterie ferroviaire, l'obtention des prix du marché des récoltes et l'aide aux transactions commerciales, les services bancaires en ligne dans les zones rurales, la facilitation des soins médicaux dans les centres de santé urbains, etc.

TOUT SUR LE PYLÔNE

Opérateurs de télécommunication/ BharatNet (nœud NOFN)/satellite

Sans licence Hyper-fréquences Raccordement

Antennes équidirectives

Filtre

Point d'accès

Contrôleur de point d'accès + AAA + unité d'alimentation + batterie + serveur de contenus (nuage local)

Panneau solaire

Pylône/poteau/structure sans fil dans une zone rurale (5-15 m)

Actuellement, Bluetown propose les offres suivantes:

Offres prépayées	Téléchargement offert (en Go)	Période de validité	Montant (INR)	Montant (approx. USD)
OFFRE 1	30	28 jours	69	1
OFFRE 2	7	7 jours	39	0,5
OFFRE 3	2	2 jours	19	0,25

Coût par Go: le coût moyen de la connectivité large bande est de USD 1 pour 30 Go, soit USD 0,03 par Go

Source: contribution directe de Satya N. Gupta (Bluetown Inde)
 Voir également <http://saamcorpadvisors.com/assets/convertin...-through-rural-WiFi-hotspots.pdf>

2.6.2 Mobile

Les technologies mobiles ont été rapidement adoptées par des milliards de personnes dans le monde et le "miracle du mobile" s'est étendu à travers l'Afrique et l'Asie. Aujourd'hui, on recense plus de 5 milliards d'utilisateurs cellulaires mobiles, ce qui fait du mobile cellulaire l'une des technologies numériques les plus adoptées, pour ne pas dire la technologie numérique la plus adoptée, dans le monde. La grande majorité de la population mondiale continuera de se connecter à l'Internet via les technologies mobiles.

Cellulaire fait référence aux générations de technologies adoptées grâce aux téléphones mobiles. La technologie cellulaire mobile implique un écosystème mature avec de nombreux fournisseurs d'appareils, des technologies et du matériel modulaires ainsi que des zones de couverture plus grandes (puissance de sortie plus élevée) par rapport à la technologie WiFi. Elle utilise diverses bandes sous licence qui sont réservées aux services mobiles et attribuées aux opérateurs de téléphonie mobile, généralement par le biais d'enchères, de "concours de beauté" et/ou de décision administrative. Un seul pylône peut couvrir une large zone s'étendant sur des dizaines de kilomètres, mais il est également sujet à des interférences et à d'autres contraintes techniques.

L'un des avantages de la technologie cellulaire mobile est son caractère abordable et la grande disponibilité des dispositifs d'accès que sont les téléphones mobiles. La technologie a évolué au fil des générations, chaque itération portant des améliorations en termes de qualité de service. La première génération de technologie cellulaire (1G) était purement analogique et ne permettait que les communications vocales. Avec l'introduction des technologies 2G (GSM, CDMA, TDMA), les utilisateurs finals ont eu accès à la messagerie fondée sur les données (sous forme de SMS) avec des taux de téléchargement ascendant et descendant de pointe à 14,4 Kbit/s (voir le Tableau 21 pour une comparaison des caractéristiques des différentes générations de technologies cellulaires).

Tableau 21. Comparaison des différentes générations de technologies cellulaires*

Génération	Description	Technologies	Débit de téléchargement de données (descendant)	Débit de téléchargement de données (ascendant)
5G	Débits de données très élevés, retards très faibles (latence)	IMT-2020: évaluation des technologies en cours	20 Gbit/s	10 Gbit/s
4G (LTE Advanced, Wi-Max Advanced)	Évolution du large bande pour les données mobiles, débit élevé, basé sur IP	IMT-Advanced: LTE Advanced, Wi-Max Advanced	1 Gbit/s	500 Mbit/s
3G	Voix et données (vidéo et navigation Internet)	IMT-2000: UMTS, W-CDMA, EV-DO, HSPA, HSPA+, DC-HSDPA, WiMAX	384 Kbit/s à 42 Mbit/s	63 Kbit/s to 22 Mbit/s
2G	Voix et données (SMS); numérique	GSM, CDMA, TDMA	14,4 Kbit/s	14.4 Kbit/s
1G	Signaux radio analogiques, voix seulement (pas de SMS)	NMTS, AMPS, TACS	n/a	n/a

Sources: diverses

* Les débits se fondent sur les valeurs maximales des normes techniques

À compter de la généralisation de la troisième génération (3G-3.5G, englobant UMTS, W-CDMA, EV-DO, HSPA, HSPA+, DC-HSDPA), la technologie cellulaire mobile a été conçue entièrement pour s'adapter à une utilisation basée sur les données, incluant les applications de streaming vidéo et la navigation sur l'Internet. Cette génération de technologies présentait des taux de téléchargement de pointe (descendant) pouvant atteindre 42 Mbit/s, avec des taux de téléchargement de pointe (ascendant) de 22 Mbit/s. Les données sont le marché de demain et les améliorations des technologies cellulaires ont rendu possible la révolution des smartphones et autres dispositifs constamment connectés.

La relation entre l'évolution des technologies cellulaires et l'évolution des modèles d'utilisation basés sur les données était également inversée. Avec l'introduction de la 4G (IMT-Advanced: LTE Advanced, Wi-Max Advanced), la technologie cellulaire a définitivement placé les données et le protocole Internet au centre du nouveau paradigme. La 4G peut être décrite comme une "évolution du large bande pour les données mobiles" offrant des débits bien supérieurs à ceux de la génération précédente, avec une option de transition des services traditionnels (tels que la voix) vers une plate-forme IP (Voice over LTE ou VoLTE).

Une analyse de la zone de couverture fournit des informations importantes sur la pertinence des spécificités du déploiement au regard du niveau final de performance du réseau. Les zones

de couverture des différents déploiements de technologies cellulaires sont affectées par un large éventail de facteurs, y compris la bande de fréquences (voir le Tableau 22), la hauteur du pylône radioélectrique, la puissance/amplification électrique des signaux radioélectriques (sur les dispositifs émission et réception) et les conditions environnementales (telles que la pression atmosphérique et l'humidité).

Ainsi, selon la GSMA, les zones de couverture des déploiements en zones rurales diffèrent en fonction de la hauteur du pylône, tous les autres facteurs étant constants par ailleurs⁴¹: un pylône de 30 mètres de haut peut couvrir une zone importante (de 8 à 15 km), alors que les pylônes dont la hauteur est comprise entre 12 et 30 mètres ne couvrent qu'une surface de 4 à 8 km. Des solutions ciblées avec des hauteurs de pylônes comprises entre 9 et 19 mètres peuvent, quant à elles, transmettre des signaux sur 2 à 4 km. Les solutions innovantes à spectre ultra-large actuellement en cours de développement, telles que les plates-formes à haute altitude (HAPS), qui peuvent être utilisées à la fois pour le raccordement et l'accès au dernier kilomètre, permettent même d'atteindre des zones de couverture allant de 500 à 2 000 km⁴².

Les chiffres de performance de pointe indiqués pour chaque technologie cellulaire dans le Tableau 21 doivent par conséquent être interprétés tout en gardant à l'esprit que les performances réelles peuvent différer des limites techniques supérieures de la technologie. Pour comparer les avantages et les inconvénients d'une technologie cellulaire donnée dans le cadre d'un déploiement, il est essentiel de bien comprendre les caractéristiques techniques et environnementales propres au réseau.

La technologie cellulaire du dernier kilomètre peut couvrir une large zone avec un seul pylône, mais elle peut aussi subir des brouillages et la qualité peut chuter avec la distance. Cela signifie que les utilisateurs finals équipés de smartphones ou d'autres dispositifs Internet mobiles peuvent avoir accès à la connectivité depuis n'importe quel endroit situé à portée du pylône - et ce, même en mouvement. Le principal inconvénient de cette technologie d'accès est son coût de mise en œuvre, et notamment le coût de l'infrastructure du pylône, avec des stations de base qui coûtent entre 20 000 et 100 000 USD. Le déploiement de réseaux cellulaires peut également être entravé par une topographie difficile, ce qui peut rendre excessivement coûteuse, voire totalement irréalisable, l'utilisation du cellulaire dans des zones éloignées ou sur des terrains difficiles. Une comparaison des déploiements de réseau selon diverses technologies nécessite des comparaisons de coûts globaux prenant en compte plusieurs facteurs, dont la zone de couverture totale, le nombre de stations de base de radiocommunication nécessaires et le système de raccordement. Les accords de partage des infrastructures entre les opérateurs MNO pourraient contribuer à réduire le coût d'extension et de densification de leurs réseaux.

⁴¹ Handforth, op. cit., note 3.

⁴² Google Loon est un exemple de station HAPS utilisée comme solution de couverture sur le dernier kilomètre pour communiquer directement avec les dispositifs.

Tableau 22. Zone de couverture maximale par radiofréquence (MHz) s'appuyant sur la technologie LTE*

Fréquence (MHz)	Rayon de cellule (km)	Zone de couverture (km ²)	Comptage relatif de cellules (par rapport aux caractéristiques 450 MHz)
450	48,9	7 521	1
850	29,4	2 712	2,8
950	26,9	2 269	3,3
1 800	14,0	618	12,2
1 900	13,3	553	13,6
2 500	10,0	312	24,1

Source: J. Bright, [LTE450](#) (Présentation de diapositives lors du LTE450 Global Seminar 2014) (Ovum, 2014)

* Il s'agit d'une comparaison théorique de la couverture des stations de base sur différentes largeurs de bande, sur la base d'un terrain plat, d'un amplificateur monté sur pylône avec un système radioélectrique placé à 60 mètres au-dessus du niveau du sol et sans interférence. La zone de couverture maximale peut être atteinte lorsque le critère principal est la propagation des ondes et non la charge de trafic.

Encadré 4. Déploiements de réseau cellulaire sur le dernier kilomètre (Africa Mobile Networks)

Africa Mobile Networks (AMN) est un exemple de déploiement cellulaire dans les zones rurales et éloignées pour étendre le service aux communautés faiblement peuplées. AMN est essentiellement un opérateur de connectivité en tant que service (voir 2.3.2 Modèles commerciaux) et œuvre en partenariat avec des opérateurs MNO tels qu'Orange et MTN sur le territoire africain. Il déploie l'infrastructure active et passive nécessaire à l'exploitation des réseaux mobiles pour le compte de ses partenaires MNO dans le cadre de modèles de partage des recettes et des dépenses d'exploitation (où l'opérateur paie à AMN une redevance fixe plutôt qu'une part des recettes). Il exploite actuellement environ 2000 sites au Cameroun, en République du Congo, en République démocratique du Congo, en Guinée Bissau, en Guinée, au Libéria, au Nigéria et en Zambie, avec des déploiements également prévus au Soudan et au Soudan du Sud en 2020.

AMN fournit un service commercial aux communautés éloignées avec une faible population sédentaire (500 à 5 000 habitants) et de faibles recettes moyennes par utilisateur (USD 1,20).

L'infrastructure type pour le déploiement de site se compose d'un pylône de 9,5 mètres, qui est une antenne monopôle plus, ou d'un pylône à treillis de 20 mètres, tous deux prenant en charge les équipements radioélectriques 2G, 3G et 4G. Tous les sites sont alimentés par l'énergie solaire et par batterie, avec des durées de fonctionnement de 99,8% ou plus sur toute l'année, et utilisent essentiellement des microstations pour le raccordement (certains utilisent un raccordement hyperfréquence).



Déploiements de petits sites AMN distants qui desservent généralement des populations d'environ 1 000 personnes. Les zones de couverture vont de 1,5 à 3 km pour le pylône de 12 mètres et de 3,5 à 7 km pour le pylône de 20 mètres, selon le terrain.

Source: Africa Mobile Networks, AMN Overview publié sur LinkedIn, janvier 2017
Sources complémentaires:

<http://www.africamobilenetworks.com/>
<https://media-exp1.licdn.com/dms/document/C4E1FAQF7O-xfEKuMvw/feedshare-document-pdf-analyzed/0?e=1592272800&v=beta&t=Za7bDiqlc1BtIC9GtXY8n5EdVfLHTkQNJV04ghA2-Jc>

2.6.3 Fibre optique

La technologie de la fibre optique transporte la grande majorité du trafic de données IP dans le monde, acheminant 99% du trafic Internet transfrontalier international via des câbles à fibre terrestres et sous-marins⁴³. Sur le marché du raccordement, le prix de la fibre par capacité est l'une des technologies de connectivité les plus rentables.

La fibre est aussi davantage utilisée dans les réseaux d'accès, car elle est de moins en moins chère et de moins en moins complexe à installer. Elle est généralement déployée directement dans les locaux ou dans une armoire située à proximité immédiate (où les réseaux existants à fils de cuivre ou sans fil sont utilisés pour transmettre sur le dernier tronçon).

⁴³ NEC, *Secrets of Submarine Cables – Transmitting 99 percent of all international data!*

La fibre présente plusieurs avantages: des hautes performances, une importante capacité de données et des faibles taux d'erreur de transmission. Cependant, elle reste une technologie d'accès relativement coûteuse. Même si les déploiements aériens permettent de réduire quelque peu le coût sur le dernier kilomètre, il n'en demeure pas moins que l'installation souterraine est une entreprise coûteuse, en particulier dans les zones dépourvues d'infrastructure passive existante.

Associée aux coûts de l'équipement de réseau actif nécessaire aux déploiements de la fibre, la technologie peut être d'un coût prohibitif pour certaines localités, ce qui réduit la rentabilité de la fibre. Sachant que le coût des travaux de génie civil pour les déploiements bénéficie grandement des économies d'échelle, la fibre est plus adaptée pour les zones densément peuplées où plusieurs utilisateurs peuvent être atteints en une seule phase de déploiement.

Les coûts de déploiement du réseau de raccordement varient fortement et sont principalement affectés par les travaux de génie civil et les coûts de conformité réglementaire. L'examen d'un programme du gouvernement des États-Unis en faveur du déploiement sur le dernier kilomètre, qui bénéficie de subventions publiques, a montré qu'il existait un large éventail de coûts moyens par kilomètre de fibre déployée, allant de 65 millions USD environ pour les 15 000 kilomètres de fibre les plus rentables à près de 820 millions USD pour les 15 000 kilomètres les moins rentables, ou 6 500 USD pour le kilomètre le plus rentable à 82 000 USD pour le kilomètre le moins rentable⁴⁴. Les estimations de la structure des coûts de déploiement de la fibre optique révèlent que 45% des opérations du réseau en moyenne sont directement liées aux coûts de déploiement (recouvrement des dépenses d'investissement), ce qui reflète leur nature à forte intensité de capital.

Les coûts de déploiement et les problèmes de coordination sont des obstacles majeurs à l'installation de câbles à fibres optiques, en particulier dans les zones rurales. Un moyen de surmonter ces obstacles est de se concentrer sur la fibre aérienne via le téléphone ou la fixation de poteaux électriques même si, dans certains cas, il peut être fastidieux d'obtenir l'approbation réglementaire ou les accords commerciaux requis. Dans certaines juridictions, des politiques peuvent être adoptées pour faciliter les déploiements de la fibre (par exemple, une politique favorisant la coordination des travaux d'excavation ("dig once"⁴⁵) ou les droits de passage⁴⁶, ou des statuts et ordonnances sur la fixation des poteaux selon la politique OTMR (one-touch make-ready⁴⁷)).

Cela étant dit, la fibre peut couvrir une vaste zone, car la technologie elle-même possède une portée de plusieurs centaines de kilomètres. Un autre avantage de la fibre est sa très grande capacité: un seul brin de fibre optique peut transporter suffisamment de bande passante pour répondre aux besoins de plusieurs utilisateurs. Étant donné que les câbles à fibre optique eux-mêmes (appelés fibre noire) sont une technologie passive, ils bénéficient des progrès des technologies de réseau actif, de sorte que le même câble peut être utilisé pour fournir un service toujours plus rapide à davantage d'utilisateurs.

⁴⁴ S. Wallsten et L. Gamboa, *Public Investment in Broadband Infrastructure: Lessons from the U.S. and Abroad* (Technology Policy Institute, juin 2017).

⁴⁵ Commission fédérale des communications, *Model Code for Municipalities. Federal Communications Commission Broadband Deployment Advisory Committee Model Code for Municipalities Working Group* (Projet 7/19/18).

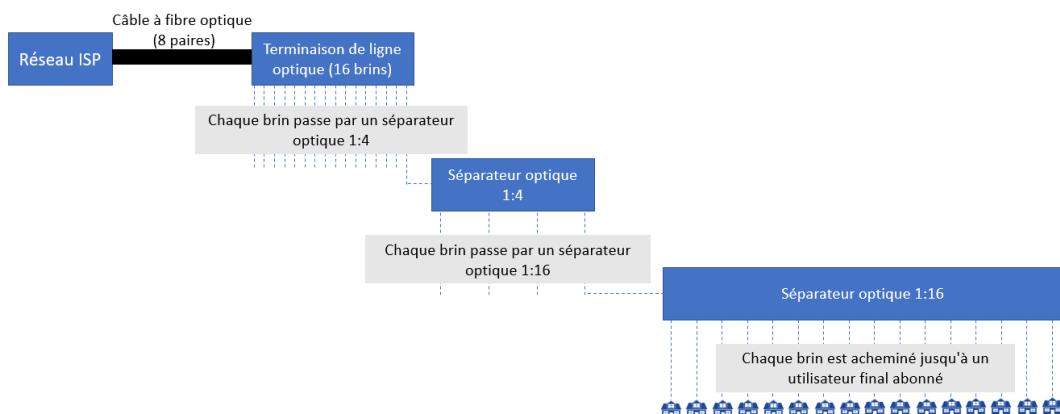
⁴⁶ OCDE, *Public Rights of Way for Fibre Deployment to the Home*, OECD Digital Economy Papers, No. 143 (OECD Publishing, Paris, 2008).

⁴⁷ Voir https://en.wikipedia.org/wiki/One_Touch_Make_Ready.

Avec le multiplexage par répartition en longueur d'onde, par exemple, la capacité de la fibre optique peut être continuellement améliorée en utilisant plusieurs fréquences lumineuses. La technologie du réseau optique passif, en particulier la version gigabit (GPON), est de plus en plus déployée pour permettre à la technologie à fibre optique d'atteindre les locaux de l'utilisateur final (domicile ou bureau) de manière plus abordable, car l'équipement de réseau actif ne s'étend qu'au commutateur central. Au lieu de déployer un équipement actif pour gérer chaque connexion avec l'utilisateur final, le réseau peut utiliser une série de dérivations optiques pour fournir de la bande passante entre le commutateur central et les différents locaux. En utilisant cette méthode, un seul câble à fibre optique avec huit brins appariés (pour un total de 16 brins de fibre optique) peut desservir jusqu'à 1 024 abonnés, ce qui facilite la réalisation des économies d'échelle nécessaires à la viabilité de l'entreprise et réduit les coûts d'accès pour les utilisateurs finals (voir la Figure 25).

La fibre peut devenir abordable, même pour les localités en développement, du fait des améliorations technologiques et des politiques qui atténuent le coût élevé des travaux de génie civil aux fins de son déploiement. Dans un certain nombre de marchés émergents, les fournisseurs de services Internet proposent un service fibre jusqu'au domicile (FTTH, fibre to the home) à des niveaux d'ARPU nettement inférieurs à ceux des économies développées, ce qui démontre l'accessibilité des services à haut débit. Parmi les exemples d'offres de services abordables et à haut débit proposés par les fournisseurs d'accès Internet des marchés émergents, citons celle de Viet Nam Post and Telecommunications Group, la société nationale de télécommunications et des poste détenue par l'Etat, qui offre des services "fibres dans la boucle" (FITL, fibre in the loop) avec un ARPU mensuel de seulement 8,70 USD⁴⁸. Dans le même temps, WorldLink au Népal, le plus grand fournisseur de services Internet et de réseau du pays, affiche un ARPU mensuel de 10 USD pour les services FITL⁴⁹.

Figure 25. Comment un réseau optique passif 16 brins peut-il desservir 1 024 abonnés?



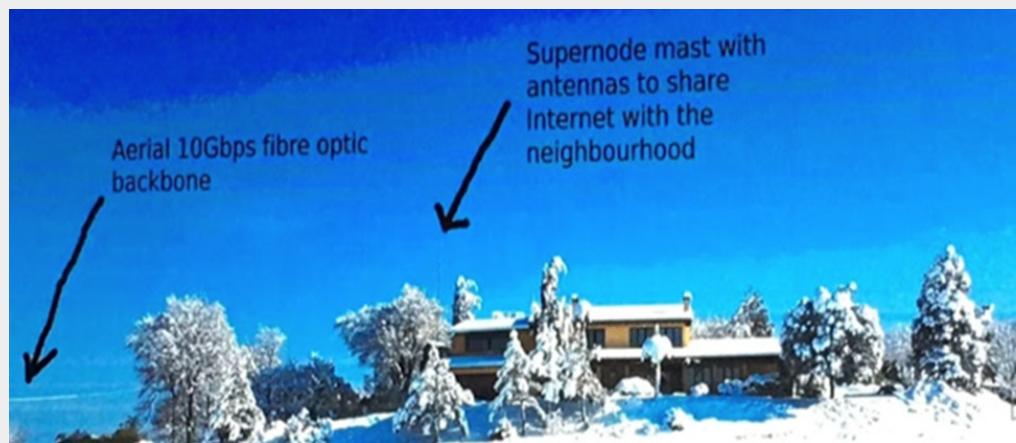
Source: adapté de J. Brewer et al., note 53

⁴⁸ J. Brewer et al., *From Analog to Digital - Philippine Policy and Emerging Internet Technologies* (The Asia Foundation, octobre 2018).

⁴⁹ Entretiens directs avec les fournisseurs de services Internet par [Connectivity Capital](#), un fonds d'investissement d'impact et un fournisseur de capital de dette.

Encadré 5. Déploiements de la fibre optique dans les communautés rurales (Espagne)

Guifi.net est un réseau de télécommunications en libre accès, basé sur un modèle "commons", qui a été lancé en 2004 dans le comté d'Osona en Catalogne (Espagne) pour remédier à l'absence de large bande dans les zones rurales alors que les opérateurs traditionnels se montraient peu intéressés à fournir des services dans ces zones. Guifi.net compte à ce jour plus de 30 000 nœuds actifs opérant sur 68 000 km de liaisons (fibre et sans fil). En 2009, le réseau a commencé à déployer la fibre optique dans les zones rurales dans le cadre de l'initiative Fiber From the Farms Broadband. Le réseau pourrait diminuer le coût de déploiement de la fibre par kilomètre grâce à la participation active de la communauté.



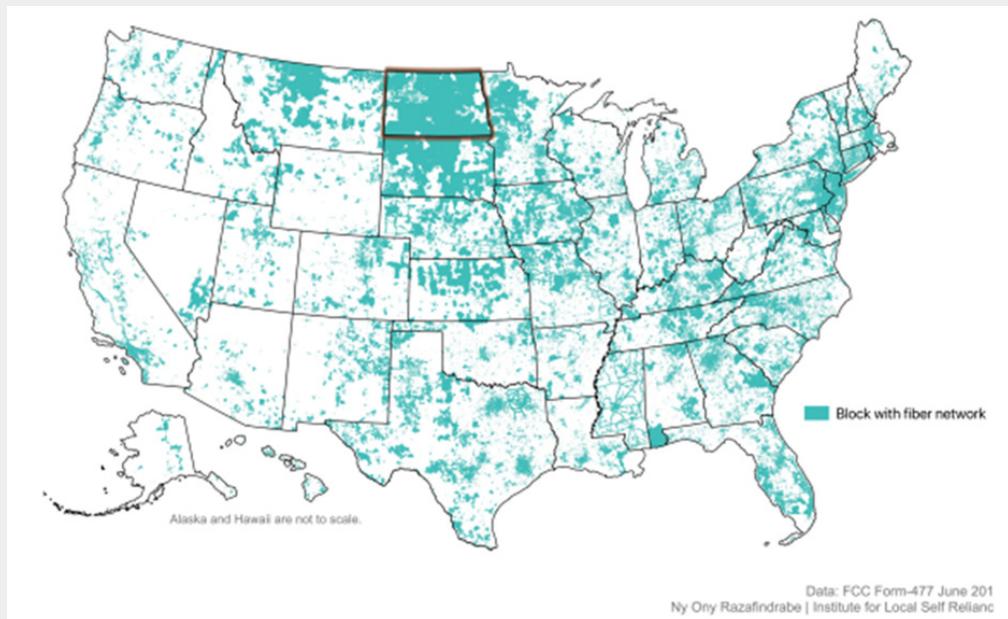
Exemples de déploiement de la fibre optique aérienne Guifi.net

Source: Présentation de Ramon Roca, 14 novembre 2019

Ressources complémentaires: <https://guifi.net/> et <https://en.wikipedia.org/wiki/Guifi.net>

Encadré 6. Déploiements de la fibre optique dans les communautés rurales (États-Unis)

Aux États-Unis, les réseaux de coopération municipaux et ruraux de l'État du Dakota du Nord ont fait figure de pionniers en matière de déploiement de réseaux de fibre optique dans les collectivités des régions rurales et éloignées. Leurs efforts ont été en partie motivés par la coopération entre les petits centraux téléphoniques ruraux et par la mobilisation de fonds fédéraux pour investir dans l'infrastructure à large bande. Aujourd'hui, plus de 75% de la population rurale de l'État a accès à la fibre (contre seulement 20% des résidents ruraux à l'échelle du pays) et plus de 80% de l'État est couvert par des réseaux à fibre.



Accès aux réseaux à fibre par îlot de recensement (juin 2019) (le Dakota du Nord est délimité)

Source: K. Kienbaum et al., *How Local Providers Built the Nation's Best Internet Access in Rural North Dakota* (Institute for Local Self-reliance, mai 2020)

2.6.4 Satellite

Les techniques satellitaires sont des techniques éprouvées et de plus en plus utilisées pour la communication de données sur Internet. On recense aujourd'hui plus de 775 satellites de communication en orbite autour de la planète, et la technologie est particulièrement utile pour atteindre les régions suburbaines, rurales, éloignées et ultra-éloignées des zones géographiques qui sont hors de portée d'autres infrastructures de communication⁵⁰.

La connectivité par satellite est utilisée pour toute une série de scénarios de déploiement différents afin de prendre en charge la connectivité sur le dernier kilomètre, par exemple pour

⁵⁰ UIT/UNESCO Commission Le large bande au service du développement durable, *La situation du large bande en 2015 Le large bande, fondement du développement durable* (Genève, 2019).

fournir des liaisons de raccordement mobiles, le WiFi et la connexion directe à large bande par satellite. Les satellites sont généralement regroupés en trois catégories différentes: orbite terrestre géosynchrone (GEO, *geosynchronous earth orbit*), orbite terrestre moyenne (MEO, *medium earth orbit*) et orbite terrestre basse (LEO, *low earth orbit*) (voir le Tableau 23 pour une comparaison des caractéristiques GEO, MEO et LEO).

Les satellites GEO se trouvent le plus haut dans l'atmosphère, à une altitude de 35 786 km, dans une position fixe par rapport à un point au sol. Leur hauteur signifie que les données transmises vers et depuis le satellite ont une latence relativement élevée, avec une latence aller-retour moyenne de 477 ms. Compte tenu de leur positionnement, seuls quelques satellites GEO peuvent suffire pour couvrir le globe entier, trois satellites étant suffisants pour avoir une empreinte presque partout. Avec d'importants faisceaux de satellites de haute capacité, les satellites en orbite terrestre géosynchrone à haut débit (HTS) et à très haut débit (VHTS) peuvent atteindre des débits de données allant jusqu'à 1 téribit par seconde⁵¹. Ce sont les satellites qui sont les plus coûteux à déployer (de 100 à 400 millions USD par satellite). Leur coût est en partie compensé par leur longue durée de vie effective, chaque satellite étant susceptible de fonctionner sur une durée de 15 à 20 ans.

Les satellites MEO sont positionnés entre les satellites LEO et GEO, à 2 000 km au-dessus du sol. La latence s'en trouve considérablement améliorée et la latence aller-retour vers les satellites MEO les plus proches totalise environ 27 ms. Un inconvénient est que, compte tenu de leur hauteur plus basse, davantage de satellites seront nécessaires pour avoir une empreinte globale, soit entre 5 et 30 satellites en fonction de leur altitude. Les satellites MEO coûtent entre 80 et 100 millions USD pièce et ont une durée de vie effective comprise entre 10 et 15 ans.

Les satellites LEO sont une catégorie émergente de satellites dont la promesse est de fournir aux utilisateurs un service avec une très faible latence, comparable à celle des technologies terrestres. Positionnés à seulement 160 km au-dessus du sol, les satellites LEO peuvent avoir une latence aller-retour aussi faible que 2 ms et fournir un débit allant jusqu'à 70 Gbit/s par satellite⁵². Les satellites LEO coûtent moins cher que les satellites GEO et MEO - entre 45 millions USD et 50 000 USD chacun - mais le coût total d'une constellation de satellites LEO peut en revanche être considérable, car des centaines voire des milliers de satellites seront parfois nécessaires pour fournir une couverture globale compte tenu des faisceaux plus petits. Il faudra peut-être aussi tenir compte de paramètres supplémentaires, tels que les coûts des terminaux et des passerelles, et les satellites peuvent également avoir une durée de vie relativement courte, soit entre 5 et 10 ans seulement pour chaque satellite. Les satellites LEO constituent une technologie prometteuse pour les applications qui ne nécessitent qu'un très faible temps de latence et la fourniture de services dans des zones sans infrastructure existante.

⁵¹ Viasat, [Going Global](#).

⁵² E. Ralph, [SpaceX says upgraded Starlink satellites have better bandwidth, beams, and more](#) (blog post, Teslarati, 12 novembre 2019).

Tableau 23. Caractéristiques des satellites GEO, MEO et LEO

Catégorie de satellite	Altitude	Période orbitale	Latence (aller-retour)	Nombre de satellites pour couvrir le globe	Coût par satellite	Durée de vie effective du satellite
GEO	35 786 km	24 heures	approx. 477 ms	3*	approx. 100 à 400 millions USD	15 à 20 ans
MEO	2 000 à 35 786 km**	127 minutes à 24 heures	approx. 27 à 477 ms	5 à 30 (selon l'altitude)	approx. 80 à 100 millions USD	10 à 15 ans
LEO	160 à 2 000 km	88 minutes à 127 minutes	approx. 2 à 27 ms	Plusieurs centaines ou milliers (selon l'altitude)	approx. 500 000 à 45 millions USD	5 à 10 ans

Source: divers auteurs (voir Annexe 2)

* Cela exclut les zones de haute altitude, c'est-à-dire au-dessus des cercles polaires.

** En théorie; en pratique 5 000 à 20 000 km.

L'utilisation des satellites nécessite d'accéder à des ressources de spectre sous licence, dans la mesure où les technologies satellitaires fonctionnent dans des bandes de fréquences qui leur sont spécifiquement attribuées. Le plus gros avantage des satellites est leur très large zone de couverture, avec un service disponible partout où il y a une visibilité directe entre le satellite et la station située n'importe où dans l'empreinte du satellite. La connectivité satellitaire offre une couverture mondiale, incluant les zones suburbaines, rurales et isolées. Les solutions hybrides et l'accès direct au large bande par satellite ne sont cependant pas répandus sur tous les continents, car ces solutions restent relativement méconnues. Certains continents sont déjà relativement avancés, tandis que d'autres sont encore en cours de développement.

Concernant l'accès sur le dernier kilomètre, les microstations sont relativement peu coûteuses pour les locaux de l'utilisateur final, en particulier dans les situations où les réglementations favorables au déploiement n'imposent pas d'obstacles réglementaires tels que des frais de licence élevés pour le service par satellite ou des droits d'importation sur l'équipement⁵³. Cependant, le prix du large bande par satellite peut être plus élevé par rapport aux autres alternatives, et la disponibilité du large bande peut être beaucoup plus limitée, en particulier par rapport à la fibre. Les satellites eux-mêmes sont très coûteux et les nouveaux déploiements de réseaux satellitaires nécessitent des investissements conséquents, notamment pour le satellite, son lancement et la station au sol.

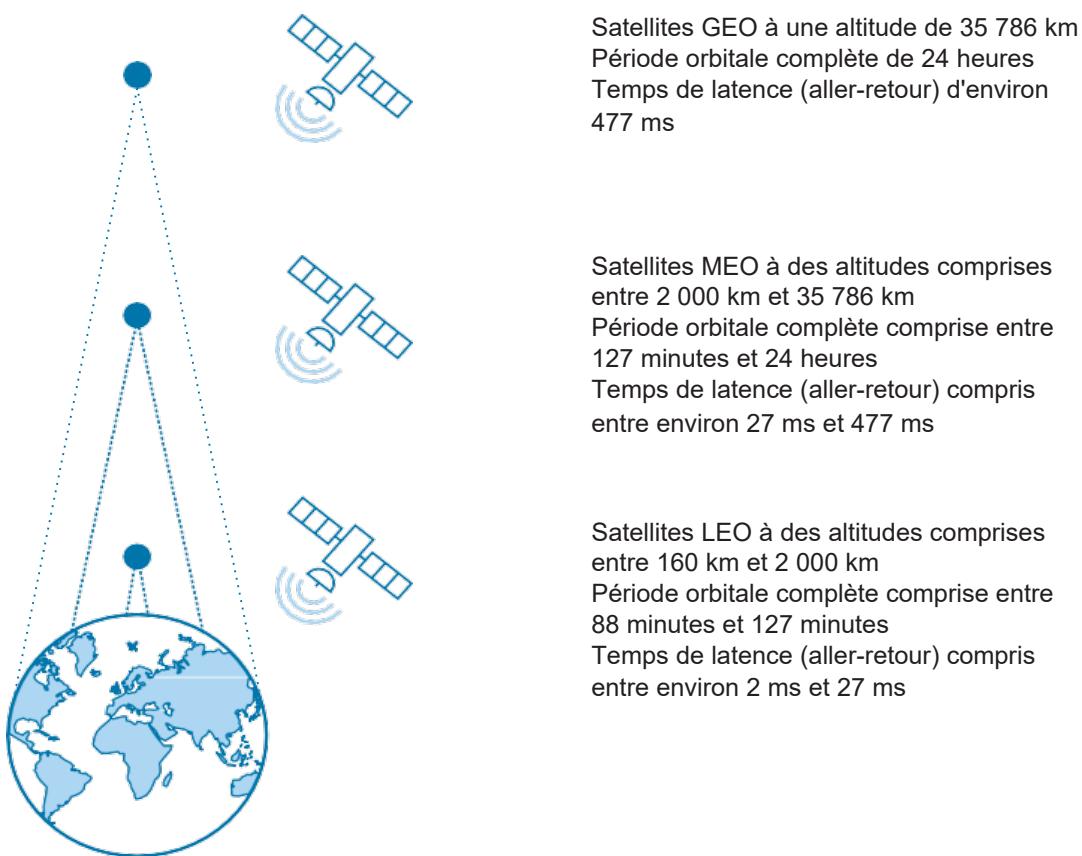
Compte tenu des investissements financiers importants qui sont en jeu, les projets impliquant la construction et le lancement de satellites sont généralement entrepris par des opérateurs de satellites privés. Certains pays trouveront peut-être rentable d'utiliser cette capacité existante, tandis que d'autres trouveront plus économique d'utiliser la capacité satellitaire locale pour

⁵³ Les licences globales et les redevances d'importation proportionnelles pour les fournisseurs de services Internet par satellite sont la politique qui favorise le plus l'accessibilité du service.

combler la fracture numérique. Les coûts de production et de lancement des satellites, toutes catégories confondues, continuent de baisser.

Du fait de l'amélioration des techniques par satellite, les débits de données augmentent avec les satellites GEO (HTS) de nouvelle génération, les nouveaux satellites MEO et les nouveaux déploiements de LEO. Les satellites LEO présentent l'avantage d'avoir une latence plus faible, même si les déploiements ont montré que la latence GEO était acceptable pour les appels VoIP et vidéo et que la latence MEO était correcte pour les déploiements MNO 4G. La Figure 26 illustre les différences entre les constellations de satellites GEO, MEO et LEO.

Figure 26. Comparaison des caractéristiques des satellites GEO, MEO et LEO, incluant les zones de couverture*



* Non représentés ici: petits satellites, nanosatellites, satellites cubes dans la gamme de 50 à 500 kg généralement utilisés pour la collecte de données scientifiques et les faisceaux hertziens.

Le délai de latence affecte l'expérience utilisateur de différentes manières. Les satellites sont connus pour leurs latences plus élevées, mais certains déploiements concrets montrent que les latences GEO sont acceptables pour certaines applications large bande (dont le streaming, la voix et les appels vidéo), que les latences GEO et MEO peuvent prendre en charge les réseaux 4G/LTE, et que les latences LEO pourraient être encore plus basses.

La Figure 27 montre l'impact de la latence sur la performance et l'expérience dans différents domaines pour certaines applications grand public et industrielles. Pour certains, l'impact sur l'expérience utilisateur peut être important.

Figure 27. Impact de la latence sur des applications et services ciblés

Pour certaines applications, la latence a peu d'impact sur les performances ou l'expérience. Pour d'autres, l'impact sur l'expérience de l'utilisateur peut être important, voire rendre une application inutilisable. Voici quelques exemples d'applications industrielles et grand public:



Application	Sensibilité à la latence	Techniques d'atténuation	Support de transmission probable
Télévision	Faible	Certaines	
SCADA, et autres applications de télématique	Faible	Certaines	
Services de streaming	Faible	Un grand nombre	
Mises à jour par voie hertzienne	Faible	Certaines	
Navigation sur l'Internet	Moyenne	Un grand nombre, très efficaces	
Navigation sur l'Internet en mode privé	Moyenne	Peu	
Téléphonie et visioconférences	Moyenne	Peu	
Informatique en nuage et ERP	Moyenne à élevée	Certaines	
Transactions à haute fréquence	Extrême	Peu	
V2V et V2X	Dépend de l'application	Peu	
Connectivité en déplacement (dans les airs/en mer/en voiture/en train)	Dépend de l'application	Un grand nombre	
Internet des objets	Dépend de l'application	Très peu	

Source: EMEA Satellite Operators Association

2.7 Technologies de raccordement

Le raccordement du réseau d'accès sur le dernier kilomètre permet au réseau d'acquérir de la bande passante en amont aux fins de la distribution à ses clients. Pour ce faire, diverses technologies et accords commerciaux correspondants peuvent être utilisés, avec à chaque fois des caractéristiques propres qui déterminent leur adéquation à un contexte donné. Cette section fournit un bref aperçu des différentes technologies de raccordement ainsi qu'une comparaison de leurs avantages et inconvénients pour une utilisation dans différents contextes.

Les différentes technologies communément utilisées pour les réseaux d'accès sont également déployées pour des distances plus longues sur les réseaux du kilomètre intermédiaire et de raccordement. Alors que la majorité du trafic de données pour les liaisons terrestres sur les réseaux de raccordement transite par des liaisons hyperfréquences, d'autres technologies telles que la fibre, le satellite, les liaisons cellulaires et même le fil de cuivre continuent d'être utilisées aujourd'hui. Le cuivre est cependant en voie d'être supprimé et l'utilisation d'autres technologies sans fil et émergentes (telles que WiMAX et HAPS) est actuellement réservée à des situations particulières.

La technologie hyperfréquences représente la plus grande part du trafic de raccordement de Terre. Elle utilise des fréquences ultra-elevées ou plus élevées dans les liaisons de réseau radioélectrique sans fil haute capacité et haute puissance entre les pylônes qui connectent les réseaux d'accès du dernier kilomètre et le réseau central national. Ces liaisons, qui prennent généralement la forme de relais point à point nécessitant une topologie et/ou des pylônes pour fournir une ligne de vue directe entre les systèmes radioélectriques, peuvent coûter moins cher sur la distance que de déployer la fibre optique, en particulier dans les zones géographiques et les terrains où la topographie ou autres contraintes physiques (tels que les étendues d'eau)

entravent le déploiement de la fibre. Les liaisons hyperfréquences haute puissance peuvent couvrir plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres en un seul saut, et plusieurs sauts sont utilisés dans les transmissions de raccordement.

Les liaisons sans fil directionnelles fonctionnent généralement entre entités homologues, sont essentiellement utilisées comme une alternative filaire rentable pour la partie raccordement en vue de connecter les technologies du dernier kilomètre au réseau central, et sont généralement utilisées pour fournir des stations de base mobiles et des points d'accès WiFi ou pour répondre aux besoins de communication des entreprises et des écoles, qui, à leur tour, fournissent leur propre solution d'accès (Ethernet, WiFi, LTE).

La liaison de raccordement hyperfréquences a pour principal inconvénient de nécessiter une visibilité directe, laquelle peut être compliquée à obtenir sur relief montagneux et autres terrains difficiles. La nécessité d'un point de présence à proximité peut également constituer un facteur limitant: si aucune station hyperfréquences connectée par fibre optique n'est disponible à portée de vue, il faudra construire un relais hyperfréquences, ce qui viendra s'ajouter au coût de déploiement. L'utilisation de systèmes radioélectriques à hyperfréquences, en tant que technologie sans fil, est également soumise à la réglementation du spectre radioélectrique, qui peut différer selon la juridiction dans laquelle le réseau est situé.

Le réseau de raccordement à fibre, qui utilise des câbles à fibre optique pour fournir de la bande passante à un réseau, peut offrir une largeur de bande à haut débit de manière continue. La largeur de bande maximale autorisée qui peut être transmise par la fibre, sur la base d'une connectivité à la vitesse de la lumière, est continuellement mise à niveau, car l'équipement de réseau actif utilisé dans la transmission est déployé sans qu'il soit nécessaire de remplacer les câbles à fibre optique.

La fibre peut toutefois être difficile et coûteuse à déployer et elle est particulièrement difficile à utiliser sur des terrains complexes. Elle est donc idéalement adaptée aux zones urbaines denses avec des voies d'infrastructure existantes où, combiné avec des économies d'échelle, il est possible de mettre en œuvre un raccordement de fibre à faible coût. Ce raccordement fibre repose par ailleurs sur un point de présence disponible à proximité relative du réseau d'accès du dernier kilomètre, ce qui peut être compliqué dans les communautés éloignées ou isolées. Combinée aux demandes des communautés rurales portant sur des largeurs de bande relativement faibles, l'utilisation du raccordement de fibre pour les réseaux ruraux du dernier kilomètre n'est pas toujours rentable. Une fois ces obstacles levés, force est de constater cependant que la fibre est une solution indiquée dans le cas de déploiements ruraux et qu'elle constitue un bon moyen de garantir que l'infrastructure est en place pour répondre aux demandes croissantes d'une localité.

Le cellulaire est une autre technologie sans fil qui peut être utilisée pour le raccordement. En effet, la technologie cellulaire s'appuie sur les fréquences des données mobiles pour fournir de la bande passante au réseau. Le réseau se connecte à une station de base cellulaire, qui, à son tour, tire sa bande passante de la fibre ou des hyperfréquences. Selon le contexte et la technologie mobile concernée, le cellulaire peut être omniprésent et fournir des vitesses adaptées pour la redistribution en utilisant un réseau du dernier kilomètre, bien que la largeur de bande totale puisse être limitée, en particulier par rapport à la fibre.

À l'instar des liaisons hyperfréquences, le cellulaire permet d'accéder plus facilement au large bande dans des endroits où la fibre semble peu économique voire difficile à déployer.

Mais contrairement aux liaisons hyperfréquences, le cellulaire ne nécessite pas d'avoir une visibilité directe pour établir une connexion. Cela étant, les liaisons hyperfréquences peuvent avoir une portée efficace sur une plus longue distance que le cellulaire, ce qui conduit au principal problème lié à l'utilisation du cellulaire en tant que raccordement, à savoir le besoin de proximité d'une station de base cellulaire. Là où les liaisons hyperfréquences peuvent être utilisées sur de plus longues distances pour connecter y compris des communautés isolées, la disponibilité du raccordement cellulaire est quant à elle limitée à la portée du pylône de téléphonie cellulaire le plus proche, qui, pour des raisons de coût, est peu susceptible d'être présente dans les zones à faible densité de population.

La mise en place d'un pylône cellulaire peut être d'un coût prohibitif, ce qui est peut-être l'une des principales raisons pour lesquelles les pylônes cellulaires ne sont généralement exploités que par de grands fournisseurs de services complets (voix, SMS et données). Compte tenu du coût de l'infrastructure du réseau cellulaire, estimé entre 200 000 et 250 000 USD par site, les opérateurs n'installeront un pylône que lorsque l'opération de déploiement se justifiera sur le plan économique⁵⁴. Malheureusement, ces cas ne se présentent généralement que dans les zones urbaines et périurbaines, et laissent de côté les communautés rurales et autres communautés éloignées ou isolées. Ainsi, le raccordement cellulaire peut être plus facile à utiliser que la fibre, mais son application est similaire dans la mesure où il est plus adapté pour les zones urbaines ou densément peuplées.

L'accès sans fil fixe est un système connexe qui utilise des technologies comme la 4G et la 5G pour fournir une connectivité avec une portée allant jusqu'à 10 km. Avec un débit pouvant atteindre entre 20 et 1 000 Mbit/s, l'accès sans fil fixe fournit des liaisons à haute capacité pour le raccordement avec des exigences d'infrastructure similaires à celles du cellulaire. Cependant, en raison de sa courte portée par rapport aux hyperfréquences, l'accès sans fil fixe nécessite plusieurs répéteurs pour couvrir une large zone. Il s'appuie également sur un réseau existant pour obtenir de la largeur de bande et limite son utilisation aux localités disposant d'un point de présence à proximité.

Dans les zones qui ne disposent pas d'un point de présence terrestre, le satellite est alors la seule technologie de raccordement possible. Le raccordement par satellite dépend de fournisseurs de largeur de bande par satellite pour connecter les communautés les plus éloignées. Selon le type exact de technologie utilisée, le raccordement par satellite peut être déployé rapidement sans qu'il soit nécessaire de construire l'infrastructure coûteuse et techniquement complexe requise pour les autres technologies de raccordement.

Les satellites, par rapport à d'autres technologies, présentent l'avantage de pouvoir être déployés facilement et rapidement. La qualité de service, en revanche, n'atteint pas le niveau de qualité de service des autres technologies telles que la fibre optique, notamment en termes de largeur de bande et de latence. En fonction de la technologie satellitaire spécifique et de la bande de fréquences utilisées, la qualité peut également se détériorer dans certaines conditions météorologiques. Les satellites constituent néanmoins une solution de raccordement efficace dans les zones où il n'y a pas d'autres options pour se procurer de la bande passante. Le plus grand défi lié à l'utilisation des satellites reste le coût. Cela étant dit, le coût de la largeur de bande satellitaire est en baisse, en particulier avec le lancement des satellites HTS GEO et des constellations LEO émergentes. Quand bien même ce coût reste comparativement plus élevé que les autres méthodes de raccordement, des économies sont réalisées grâce au fait

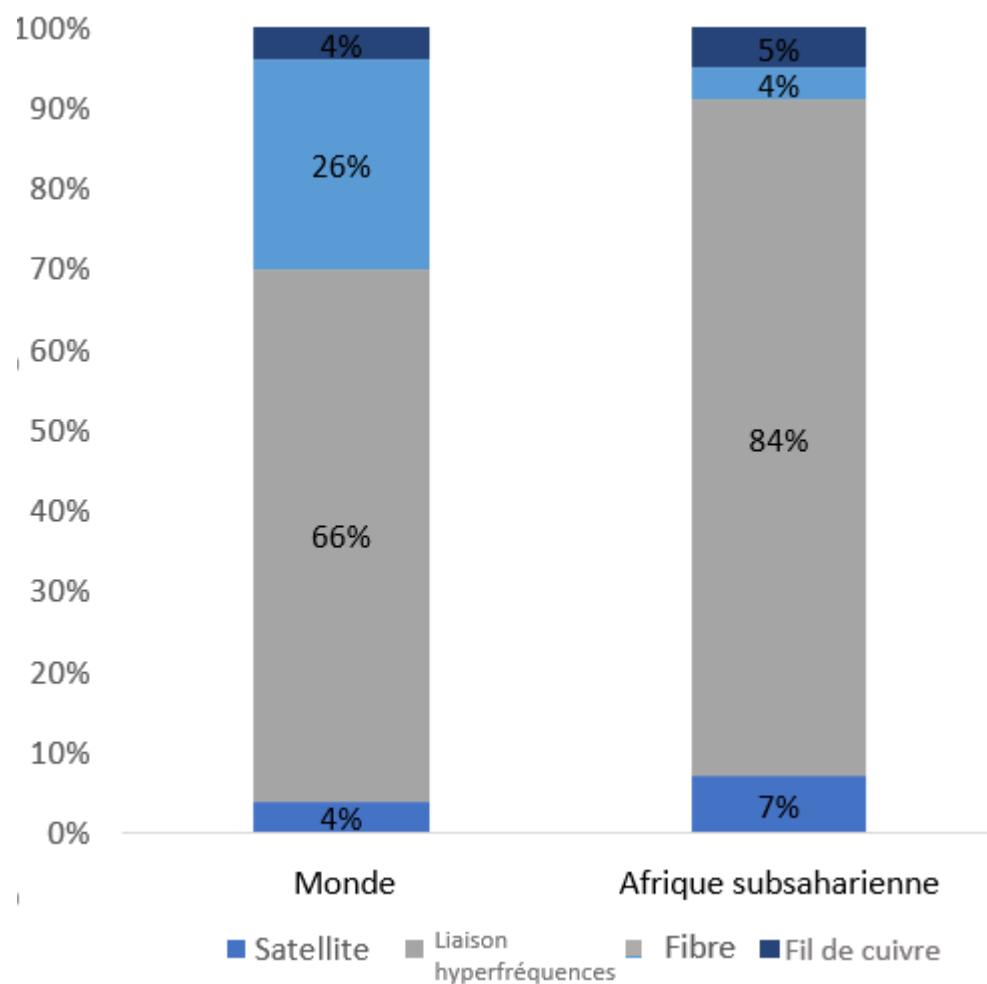
⁵⁴ GSMA, *Rural Coverage: Strategies for Sustainability (Country Case Studies)* (2015), p. 15.

qu'aucune infrastructure terrestre n'est nécessaire pour assurer la connectivité sur le dernier kilomètre.

La Figure 28, qui affiche les parts du trafic total de raccordement pour la voix et les données mobiles dans le monde et en Afrique subsaharienne en 2017, montre que la plupart des endroits dans le monde dépendent aujourd'hui des liaisons hyperfréquences pour les réseaux cellulaires, mais aussi de la fibre et du satellite. Il montre également que les systèmes satellitaires LEO et MEO (ainsi que HAPS) sont en cours de déploiement et peuvent offrir des alternatives convaincantes au raccordement hyperfréquences point à point, en raison de leur capacité à couvrir toutes les zones géographiques de manière rentable et de leur facilité de déploiement. De plus, les technologies par satellite ont récemment été utilisées pour déployer et mettre à niveau les réseaux mobiles terrestres, en passant de la 2G à la 3G et la 4G, souvent avec des liaisons terrestres fixes. De nombreux déploiements prometteurs ont été effectués sur divers continents, notamment dans des pays comme le Chili, Myanmar, la République démocratique du Congo et la Papouasie-Nouvelle-Guinée⁵⁵.

⁵⁵ Voir, par exemple, Intelsat, [Intelsat and AMN Bring Mobile Connectivity to 1,000th Site in Sub-Saharan Africa](#) (Intelsat Corporate Communications, 20 avril 2020) et HISPASAT, [HISPASAT proveerá enlaces satelitales en banda Ka para extender la Red Compartida de Altán en zonas remotas de México](#) (communiqué de presse, 4 juin 2020).

Figure 28. Raccordement pour la voix et les données mobiles selon la méthode, Monde et Afrique subsaharienne (2017)



Source: Handforth, note 3

Le Tableau 24 présente, sous forme de résumé, une comparaison des différentes technologies de raccordement et leurs caractéristiques.

Tableau 24. Comparaison des principales technologies de raccordement

Technologie de raccordement	Débit théorique/qualité de service	Portée	Dépenses en capital pour déployer le nouveau réseau	Dépenses de fonctionnement	Infrastructure requise	Possibilité de déploiements ruraux	Avantages	Inconvénients
Hyperfréquences	5 - 2000+ Mbit/s	Centaines de km	Faibles	Faibles	Équipement radioélectrique, pylônes/poteaux	Oui	Haute capacité; équipement de faible coût; déploiement de faible coût	Nécessité d'une visibilité directe, contraintes en matière de licences
Raccordement par satellite (GEO, MEO)	1 - 1 600 Mbit/s	Milliers de km	Moyennes à élevées	Moyennes à élevées	Satellites, stations terriennes pivot, stations terriennes distantes	Oui	Large couverture; facilité de déploiement; permet de surmonter les obstacles géographiques	Latence, coût
Fibre	100 - 1 000 Mbit/s	Centaines de km	Élevées	Moyennes	Câble à fibre optique installé sous terre ou en aérien via des poteaux	Peut-être	Vitesses très élevées, fiabilité, flexibilité (mises à jour)	Coût; délai de déploiement, portée géographique limitée

Source: adapté de sources diverses, dont Union européenne, Cisco, Huawei, UIT, Banque interaméricaine de développement, Banque mondiale et EMEA Satellite Operators Association (références techniques listées à l'Annexe 2)

2.8 Technologies d'accès émergentes

Diverses technologies émergentes, actuellement développées pour un usage commercial, visent à améliorer la couverture et la qualité de la connectivité. Ces technologies ont, dans certains cas, déjà été utilisées pour fournir un accès sur le dernier kilomètre à des régions éloignées afin de tester leur viabilité. Certaines d'entre elles, comme les satellites LEO et la fibre optique acheminée par des lignes de distribution aériennes de moyenne tension, sont de nouvelles versions ou des adaptations de la technologie existante, tandis que d'autres, comme la communication optique en espace libre et les stations placées sur une plate-forme à haute altitude (HAPS), sont des développements relativement récents.

Lors de l'examen des technologies émergentes pour un accès sur le dernier kilomètre, il est important d'examiner leur aptitude à un déploiement rural. Cela exclut l'utilisation de technologies telles que l'identification par radiofréquence, Bluetooth Low Energy et Light Fidelity, qui fonctionnent mieux sur de courtes distances et dans des zones densément peuplées. En l'absence d'un déploiement commercial à grande échelle, cependant, leur viabilité financière n'est pas remise en cause.

Les espaces blancs de télévision (TVWS) correspondent à une portion de spectre située dans une bande attribuée au service de radiodiffusion et utilisée pour la radiodiffusion télévisuelle, qui est identifiée par une administration comme étant disponible pour les communications hertziennes, à un moment donné et dans une zone géographique donnée, à condition de ne pas causer de brouillages et de ne pas exiger de protection vis-à-vis des autres services bénéficiant d'une priorité plus élevée au niveau national⁵⁶.

Il s'agit d'un exemple de technologie du dernier kilomètre qui tire parti de l'accès dynamique au spectre et fait une "utilisation opportuniste" du spectre, dans une zone donnée et à un moment donné, en particulier dans les fréquences qui ne sont pas utilisées par un service primaire (comme la radiodiffusion télévisuelle). Dans de tels cas, le spectre peut être utilisé de manière opportuniste par d'autres services. La technologie TVWS peut atteindre de longues distances et assurer une transmission au-delà de la ligne de visée malgré une topographie dense ou difficile. Cependant, les fréquences appropriées pour TVWS sont actuellement attribuées à la radiodiffusion télévisuelle, et toutes les juridictions n'ont pas encore adopté de règles concernant leur utilisation à des fins de fourniture de données. L'utilisation de ces espaces blancs est donc rendue juridiquement difficile de même que la résolution des problèmes critiques d'interférence, étant donné la portée d'une station TVWS. L'analyse de rentabilisation de cette technologie est également incertaine, sachant que les attributions de fréquence à long terme ne peuvent être garanties.

⁵⁶ UIT, *Présentation des systèmes de radiocommunication cognitifs dans le service mobile terrestre*, Rapport UIT-R M.2225 (2011), Série M: Services mobile, de radiopéage et d'amateur y compris les services par satellite associés.

Une autre technologie sans fil émergente, HAPS, fait actuellement appel à des ballons haute altitude ou à des drones autonomes hébergeant les équipements d'accès qui transmettent la connectivité jusqu'au sol. Les stations HAPS sont installées sur un objet placé à une altitude comprise entre 20 et 50 km et en un point spécifié, nominal, fixe par rapport à la Terre. Les systèmes utilisant la technologie HAPS sont composés d'une station HAPS et de stations au sol placées à la terminaison d'utilisateur final. La connectivité large bande HAPS pourrait fournir un accès Internet aux utilisateurs soit directement (par exemple, accès au domicile), soit en tant que raccordement vers un accès. Il pourrait s'agir d'une solution alternative dans les zones où le terrain difficile ou d'autres facteurs rendent difficile le déploiement d'une infrastructure traditionnelle.

Compte tenu de leur hauteur, les stations HAPS peuvent avoir une portée de plusieurs milliers de kilomètres et sont à même de fournir une connectivité jusqu'à dans les zones rurales reculées. La mise en œuvre de la technologie HAPS par Google, connue sous le nom de Projet Loon, a utilisé des équipements cellulaires pour fournir l'accès aux sites de test; les appareils mobiles et autres équipements utilisant la technologie ont ainsi pu accéder plus facilement à la connectivité⁵⁷. Sur la base de ces éléments et compte tenu de la facilité de déploiement de la technologie HAPS, il s'agit ici d'une option intéressante pour déployer une connectivité d'urgence lorsque cela est nécessaire.

Les satellites LEO, mentionnés ci-dessus, sont conçus pour fonctionner en réseau afin de fournir une couverture mondiale (incluant les calottes polaires, au-dessus de 67° de latitude). Les constellations de satellites LEO sont destinées à couvrir des parties du globe, permettant une connectivité 24 heures sur 24 avec des stations terriennes qui maintiennent une ligne de visée avec les satellites individuels.

⁵⁷ La réglementation mondiale des radiocommunications relative aux stations HAPS est en constante évolution. Voir, par exemple, les Règlements des radiocommunications suivants:

- N° 1.66A: Station placée sur une plate-forme à haute altitude: Station installée sur un objet placé à une altitude comprise entre 20 et 50 km et en un point spécifié, nominal, fixe par rapport à la Terre.
- N° 1.66: Station fixe: Station du service fixe.
- N° 4.23: Les émissions à destination ou en provenance de stations placées sur des plates-formes à haute altitude doivent être limitées aux bandes expressément identifiées dans l'Article 5.
- N° 5.388A: Dans les Régions 1 et 3, les bandes 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz et 2 110-2 170 MHz et, dans la Région 2, les bandes 1 885-1 980 MHz et 2 110-2 160 MHz peuvent être utilisées par des stations placées sur des plates-formes à haute altitude comme stations de base pour fournir des Télécommunications mobiles internationales (IMT), conformément à la Résolution 221 (Rév.CMR-07). Leur utilisation par des applications des IMT utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude comme stations de base n'exclut pas leur utilisation de ces bandes par toute station des services auxquels elles sont attribuées et n'établit pas de priorité dans le Règlement des radiocommunications. Les stations HAPS, en tant que stations de base IMT, doivent se conformer aux paramètres techniques définis dans la Résolution 221 (Rev.WRC-07).

Starlink de SpaceX est un exemple de projet de connectivité LEO, qui devrait commencer à offrir un accès initial dans un proche avenir. Le coût des satellites LEO est un facteur important à prendre en compte: lancer plusieurs centaines de satellites coûte cher, aussi cette activité est elle essentiellement réservée aux entités commerciales. Bien que la tarification soit encore floue, comme d'autres détails, la zone de couverture des constellations LEO en fait une option prometteuse pour fournir une connectivité dans des zones qui ne disposent pas d'infrastructure.

L'utilisation des ondes millimétriques (mmWave) est une autre solution sans fil émergente, qui a pour objet de fournir une connectivité sur la base de fréquences très élevées (30 GHz et plus). La nature des fréquences impliquées signifie que la portée est limitée à quelques centaines de mètres maximum. Cela signifie également que le débit peut être potentiellement très élevé, avec des vitesses pouvant atteindre 20 Gbit/s. L'utilisation des ondes millimétriques implique le déploiement de réseaux 5G.

Un raccordement à fibre est par ailleurs systématiquement nécessaire pour fournir la largeur de bande requise et exploiter pleinement le potentiel des ondes millimétriques. L'une dans l'autre, ces deux aspects font que la technologie des ondes millimétriques n'est pas adaptée aux déploiements ruraux et reste essentiellement confinée aux zones urbaines densément peuplées.

En comparaison, la technologie LoRa (Long Range) est une solution à faible puissance et faible débit, qui utilise des fréquences inférieures au gigahertz dans les bandes industrielles, scientifiques et médicales non soumises à licence. Elle affiche une portée de plusieurs dizaines de kilomètres et est principalement conçue pour être utilisée par les appareils IoT. Sa portée convient davantage à un déploiement rural, mais sa valeur peut être limitée par les très faibles débits fournis - jusqu'à 50 Kbit/s seulement. Cela peut suffire pour les besoins de communication des appareils IoT, mais rend particulièrement difficile la consultation de tout format multimédia en ligne. La technologie LoRa utilise également des supports radioélectriques dédiés, qui ne sont généralement pas présents dans les dispositifs des utilisateurs finals, ce qui limite son application à l'IoT. Elle est utile pour un petit nombre de communications et ne joue pas le rôle de technologie à large bande.

La communication optique en espace libre utilise des longueurs d'onde optiques pour transmettre d'énormes quantités de données sur une portée de plusieurs kilomètres. Le débit théorique va de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de Gbit/s, bien plus rapide que les autres solutions sans fil. Sachant que cette communication nécessite un équipement spécialisé qui utilise la lumière pour transmettre des données à grande vitesse, elle est principalement utilisée dans le cadre du raccordement et requiert d'autres couches d'équipement avant que les utilisateurs finals ne puissent accéder à la connectivité. Cette solution de raccordement alternative est particulièrement prometteuse, y compris dans les zones rurales où il existe une ligne de visée entre les équipements.

La fibre acheminée par des lignes de distribution aériennes de moyenne tension (OHMV) est une technologie filaire qui a tendance à émerger. Elle utilise une infrastructure de contrôle de supervision et d'acquisition de données pour permettre au réseau électrique de fournir une connectivité aux locaux. Comme pour la fibre standard, la fibre transmise par les lignes OHMV affiche une qualité de service très élevée, avec des débits moyens compris entre 100 Mbit/s et 1 Gbit/s. Les lignes ont également une portée de plusieurs centaines de kilomètres, et le fait qu'elles soient huit fois plus longues que les lignes à haute tension leur donne la capacité d'atteindre un nombre beaucoup plus important d'utilisateurs finals. Cependant,

pour que la fibre via OHMV fonctionne, des sommes importantes doivent être investies à la fois dans l'infrastructure passive et dans l'équipement de réseau actif. Reste à savoir si les entités électriques sont disposées à utiliser les ressources à cette fin.

Le Tableau 25 présente plusieurs technologies de connectivité émergentes et compare leurs caractéristiques. Certaines de ces technologies sont toujours en phase d'expérimentation; il se peut qu'elles ne soient pas disponibles dans le commerce et leurs écosystèmes de marché n'ont peut-être pas encore atteint le niveau de maturité des principales technologies sans fil et filaires présentées précédemment.

2.9 Solutions hybrides en termes de technologie et de modèles économiques

Les solutions hybrides sont essentielles pour combler l'écart de couverture, car les déploiements de connectivité du dernier kilomètre utiliseront très certainement différentes technologies dans le réseau d'accès et en amont au milieu et au cœur. Même les réseaux qui déploient des technologies émergentes dans le réseau d'accès convergeront généralement vers le WiFi ou le cellulaire pour atteindre les appareils des utilisateurs finals, et se connecteront à la fibre à un moment donné en amont. Il s'agit de réseaux technologiques hybrides qui intègrent un certain nombre de technologies de connectivité différentes (parfois appelées réseaux hétérogènes, ou HetNets, lorsque des systèmes d'exploitation et protocoles différents sont utilisés).

Les réseaux du dernier kilomètre utilisent également des modèles commerciaux hybrides dans lesquels les opérateurs combinent des liaisons en amont avec différents modèles de recettes.

Tableau 25. Comparaison des technologies émergentes en matière de connectivité

Technologie	Filière ou sans fil	Débit théorique/qualité de service	Portée	Infrastructure requise	Possibilité de déploiements ruraux	Exigences en matière d'octroi de licences	Possibilité de raccordement	Type de dispositif d'accès
HAPS		Jusqu'à 30 Mbit/s	Milliers de km	Ballons à haute altitude, drones autonomes	Oui	Oui	Peut fonctionner à la fois pour le raccordement et l'accès	Dispositifs cellulaires du dernier kilomètre (tels que Google Loon)
Satellite LEO		* Jusqu'à 100 Mbit/s	Milliers de km	Satellites LEO (pour de nouveaux déploiements de réseau)	Oui	Oui	Peut fonctionner à la fois pour le raccordement et l'accès	À déterminer
Ondes millimétriques	Sans fil	Jusqu'à 20 Gbit/s	1 à 10 km	Pylônes et équipement radioélectrique, raccordement à fibre	Non	Oui pour certaines bandes, certaines sont sans licence/ non soumises à licence	Raccordement local	À déterminer
Communication optique en espace libre		Plusieurs dizaines à centaines de Gbit/s	1 à 10 km	Équipement spécialisé utilisant la lumière pour transmettre des données à haute vitesse	Oui, mais nécessite d'une transmission de données en visibilité directe		Raccordement local	Utilisé pour le raccordement

* Footnote: The value of 100 Mbit/s in this report is provided by ESOA from reported beta-testing.

Tableau 25. Comparaison des technologies émergentes en matière de connectivité (suite)

Technologie	Filaire ou sans fil	Débit théorique/qualité de service	Portée	Infrastructure requise	Possibilité de déploiements ruraux	Exigences en matière d'octroi de licences	Possibilité de raccordement	Type de dispositif d'accès
Espaces blancs de télévision		5 - 150 Mbit/s	10 à 25 km	Pylônes et équipement radioélectrique	Oui, en particulier lorsqu'il n'y a pas de visibilité directe	Autorisation d'utilisation requise en vertu du principe d'utilisation opportuniste	Peut fonctionner à la fois pour le raccordement et l'accès	Modem client par Ethernet ou WiFi
Longue portée		Jusqu'à 50 Kbit/s	Dizaines de km	Pylônes et équipement radioélectrique	Oui (malgré un débit très faible)	Non (utilise les bandes de fréquences industrielles, scientifiques et médicales non soumises à licence)	Ondes radioélectriques longue portée vers dispositifs/applications IoT	
Courants porteurs en ligne: fibre via des lignes de distribution de moyenne tension aériennes	Filaire	100 - 1 000 Mbit/s	Centaines de km	Pylônes, poteaux, armoires, équipement de réseau actif	Oui (huit fois plus long que les lignes haute tension)	Non	Oui	Modem à fibre vers dispositifs Ethernet ou WiFi

* Footnote: The value of 100 Mbps stated in this report is provided by ESOA from reported beta-testing.

Source: adapté de sources diverses, dont Union européenne, Cisco, Huawei, UIT, Banque interaméricaine de développement, Banque mondiale et EMEA Satellite Operators Association (références techniques listées à l'Annexe 2)

* D'autres technologies de communication émergentes sont en cours d'utilisation ou arrivent sur le marché. Elles sont cependant nombreuses (identification des fréquences radioélectriques, Bluetooth basse consommation, communication en champ proche, Light Fidelity, Zigbee, etc.) à ne pas être adaptées pour les déploiements ruraux.

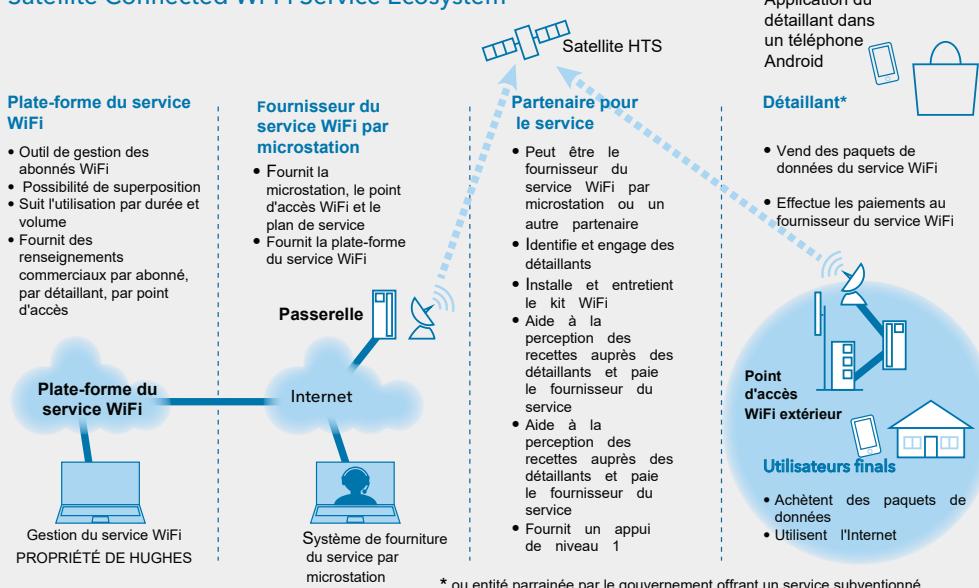
Encadré 7. Exemple de réseau hybride (WiFi Hughes Express)

À travers le Brésil, la Colombie, le Mexique et le Pérou, Hughes a signalé le déploiement d'une solution WiFi communautaire connue sous le nom de Hughes Express WiFi, en partenariat avec Facebook. Chaque point d'accès WiFi Hughes Express est raccordé par des liaisons satellitaires, permettant aux commerçants d'offrir un accès Internet payant à l'utilisation à environ 500 personnes dans une communauté rurale où le service terrestre est trop cher ou tout simplement indisponible.

Ce service permet aux utilisateurs finals des communautés rurales de se connecter à l'Internet en utilisant une connectivité multimédia à large bande pour la navigation, la messagerie, le courrier électronique, la voix et le chat vidéo. Pour les personnes qui n'ont pas les moyens de payer un abonnement mensuel à un service et pour lesquelles une tarification à l'utilisation serait nécessaire, le WiFi Hughes Express propose un prix abordable pour des paquets de données en utilisant leur équipement mobile BYOD WiFi (téléphones/tablettes/ordinateurs portables) avec tout type de système d'exploitation (Android/IOS/Windows/Linux).

Le modèle de service inclut des plans d'utilisation de taille réduite, à partir de 0,5 USD pour 100 Mo ou jusqu'à une heure d'utilisation. Les solutions WiFi communautaires de Hughes comprennent une microstation (VSAT) et un équipement WiFi qui étend le signal dans un rayon de 50 à 80 mètres avec des téléphones mobiles peu coûteux. Avec un téléphone haut de gamme, la portée est améliorée de 100%. Une fois qu'un site est déployé et équipé d'un point d'accès, la communauté locale d'utilisateurs bénéficie d'un accès Internet à haut débit. Le marché cible les communautés de 500 à 1 000 personnes ayant un service de connectivité limité.

Satellite Connected Wi-Fi Service Ecosystem



Écosystème du service WiFi Hughes connecté par satellite

Paquets de données			
Paquet	Données (Mégaoctets)	Prix (Pesos)	Prix (approx.)* (USD)
1 heure	100	10	0,5
1 jour	250	30	1,5
3 jours	500	60	3
1 semaine	750	90	4,5
Mois	1 000	120	6
Mois	2 000	220	11
Mois	4 000	400	20

* Valeurs approximatives, les prix d'origine ont été fournis en Pesos et convertis en USD

Paquets de données WiFi Hughes express

Étude de cas fournie par Hughes¹. Information complémentaire: <https://www.hughes.com/expresswifi/mexico>

¹ La figure et le tableau sont adaptés de l'étude de cas soumise.

2.10 Régimes politiques et réglementaires

L'environnement politique et réglementaire général qui régit la connectivité Internet dans un pays donné contribue significativement à autoriser et à encourager le déploiement de nouveaux services pour les communautés non connectées ou, à l'inverse, constitue un obstacle au déploiement. Un processus en trois étapes permet de comprendre les contraintes qui peuvent être imposées par les politiques existantes et d'identifier les options possibles.

- 1) Identifier l'environnement général de réglementation des TIC du pays en examinant les générations de réglementation des TIC de l'UIT (voir *Perspectives d'évolution de la réglementation des TIC dans le monde de l'UIT 2020*)

Les dernières données du groupe chargé des questions sur l'environnement réglementaire et commercial de l'UIT⁵⁸ aideront à mieux classer les pays en ce qui concerne la maturité des cadres de réglementation des TIC.

- 2) Identifier la politique du pays en matière d'accès et de couverture universels

De nombreux pays mettent en œuvre des politiques spécifiques conçues pour encourager et soutenir directement les initiatives visant à élargir l'accès à la connectivité dans les zones mal desservies. Ces politiques portent notamment sur des plans nationaux en faveur du large bande et des politiques de service universel, et peuvent inclure des obligations et des fonds de service universel. Ainsi, la Commission Le large bande au service du développement durable de l'UIT/UNESCO recense les pays⁵⁹ qui ont mis en place des plans nationaux en faveur du

⁵⁸ Voir <https://www.itu.int/fr/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/default.aspx>.

⁵⁹ UIT/UNESCO Commission Le large bande au service du développement durable, op. cit., note 56.

large bande et qui ont inclus le large bande dans les initiatives d'accès universel, avec les données sous-jacentes et le suivi fourni par la base de données "L'œil sur les TIC" de l'UIT⁶⁰. Ces initiatives sont généralement menées par l'organe exécutif compétent désigné comme chef de file pour les télécommunications (agences, départements, etc.); certaines sont dirigées par les ministères compétents (éducation, développement social, etc.).

3) Rechercher spécifiquement les options existantes pour:

- *les politiques qui encouragent les nouvelles entités à fournir un nouveau service dans la zone non desservie;*
- *les politiques qui aident les fournisseurs de services existants à étendre les services dans la région;*
- *les politiques qui obligent les nouvelles entités ou les fournisseurs de services existants à mettre en place un service.*

Ces politiques incluent le processus actuel d'octroi de licences et d'approbation pour la mise en place de nouveaux fournisseurs de services Internet; des politiques qui permettent aux prestataires de services existants de s'étendre dans la zone mal desservie, éventuellement grâce à des subventions; et des politiques nécessitant une extension de la couverture, telles que les obligations de couverture liées aux enchères de spectre ou les attributions de spectre de couverture, généralement moyennant des frais moins élevés. Par exemple, les licences d'opérateur sont généralement orientées vers les grands opérateurs nationaux, de sorte qu'il peut être coûteux et complexe sur le plan administratif pour les nouveaux petits opérateurs d'obtenir des licences. Cependant, dans certains pays comme le Brésil, l'Afrique du Sud, l'Ouganda et l'Argentine, les exemptions permettent aux petits opérateurs locaux à but non lucratif de créer et d'offrir des services. De même, l'accès au spectre sans fil diffère d'un pays à l'autre. Pour les technologies et les bandes de fréquences (WiFi) exemptes de licence/sans licence, certains pays exigent un enregistrement et une redevance annuelle pour chaque ligne point à point (les niveaux de puissance de sortie autorisés peuvent également varier, ce qui limite l'efficacité de la technologie). Le spectre cellulaire mobile a été autorisé au niveau national pour les fréquences IMT, mais le Mexique, le Brésil, les États-Unis et le Royaume-Uni sont à l'origine de cadres de licence qui permettent l'utilisation des fréquences IMT inutilisées dans les zones rurales. Les réglementations dynamiques du spectre dans d'autres pays, comme le Mozambique, l'Afrique du Sud, le Nigéria et l'Ouganda, commencent à autoriser l'utilisation de la technologie des espaces blancs de télévision. De même, les politiques qui garantissent un accès ouvert au raccordement et un échange de trafic ouvert et abordable entre homologues (comme aux points d'échange Internet) aident à prendre en charge les nouveaux déploiements et extensions.

La pertinence d'une intervention dépend en grande partie de la cause ou des causes des écarts d'accès dans une situation donnée. Comme mentionné précédemment, les interventions peuvent être classées en fonction des thématiques traitées et des modalités de traitement. L'objet des interventions, de façon générale, a trait aux actions mises en œuvre pour améliorer l'accès et peut être défini au travers de trois types d'impacts qui ne s'excluent pas mutuellement (autrement dit, une intervention peut avoir plusieurs impacts). Il s'agit de faciliter l'entrée de nouvelles entités pour fournir de nouveaux services dans les zones mal desservies ou non desservies; de faciliter et/ou contraindre les fournisseurs de services existants à étendre

⁶⁰ Voir <https://www.itu.int/net4/itu-d/icteye/FocusAreas.aspx?paramWorkArea=TREG>.

le service aux zones mal desservies ou non desservies; et de permettre l'utilisation de la connectivité, par exemple en lien avec les appareils ou le renforcement des capacités.

Ces impacts apportent tous une solution au manque d'accès, en permettant la connectivité soit du côté de l'offre, soit du côté de la demande. Dans les zones où l'offre (c'est-à-dire la disponibilité de la connectivité) est le facteur limitant pour mettre les gens en ligne, les interventions qui encouragent les fournisseurs existants à étendre leur empreinte ou à faciliter l'entrée de nouveaux fournisseurs peuvent être des plus utiles. Il est par ailleurs judicieux de permettre l'utilisation en réduisant le coût des dispositifs d'accès dans les zones où des réseaux existent déjà.

De nombreuses interventions combinent deux ou tous ces impacts afin de fournir une connectivité efficace aux utilisateurs. Le fait de combiner ces interventions peut aussi aider à traiter les multiples causes des disparités en termes d'accès, en particulier lorsque ces causes ont trait aux barrières structurelles qui empêchent le déploiement et l'exploitation des réseaux.

Les *modalités* des interventions se réfèrent à la typologie des interventions mentionnées ci-avant. Cette typologie regroupe les interventions selon le mode d'action de l'impact: efficacité du marché et interventions d'expansion; interventions de financement ou de subvention ponctuelles; et interventions de subventions récurrentes.

Le contexte le plus approprié pour un groupe ou type d'intervention donné a déjà été abordé. Il est important de noter, toutefois, que de multiples contextes et disparités d'accès peuvent exister simultanément, et l'utilisation de deux ou plusieurs types d'intervention côte à côte peut contribuer à résoudre les différentes causes des disparités en matière d'accès. De façon générale, le recours à une intervention n'empêche pas le recours à d'autres; dans de nombreux cas, la limite réside dans le montant des ressources qui peuvent être allouées entre les interventions, ou dans les priorités politiques d'un gouvernement ou d'un autre organisme d'intervention.

Le Tableau 26 présente différents types d'interventions possibles regroupés par catégorie de disparités d'accès et mentionne si ces interventions encouragent l'entrée de nouveaux fournisseurs, facilitent et/ou obligent les fournisseurs existants à étendre les zones de couverture des services, ou permettent l'utilisation de la connectivité en résolvant les problèmes liés à la demande tels que la disponibilité des appareils et le renforcement des capacités.

Dans la première catégorie, qui concerne l'efficacité du marché et les interventions d'expansion, un certain nombre d'interventions visent à supprimer les barrières structurelles empêchant les opérateurs nouveaux ou existants de fournir des services dans des zones mal desservies ou non desservies. Il peut s'agir d'autoriser l'utilisation secondaire du spectre⁶¹, de supprimer les limites concernant les fournisseurs de services Internet étrangers et les restrictions à l'investissement, et d'autoriser des utilisations innovantes des technologies de communication pour le déploiement de services commerciaux et non commerciaux. Ces interventions permettent au marché de répondre à la demande existante en s'étendant à de nouvelles zones, en utilisant des technologies nouvelles ou plus appropriées pour certaines zones, ou en allouant des financements pour des réseaux dans des localités sans service existant.

⁶¹ L'utilisation secondaire est distincte de l'attribution secondaire et est plus communément associée à la possibilité de partager une licence de spectre actuelle.

Certaines interventions de cette catégorie peuvent avoir plusieurs impacts, en aidant les entités opérationnelles à fournir une connectivité aux localités et aux utilisateurs finals afin d'accéder aux réseaux. Elles peuvent, par exemple, autoriser l'utilisation commerciale et non commerciale de bandes sans licence. Cela permet aux opérateurs de déployer des réseaux sur les bandes sans licence et aux utilisateurs de se connecter aux réseaux sur ces fréquences en utilisant des appareils qu'ils possèdent déjà ou peuvent se procurer à faible coût. Un système comme celui-ci peut fournir une connectivité à un emplacement où il n'existe aucun réseau ou fournir un service alternatif et/ou concurrent à celui offert par les opérateurs traditionnels.

D'un autre côté, la mise en œuvre d'une politique favorisant la coordination des travaux d'excavation ("dig once") et garantissant le déploiement conjoint des conduits pour les réseaux à fibres optiques lorsque de nouvelles routes sont construites est une intervention qui intervient essentiellement du côté de l'offre. Elle permet aux opérateurs de réduire le coût de déploiement du réseau, en abaissant le seuil de création d'une analyse de rentabilisation pour une localité cible. Ce type d'intervention s'avère utile pour encourager les fournisseurs nouveaux et existants à déployer des réseaux dans de nouveaux domaines.

Une intervention qui réduit les taxes sur les combinés mobiles et les appareils de connectivité est une forme de subvention qui peut aider les opérateurs à réduire le coût d'achat d'équipements pour leurs réseaux tout en mettant des appareils plus abordables à la disposition des utilisateurs finals. Dans ce cas, le différentiel d'accès existe au moins en partie en raison du défi du financement de la connectivité. De telles interventions, qui impliquent des subventions ou financements ponctuels, peuvent aider à surmonter l'obstacle de coût pour combler le différentiel en matière d'accès, tandis que d'autres interventions peuvent être déployées à côté pour résoudre des problèmes d'ordre plus structurel.

Enfin, en cas de véritable différentiel d'accès lorsqu'aucune analyse de rentabilisation n'est viable, même avec l'efficacité du marché et les interventions de subvention existantes, les gouvernements ou d'autres organismes peuvent utiliser des subventions récurrentes pour fournir un accès dans les localités cibles. Lorsque les conditions difficiles, l'éloignement ou d'autres facteurs font qu'il est peu probable que le marché puisse fournir un accès commercial, les décideurs politiques peuvent envisager des dispositions fiscales plus souples et plus avantageuses pour les réseaux locaux complémentaires à but non lucratif afin d'aider à fournir la connectivité. Il s'agit surtout d'un effort visant à encourager une nouvelle entité à but non lucratif à créer un réseau alternatif dans une zone non commercialement viable et à remplir l'espace qui serait autrement occupé par un fournisseur commercial.

Tableau 26. Comparaison des interventions par catégorie de différentiels d'accès eu égard à l'applicabilité

Questions liées aux différentiels d'accès	Interventions	Encourage l'entrée de nouvelles entités pour fournir un nouveau service dans les zones mal desservies et non desservies	Facilite (et/ou oblige) les fournisseurs existants à étendre le service dans les zones mal desservies et non desservies	Permet l'utilisation de la connectivité (par ex. liée aux appareils) ou le renforcement des capacités
Efficacité du marché et interventions d'expansion	Améliorer les ressources de données d'informations sur le marché (par ex. couverture du réseau, actifs d'infrastructure, densité de population et revenus, électrification du réseau) afin d'identifier les populations non desservies et les solutions pertinentes	√	√	√
	Établir des licences spécifiques pour les zones rurales caractérisées par des exigences simplifiées	√		√
	Établir des licences d'opérateurs communautaires qui ne sont pas assujetties aux redevances coûteuses et aux redevances strictes qui sont appliquées aux opérateurs commerciaux	√		√
	Réduire le coût des licences d'utilisation du spectre pour les zones rurales et/ou procéder à l'attribution directe des fréquences à des fins sociales	√		
	Autoriser l'utilisation secondaire du spectre	√	√	
	Autoriser l'utilisation commerciale et non commerciale des bandes non soumises à licence	√	√	√
	Mettre en place et faire respecter des obligations en termes de couverture (associées à des exigences en matière de qualité de service) pour les assignations de licences de spectre au niveau national, par ex. en échange de redevances de licence ou de subventions moins élevées		√	
	Encourager l'utilisation innovante des technologies de communication pour le déploiement de services commerciaux et non commerciaux	√	√	√
	Promouvoir l'itinérance nationale et la mutualisation de l'infrastructure (des réseaux passifs et actifs)	√	√	

Tableau 26. Comparaison des interventions par catégorie de différentiels d'accès eu égard à l'applicabilité (suite)

Questions liées aux différentiels d'accès	Interventions	Encourage l'entrée de nouvelles entités pour fournir un nouveau service dans les zones mal desservies et non desservies	Facilite (et/ou oblige) les fournisseurs existants à étendre le service dans les zones mal desservies et non desservies	Permet l'utilisation de la connectivité (par ex. liée aux appareils) ou le renforcement des capacités
	Réglementer les prix de vente en gros de la capacité large bande sur le kilomètre intermédiaire, en garantissant des conditions équitables aux petits fournisseurs de services Internet	√		
	Supprimer les limites concernant les fournisseurs de services Internet étrangers et les restrictions à l'investissement	√	√	
	Envisager des solutions alternatives à l'attribution du spectre au moyen d'enchères à prix élevé	√	√	
	Promouvoir la concurrence sur le marché	√	√	
	Alléger les procédures d'octroi de licences fastidieuses et les taxes réglementaires élevées pour les terminaux et le spectre	√	√	
	Appliquer des réglementations favorisant la coordination des travaux d'excavation ("dig once") et garantissant le déploiement conjoint des conduits pour les réseaux à fibres optiques lorsque de nouvelles routes sont construites	√	√	
	Assouplir les exigences en matière de droit de passage et de raccordement sur les pylônes applicables aux déploiements sur le kilomètre intermédiaire dans les zones rurales et isolées	√	√	
	Établir/réviser les politiques de fonds de service universel qui sont technologiquement neutres	√	√	
	Permettre une présence sur le marché sans aucune obligation de centre ou de passerelle par satellite dans le pays lorsque cela n'est pas techniquement nécessaire	√		
	Introduire l'octroi de licence globale pour l'équipement terminal de l'utilisateur final	√	√	

Tableau 26. Comparaison des interventions par catégorie de différentiels d'accès eu égard à l'applicabilité (suite)

Questions liées aux différentiels d'accès	Interventions	Encourage l'entrée de nouvelles entités pour fournir un nouveau service dans les zones mal desservies et non desservies	Facilite (et/ou oblige) les fournisseurs existants à étendre le service dans les zones mal desservies et non desservies	Permet l'utilisation de la connectivité (par ex. liée aux appareils) ou le renforcement des capacités
Interventions de financement ou de subvention ponctuelles	Collecter et distribuer des fonds pour le service universel, sous la forme de subventions ponctuelles visant à atténuer les risques liés aux déploiements	√	√	
	Promouvoir les partenariats public-privé propres à réduire les risques	√	√	
	Promouvoir des structures d'investissement de financement mixtes, en mettant en commun le capital commercial pour le financement de projets avec des formes de capital public et/ou de capital privé sous-commercial à objectif de rendement (également appelé capital patient)	√	√	
	Autoriser des contributions en nature souples (matériel, logiciel et capacité technique) aux entités non commerciales de la part des secteurs privé et public	√	√	√
	Introduire des mesures d'incitation fiscale à l'intention des fournisseurs de services sur le dernier kilomètre	√	√	√
	Réduire les taxes sur les téléphones mobiles et les dispositifs de connectivité	√	√	√
	Réduire les droits d'importation sur les équipements de réseau	√	√	
Interventions de subventions récurrentes	Collecter et distribuer les fonds pour le service universel sous la forme de subventions récurrentes pour atténuer les risques liés au déploiement	√	√	
	Envisager des dispositions fiscales plus souples et plus avantageuses pour les réseaux locaux complémentaires à but non lucratif	√		√

Encadré 8. Cybersécurité des nouveaux utilisateurs dans les déploiements de connectivité du dernier kilomètre

Le nombre d'incidents de cybersécurité continue d'augmenter à mesure que de plus en plus de personnes se connectent et réalisent une part toujours plus grande de leurs activités quotidiennes en ligne. Le top 10 des violations de données enregistrées depuis 2010 impacte plus de 20 millions d'enregistrements¹. Alors que de nombreux utilisateurs des pays à revenu faible et intermédiaire se connectent à l'Internet par le biais de leur téléphone², GSMA Intelligence³ a constaté que les problèmes de sécurité faisaient partie des principaux obstacles à l'adoption de l'Internet mobile dans ces pays. Selon le Threat Intelligence Report⁴ (rapport de renseignements en matière de menaces) de Nokia, le taux d'infection mensuel moyen sur les réseaux mobiles était de 0,31% en 2019 (un appareil mobile sur 300 présentait une infection par des logiciels malveillants de haut niveau). En 2019, les incidents de cybersécurité ont été considérés comme un risque plus élevé pour les entreprises internationales⁵ que les ruptures de la chaîne logistique, les troubles politiques ou les catastrophes naturelles.

La connectivité présente des opportunités, mais aussi des risques. La cybersécurité doit être envisagée à un niveau stratégique pour garantir une approche cohérente des menaces qui pourrait l'emporter sur les gains socio-économiques engendrés par l'amélioration de la connectivité. Toute une gamme de mesures peut être prise pour réduire les risques en matière de cybersécurité et chacune de ces mesures exige un engagement continu et actif de la part des gouvernements, du secteur privé, de la société civile et des individus – de même que des ressources.

Les fournisseurs de services Internet jouent un rôle particulièrement important pour garantir un niveau suffisant de cybersécurité sur leurs réseaux. En janvier 2020, le Forum économique mondial et ses partenaires ont publié des principes de haut niveau⁶ dont les fournisseurs de services Internet doivent tenir compte lors du déploiement de leurs services de réseau et qui peuvent également être pertinents pour les déploiements de la connectivité sur le dernier kilomètre. Ces quatre principes sont les suivants:

¹ Information is beautiful, [World's Biggest Data Breaches & Hacks](#) (dernière consultation le 11 mai 2020).

² J. Clement, [Share of mobile internet traffic in selected countries 2020](#) (article en ligne, Statista, 20 juin 2020).

³ GSMA, op. cit., note 14.

⁴ Nokia, *Threat Intelligence Report 2019*. Disponible à l'adresse <https://networks.nokia.com/solutions/threat-intelligence/infographic>.

⁵ Allianz, *Allianz Risk Barometer 2020. Identifying the Major Business Risks for 2020* (2020).

⁶ Forum économique mondial, *Cybercrime Prevention – Principles for Internet Service Providers* (Genève, 2020).

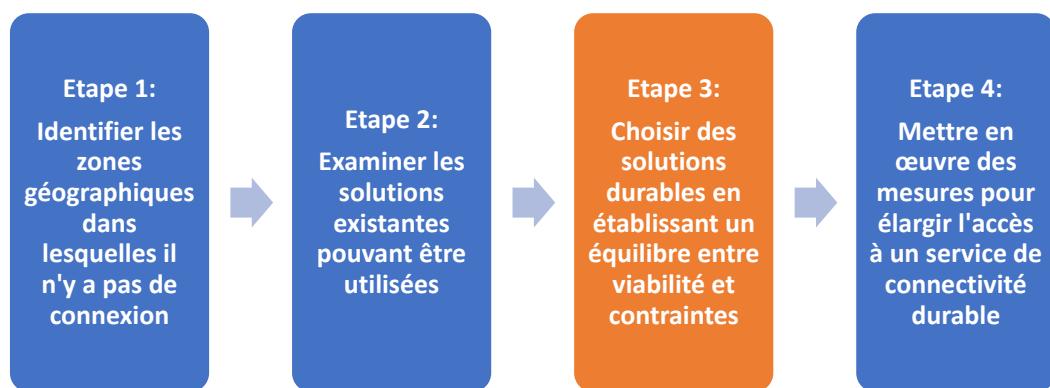
- 1) Protéger les consommateurs par défaut des cyberattaques généralisées et agir collectivement avec les homologues pour identifier et répondre aux menaces connues.
- 2) Prendre des mesures pour sensibiliser et comprendre les menaces et aider les consommateurs à se protéger et à protéger leurs réseaux.
- 3) Travailler plus étroitement avec les fabricants et les fournisseurs de matériel, de logiciels et d'infrastructures pour augmenter les niveaux minimums de sécurité.
- 4) Adopter des mesures visant à renforcer la sécurité du routage et de la signalisation afin de consolider efficacement la défense contre les attaques.

Chapitre 3. Choisir des solutions durables en établissant un équilibre entre viabilité et contraintes (étape 3)



La troisième étape du Guide des solutions porte sur le processus de sélection de solutions durables et abordables qui peuvent fonctionner dans les limites posées par chaque scénario unique. La Figure 29 indique la place qu'occupe cette étape dans le processus global et montre les activités correspondantes.

Figure 29. Étape 3 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre



Chapitre 3: Choisir des solutions durables en établissant un équilibre entre viabilité et contraintes (étape 3)

3a - Choisir une solution abordable en matière de connectivité sur le dernier kilomètre

3b - Identifier les composantes d'une solution appropriée en matière de connectivité sur le dernier kilomètre

3c - Élaborer la matrice décisionnelle pour des solutions réalisables

3d - Envisager des outils supplémentaires pour évaluer les solutions

3.1 Choisir une solution abordable en matière de connectivité sur le dernier kilomètre (étape 3a)

Choisir une solution d'accès sur le dernier kilomètre signifie d'abord comprendre la nature des différentiels d'accès dans la ou les localités cibles. La solution n'aboutira que si elle est viable malgré les contraintes. La "meilleure" façon consiste à combiner les mesures techniques, financières et organisationnelles les plus appropriées au vu du contexte.

Identifier des solutions pour les communautés non connectées est une entreprise de nature extrêmement spécifique au contexte. Un certain nombre de rapports récents sur la connectivité du dernier kilomètre fournissent des orientations sur les solutions possibles. Par exemple, un rapport suggère d'utiliser un ratio basé sur la "qualité d'expérience attendue et les coûts de chaque technologie respective par rapport à son niveau de maturité technologique" pour déterminer dans quelle mesure une technologie ou une solution technique est appropriée par rapport aux autres options⁶².

D'autres rapports, tels que celui de la Banque mondiale, attirent l'attention sur la nécessité de prendre en compte une série de considérations concernant notamment le climat des affaires (le marché est-il compétitif?), une analyse de rentabilisation potentielle pour le secteur privé, des liaisons manquantes dans l'infrastructure existante, la capacité du pouvoir réglementaire à contrôler la domination du marché, et la compétence du gouvernement à entrer sur le marché dans le cadre d'un partenariat public-privé, le cas échéant⁶³.

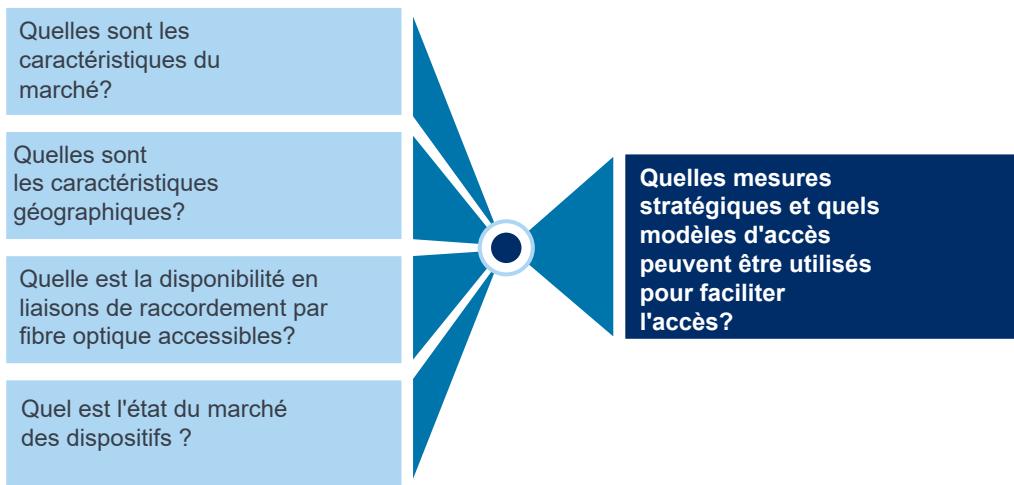
L'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) a proposé une matrice de problème-solution (voir la Figure 30) visant à identifier le modèle nécessaire pour améliorer l'accès sur le dernier kilomètre dans un contexte spécifique, tout en notant que "chaque marché est susceptible de nécessiter un portefeuille d'innovations en matière d'accès qui répondra aux besoins des diverses communautés"⁶⁴.

⁶² Voir Fraunhofer Institute for Applied Information Technology, *Connecting the Unconnected - Tackling the Challenge of Cost-effective Broadband Internet in Rural Areas* (Allemagne, 2019).

⁶³ Voir Banque mondiale, *Innovative Business Models for Expanding Fiber-optic Networks and Closing the Access Gap* (Washington, Groupe de la Banque mondiale, 2018).

⁶⁴ USAID, Caribou Digital and the Digital Impact Alliance, *Closing the Access Gap - Innovation to Accelerate Universal Internet Adoption* (2017), p. 31; voir également le Tableau 2 dans le rapport, "Key Considerations Unique to Each Community Scenario".

Figure 30. Modèles d'accès classés par défi (USAID)



Source: USAID et al., note 77

Après avoir sélectionné une zone géographique/localité spécifique dépourvue de connexion, il est nécessaire, pour définir des interventions de connectivité adéquates sur le dernier kilomètre, de déterminer les cinq aspects majeurs d'une situation donnée qui agissent comme des facteurs limitants et qui peuvent fournir une orientation vers une éventuelle solution. Ces cinq aspects sont représentés dans la Figure 31, qui montre que pour parvenir à une solution de connectivité Internet du dernier kilomètre qui soit la moins coûteuse et la plus facile à réaliser, il convient de mettre en correspondance les différents aspects dans le cadre d'un processus itératif qui nécessite d'identifier et de perfectionner les options et sélections réalisées en tenant compte des facteurs suivants:

1) Accessibilité: veiller à ce que la tarification utilisateur du service de connectivité reste en deçà d'un seuil d'accessibilité donné, tel que les 2% du RNB mensuel par habitant mentionnés ci-dessus pour 1 Go de données mobiles en large bande. L'accessibilité est un facteur essentiel dans la fourniture d'un accès aux utilisateurs désignés au sein d'une localité. Les décisions techniques et financières peuvent avoir un impact sur le coût final de la connectivité; il est donc primordial de sélectionner des caractéristiques qui peuvent aider à atteindre le niveau visé en matière d'accessibilité.

2) Utilisation: identifier les applications et services qui devront être disponibles au niveau de la localité de même que le niveau de qualité de service requis par ces applications et services. Il est important de comprendre à quoi servira la connectivité non seulement pour garantir la fourniture d'un véritable accès, mais également pour déterminer le type de réseau le mieux adapté à une localité. Par exemple, un réseau à grande vitesse et à large bande n'est peut-être pas le réseau le plus pratique à déployer dans des communautés rurales peu peuplées qui n'utiliseront probablement que des applications de messagerie de base.

Dans le même temps, le réseau devrait toutefois être en mesure de s'adapter à la croissance de la demande et à l'évolution des modes d'utilisation, de sorte qu'il ne devienne pas un goulet d'étranglement pour le développement des compétences numériques et l'adoption de services en ligne utiles. La sélection de la solution appropriée en matière d'accès sur le dernier kilomètre nécessite de trouver un équilibre entre répondre aux besoins de l'utilisation actuelle (ou attendue) et favoriser la croissance future.

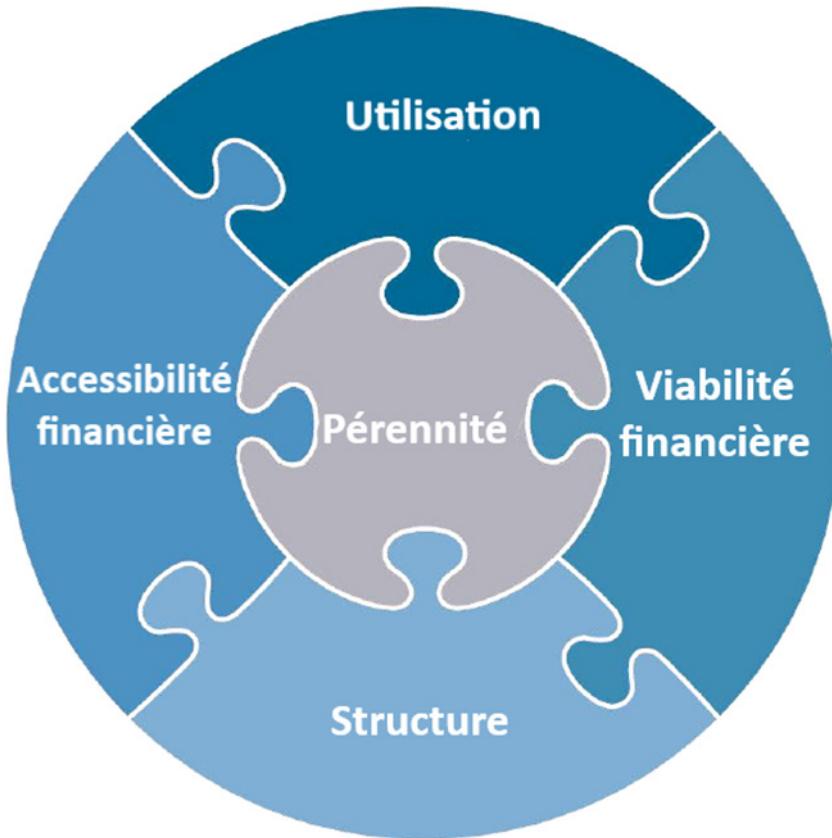
3) Viabilité financière: il s'agit de mesurer la viabilité économique de l'investissement privé en faveur du service de connectivité, sur la base des estimations de l'ARPU, de la disponibilité de la connectivité de raccordement/du kilomètre intermédiaire, des options concernant les différentes technologies d'accès local et du niveau potentiel de la qualité de service de la prestation. Ce facteur aide à déterminer la nature des différentiels

d'accès dans la localité cible et pourrait avoir un impact important sur le type d'entité opérationnelle appropriée pour l'intervention. Les zones susceptibles d'accueillir un réseau financièrement viable peuvent se satisfaire de mesures visant à améliorer l'efficacité du marché ou d'une intervention sous forme de financement ponctuel, tandis que celles qui sont peu susceptibles de soutenir un service commercial quelconque nécessiteront des subventions récurrentes.

La viabilité financière influe également sur d'autres aspects de la solution d'accès au dernier kilomètre. Certaines technologies sont mieux adaptées aux opérations commerciales que d'autres, tandis que les entités à but non lucratif préféreront plutôt des technologies d'accès à faible coût. Évaluer correctement les conditions de la localité cible nécessite, comme pour les autres facteurs, d'appréhender de façon globale les caractéristiques de la zone cible, en comprenant comment les différents facteurs interagissent et en définissant les solutions les plus appropriées.

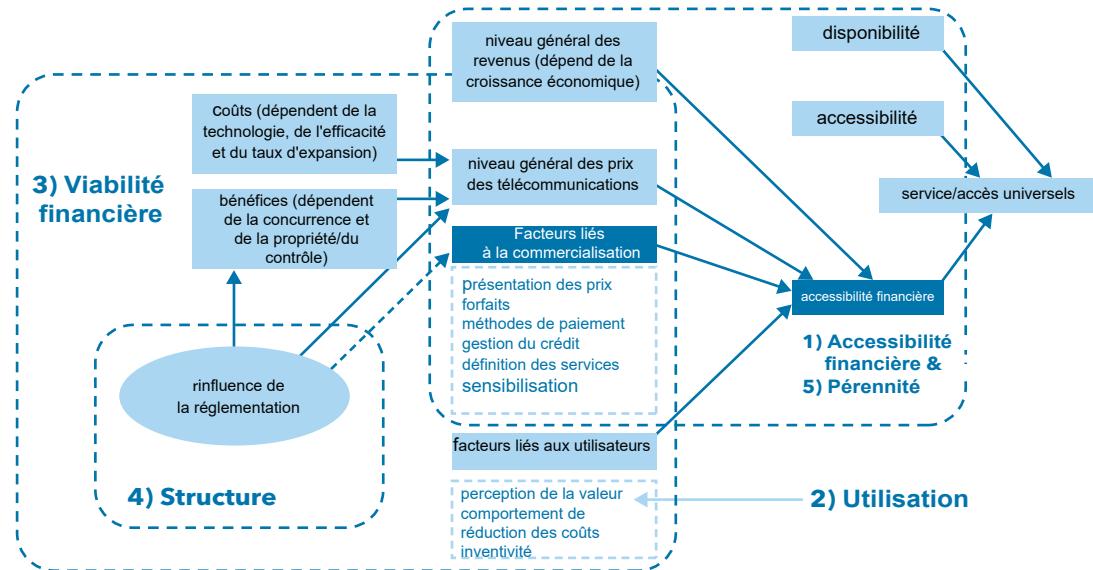
- 4) **Structure:** cela implique d'articuler le modèle commercial de prestation de services et d'identifier les contraintes réglementaires qui s'appliquent au modèle et aux technologies utilisées. Bien que certaines technologies ou certains modèles commerciaux semblent plus adaptés que d'autres pour une localité donnée, les politiques ou réglementations existantes peuvent les rendre lourdes, voire impossibles à déployer. Dans la plupart des cas, les politiques et réglementations sont des facteurs limitants qui restreignent les options d'intervention, en particulier celles déployées par des entités non gouvernementales. Réduire le champ des options aux options pratiques présentes dans l'environnement politique existant peut être un exercice utile sur le plan pratique. D'un autre côté, comprendre quelles sont les politiques ou réglementations qui s'opposent à l'adoption d'une technologie ou d'un modèle commercial approprié peut orienter les décideurs politiques et les régulateurs au niveau communautaire dans leurs efforts de conduite de réformes et de suppression des barrières structurelles.
- 5) **Durabilité:** cela implique de comprendre le modèle de recettes du service et toute éventuelle subvention (ponctuelle et/ou récurrente). Cette dimension est étroitement liée à celle de la viabilité financière; elle concerne l'interaction entre le modèle de recettes de la solution potentielle, le niveau d'adoption (et de recettes) attendu dans la localité cible et l'adéquation des recettes attendues pour couvrir les dépenses d'exploitation du réseau (au minimum). Pour les entités commerciales à but lucratif, il y a la question supplémentaire de savoir si un niveau de profit acceptable dans un délai raisonnable est possible compte tenu de la solution potentielle. Les entités à but non lucratif, en revanche, peuvent envisager d'utiliser une forme de subvention pour aider à soutenir le réseau lorsque celui-ci est disponible. La question se pose alors de savoir dans quelle mesure les subventions sont fiables, dans quelle mesure elles sont essentielles à la survie de la solution potentielle et si des alternatives aux subventions sont possibles si ces dernières venaient à disparaître. Il est essentiel de répondre à ces questions pour pouvoir définir la durabilité de l'intervention sur le long terme.

Figure 31. Composants dans la sélection d'une solution de connectivité durable et abordable sur le dernier kilomètre



Les cinq facteurs qui entrent en ligne de compte dans la sélection d'une solution de connectivité abordable sur le dernier kilomètre renvoient à d'autres cadres de composants d'accès universel (voir, par exemple, la Figure 32). L'influence de la réglementation est le point de départ de la viabilité économique; elle reflète l'approche d'intervention en couches et commence par des interventions sous forme de mesures d'expansion visant à améliorer l'efficacité du marché. Cependant, un gouvernement peut vouloir fournir un accès universel même lorsque le seuil de rentabilité n'est pas atteint, par exemple dans le cadre d'interventions politiques et réglementaires telles que des subventions, des allégements fiscaux et des licences gratuites ou à faible coût.

Figure 32. Composants d'une solution de connectivité abordable sur le dernier kilomètre en lien avec d'autres cadres

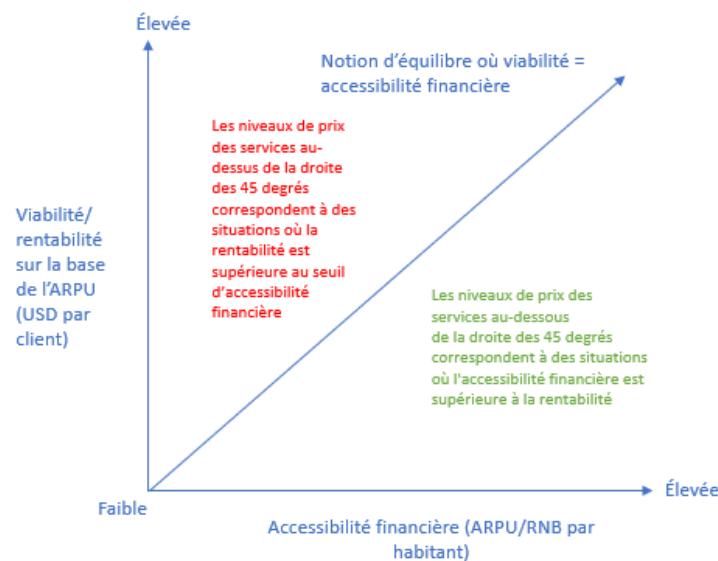


Source: Adapté de C. Milne, Improving Affordability of Telecommunications: Cross-Fertilization between the Developed and the Developing World (15 août 2006), TPRC 2006. Disponible sur le site du SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2104397>

3.1.1 Viabilité financière ou accessibilité

Il convient de souligner que la viabilité financière de la mise en place du service (considérée du point de vue de l'investisseur, qu'il s'agisse d'un investissement commercial ou d'un déploiement bénéficiant d'une subvention) diffère de l'accessibilité du service fourni (considérée du point de vue des individus dans la localité potentiellement mal desservie). Sachant que la viabilité financière dépend de la génération de recettes, qui proviennent en principe des paiements des consommateurs, il importe peu de savoir – en termes de viabilité financière – si ces clients ont des revenus importants ou faibles ou s'il s'agit d'entreprises, d'organisations ou de particuliers. Ce qui importe, c'est que les recettes générées puissent couvrir les coûts de déploiement. L'accessibilité, et en particulier l'accessibilité du large bande calculée sur la base de 2% du revenu national brut mensuel par habitant, est en revanche imposée par le profil du consommateur. Ainsi, un déploiement considéré comme financièrement viable du point de vue du fournisseur de services, en ce qu'il fournit une connectivité aux consommateurs (ou aux entreprises) à revenu élevé, ne servirait pas dans ce cas précis un objectif d'accessibilité.

Cette différence est illustrée à la Figure 33, qui montre qu'un même service peut présenter un taux élevé de viabilité/rentabilité (pour le fournisseur de services), mais un faible taux d'accessibilité (pour le consommateur moyen).

Figure 33. Viabilité financière et accessibilité

La distinction entre viabilité financière et accessibilité souligne la nature de la relation entre les cinq facteurs précédemment cités. La sélection de la solution appropriée implique de trouver l'intervention qui présente le chevauchement le plus idéal pour atteindre les objectifs souhaités dans chacune de ces cinq dimensions. Dans la pratique, bien entendu, il est rare qu'une intervention corresponde parfaitement à la situation. Il y aura souvent plusieurs interventions présentant des degrés divers de chevauchement des dimensions, en fonction des différents compromis réalisés à l'égard de certaines cibles. La solution la plus appropriée dépendra au final d'un ensemble de compromis, jugé le plus acceptable au regard des objectifs de l'organe intervenant pour combler les disparités d'accès. Une telle situation peut aussi déboucher en parallèle sur le déploiement de multiples interventions complémentaires.

3.2 Identifier les composantes d'une solution appropriée en matière de connectivité sur le dernier kilomètre (étape 3b)

3.2.1 Accessibilité

Étant donné que l'objectif de ce Guide des solutions est d'encourager les solutions de connectivité du dernier kilomètre qui fournissent un accès Internet abordable aux communautés non desservies et mal desservies, la conception de solutions possibles commence par l'identification des niveaux de prix de service considérés comme abordables.

L'une des approches consiste à identifier des seuils d'accessibilité de 2% du RNB mensuel par habitant, ainsi que de 5% pour l'analyse de sensibilité, sur la base de moyennes nationales. Une approche plus détaillée prendrait en compte les niveaux de revenus moyens régionaux ou locaux, qui peuvent être obtenus auprès des agences statistiques nationales.

Ces chiffres d'accessibilité peuvent ensuite servir de repère pour déterminer les types de services considérés comme accessibles, en gardant à l'esprit que les 2% du RNB mensuel par habitant correspondent à 1 Go de données mobiles. (Pour l'examen des seuils d'accessibilité, voir Introduction, 5 Contexte, justification et objectifs).

En mettant l'accent sur l'accessibilité (et sur les autres composants essentiels du modèle de sélection, en particulier la durabilité), on souligne l'importance de s'assurer que les membres de la localité ou de la communauté – les clients potentiels du nouveau service – jouent un rôle dans la détermination de la manière dont le nouveau service est établi. Le processus de conception de la solution de connectivité du dernier kilomètre devrait inclure des mécanismes participatifs multipartites pour faire apparaître et prendre en compte un large éventail de perspectives.

En fin de compte, la question de l'accessibilité relève de la perception, dans la mesure où elle implique la valeur que les utilisateurs accordent à la connectivité par rapport au coût monétaire engagé pour le service. L'identification d'un niveau de prix abordable passe donc aussi par la compréhension des services pour lesquels les utilisateurs souhaitent ou peuvent s'attendre à utiliser la connectivité, et de la valeur qu'ils revêtent aux yeux des membres de la localité – soulignant à nouveau la nécessité d'un mécanisme de participation qui favorise la compréhension des besoins et des préférences de la localité.

De l'accessibilité dépend le succès de l'intervention. Elle est un facteur déterminant de l'impact que la connectivité peut avoir sur la localité cible. En tant que tels, les tarifs généraux du marché n'ont que peu d'importance – ce n'est pas parce que tout le monde paie pour la connectivité à un certain taux que les utilisateurs de la localité cible seront disposés à le faire également. Les interventions ciblées capables de fixer des niveaux de prix spécifiques à la localité cible devraient en tenir compte; les entités commerciales qui vendent des services sous leur marque peuvent avoir plus de difficultés à ajuster les tarifs, ce qui sera pris en compte lors du choix d'une solution.

3.2.2 Utilisation

La détermination ex ante de l'utilisation du service de connectivité sur le dernier kilomètre aura un impact significatif sur l'estimation du type de service à établir de même que sur les coûts et les prix de ce service. Il se peut que la qualité de service (et donc l'utilisation générale) soit définie par tout ce que le marché est à même de soutenir; ou l'utilisation pourrait être plus normative dans la mesure où le service de connectivité du dernier kilomètre requiert des activités spécifiques telles que la fourniture de solutions de connectivité pour les services de santé (télémedecine), l'apprentissage à distance ou les services administratifs.

Comme mentionné au paragraphe 2.3.1 (Caractéristiques d'utilisation), le service de connectivité globale propose une large gamme de niveaux d'utilisation généralement limités par la qualité de service et le prix de la connectivité. Si le service de connectivité porte sur des applications sectorielles spécifiques, la qualité de service qui doit être assurée par le réseau sera déterminée par les seuils de qualité de service nécessaires pour ces applications et services. Pour les localités cibles qui sont totalement non desservies, les considérations relatives au réseau telles que la largeur de bande par utilisateur et la qualité de service globale peuvent être supérieures ou inférieures à celles du marché en général. Un mécanisme participatif impliquant de nombreuses parties prenantes (sinon toutes) pourrait également être utile à cet égard.

Au niveau des communautés mal desservies, les utilisateurs pourront mieux appréhender le différentiel d'accès dans leur localité, en termes de ce qu'ils peuvent et ne peuvent pas faire avec la connectivité existante. L'une des difficultés avec les communautés totalement non desservies est qu'il n'existe pas de modèles d'utilisation et qu'elles ne peuvent pas avoir une

compréhension aussi précise du niveau de connectivité qui serait le plus adapté. C'est pour cela également que l'utilisation normative pourrait être une mesure d'utilisation plus utile pour ces localités cibles, du moins en ce qui concerne les services numériques essentiels tels que la télémédecine et l'éducation.

Cela étant dit, une approche participative peut être utile dans les deux cas. Il n'existe pas de règles strictes permettant de définir les niveaux d'utilisation réels ou théoriques dans une localité donnée. La détermination de l'utilisation est une étape importante de la sélection du modèle commercial et de la solution technique appropriés, qui doit être dûment prise en compte lors du processus de sélection.

3.2.3 Viabilité financière

La viabilité financière des différentes formes de prestation de services dépend d'un certain nombre de facteurs. Les seuils d'accessibilité (le cas échéant) et les exigences d'utilisation (le cas échéant) dont il a été fait mention dans les sections précédentes peuvent entrer en ligne de compte dans le calcul de la viabilité financière. Ils peuvent également être omis, en fonction de l'objectif ultime de l'intervention. La viabilité financière dépend d'un certain nombre de facteurs favorables et de facteurs contraignants, dont certains sont énoncés ici.

Il est essentiel d'estimer la demande potentielle pour le service de connectivité de façon à déterminer si le service générera des recettes suffisantes pour couvrir les investissements en capital et les dépenses d'exploitation courantes. Du côté de l'offre, les options du service seront ajustées selon les limites environnementales/géographiques, les considérations techniques, la tarification (du raccordement) et les exigences et limitations réglementaires.

Les composantes essentielles de l'estimation de la viabilité financière comprennent l'estimation de la demande, qui implique la détermination du revenu local par habitant (ou ARPU), du niveau de population et du climat des affaires; la connaissance du coût de la conception et des technologies de réseau d'accès appropriées, incluant l'évaluation de la zone de couverture géographique, la densité de population des clients, la disponibilité du réseau électrique, les aspects réglementaires et de politique générale (concernant notamment l'octroi de licences aux ISP et l'utilisation du spectre) et les options de financement (y compris le coût du capital); et les limitations du raccordement, impliquant la distance au point de présence, la capacité disponible et le coût de la largeur de bande (voir le Tableau 27).

Pris ensemble, ces facteurs aident à obtenir une vision claire du type de dépenses d'investissement et d'exploitation auxquelles l'entité d'exploitation doit s'attendre et du niveau de recettes nécessaire pour assurer la viabilité de l'entreprise. Concernant les organismes à but non lucratif qui œuvrent avec un niveau de financement limité, ils peuvent également aider à déterminer quel type de solution de réseau d'accès serait financièrement viable, compte tenu de la contrainte de ne pas générer de profit.

Le réseau d'accès et les technologies elles-mêmes relèvent principalement des investissements en capital et sont susceptibles d'être fixés en fonction des prix de l'équipement, du déploiement et des licences, qui sont pour la plupart imposés par le marché. D'un autre côté, les limitations du raccordement et la demande de service sont les deux côtés de l'équation des dépenses de fonctionnement et peuvent être soumises au modèle de recettes particulier choisi par l'entité. Autrement dit, l'investissement en capital représente le coût minimum de déploiement du

service, tandis que les considérations relatives aux dépenses de fonctionnement ont trait à la capacité continue de l'entité à maintenir le réseau en état de fonctionnement.

Tableau 27. Composantes des évaluations de la viabilité financière

Considérations de viabilité financière	Estimation de la demande	Conception du réseau et technologies en matière d'accès	Limitations du raccordement
Composantes de données	Revenu par tête (ou ARPU) Population de la communauté (ou abonnements actifs) Recensement des entreprises (société, gouvernement, organisme à but non lucratif, etc.)	Zone géographique à ouvrir Densité de population des clients Disponibilité du réseau électrique Aspects réglementaires et de politique générale (octroi de licences aux ISP, utilisation du spectre) Options de financement (incluant le coût du capital)	Distance au point de présence du raccordement dans certains cas Capacité disponible Coût de la largeur de bande

3.2.3.1 Estimation de la demande

La demande estimée pour le service de connectivité est fonction de la taille de la population et du revenu par habitant (ou ARPU). Le nombre d'entreprises clientes potentielles estimé (supérieur ou inférieur aux attentes pour une taille de population donnée) influencera également les options du service, tout comme l'existence d'autres sources de recettes potentielles (comme une subvention récurrente directe).

Le Tableau 28 permet de définir le type de service qui serait le plus viable financièrement dans un endroit donné, en fonction de la taille de la population et du revenu ARPU. Les conditions réelles pour certaines localités peuvent néanmoins différer d'un cas à l'autre, selon l'objectif spécifique de l'intervention: un gouvernement qui a l'intention de fournir un service filaire dans une zone à faible revenu peu densément peuplée ne sera pas affecté par les considérations commerciales qui impactent le récapitulatif des options mentionné ci-dessous.

Pour la plupart des entités (en particulier les fournisseurs commerciaux), le service filaire fixe convient principalement aux zones à forte population, y compris dans les zones ayant par ailleurs un faible revenu ARPU. La raison principale en est le coût de déploiement des nouveaux réseaux filaires et l'extension nécessaire pour que les services filaires deviennent financièrement viables. À l'autre extrémité du spectre, le service de point d'accès WiFi est une solution peu coûteuse qui peut être viable, en particulier en tant que service complémentaire pour d'autres formes d'accès, sous réserve d'une solution de raccordement viable.

Pour les entités à but non lucratif ou les entités bénéficiant par ailleurs d'un financement ou de subventions, le financement supplémentaire peut aider à combler les coûts d'investissement élevés d'une solution particulière et permettre son déploiement dans des zones de faible retour sur investissement. Par exemple, alors qu'une technologie sans fil fixe terrestre, telle que les hyperfréquences, serait appelée à être déployée dans des zones à revenu ARPU élevé, là où il

est possible de récupérer les dépenses d'investissement, une subvention pourrait permettre à une entité de déployer la technologie même dans des zones de revenu ARPU moyen à faible. Cela montre que la viabilité financière dépend des circonstances particulières du déploiement et que des solutions techniques appropriées nécessitent la bonne combinaison de financement et de conception du réseau.

Tableau 28. Estimation de la demande par taille de population et revenu

	Très petite population (< 3 000 personnes)	Petite population (3 000 à 10 000 personnes)	Population plus importante (> 10 000 personnes)
Revenu très faible (ARPU < USD 3/mois)	Données cellulaires limitées (2G, 3G); service de données limitées sur point d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite)	Données cellulaires limitées (2G, 3G); service de données limitées sur point d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite)	Données cellulaires (2G, 3G, 4G); service de données sur points d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite) ou fixe sans fil (terrestre ou par satellite); services fixes filaires (FTTH, câble, cuivre)
Revenu faible (ARPU entre USD 3 et 10/mois)	Données cellulaires limitées (2G, 3G); service de données limitées sur point d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite)	Données cellulaires (2G, 3G, 4G); service de données sur points d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite) ou fixe sans fil (terrestre ou par satellite)	Données cellulaires (2G, 3G, 4G); service de données sur points d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite) ou fixe sans fil (terrestre ou par satellite); services fixes filaires (FTTH, câble, cuivre)
Revenu supérieur (ARPU supérieur à USD 10/mois)	Données cellulaires (2G, 3G, 4G); service de données sur points d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite) ou fixe sans fil (terrestre ou par satellite)	Données cellulaires (2G, 3G, 4G); service de données sur points d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite) ou fixe sans fil (terrestre ou par satellite); services fixes filaires potentiels	Données cellulaires (2G, 3G, 4G); service de données sur points d'accès WiFi (peut être pris en charge par satellite) ou fixe sans fil (terrestre ou par satellite); services fixes filaires (FTTH, câble, cuivre)

3.2.3.2 Conception du réseau d'accès et technologies

Les technologies auxquelles il est possible de faire appel pour le réseau d'accès sont déterminées par la taille de la population, la zone géographique et les caractéristiques topographiques. Les petites zones à forte densité de population peuvent être desservies par des technologies localisées telles que le WiFi. Les zones étendues, en revanche, nécessitent une couverture de réseau cellulaire ou une connectivité directe par satellite. De même, un terrain montagneux empêchant la visibilité limitée entre les systèmes radioélectriques peut requérir une conception de réseau plus complexe et/ou l'utilisation de technologies en dehors du champ de vision.

Le Tableau 29 fournit un bref résumé de la technologie et des options de service pour des combinaisons données de taille de population et de topographie. Les zones à terrain plat sont les plus polyvalentes et autorisent plusieurs solutions technologiques possibles pour le déploiement, étant donné la dépendance de certaines technologies en visibilité directe. Par ailleurs, la technologie des réseaux WiFi maillés est la plus appropriée pour les petites zones avec un terrain plat, compte tenu des défis posés par le déploiement du WiFi à l'échelle de grandes zones par rapport au coût de l'équipement de réseau.

Parmi les différentes technologies d'accès, la technologie cellulaire peut être utilisée sur tout type de terrain et de densité de population, même si l'aspect financier du déploiement varie considérablement en fonction de facteurs tels que le terrain, la disponibilité du point de présence et la densité de population. Pour toutes les technologies sans fil, le coût d'utilisation des ressources spectrales sous licence entre en ligne de compte, sauf pour les solutions qui n'utilisent que des bandes de fréquences non soumises à licence comme le WiFi.

Tableau 29. Options du réseau d'accès en fonction de la zone et des caractéristiques géographiques*

	Petite zone géographique, terrain plat	Petite zone géographique, terrain montagneux	Grande zone géographique, terrain plat	Grande zone géographique, terrain montagneux
Seuils relatifs	< 10 km ² ; visibilité directe sur la majeure partie du terrain	< 10 km ² ; pas de visibilité directe sur la majeure partie du terrain	< 10 km ² ; visibilité directe sur la majeure partie du terrain	< 10 km ² ; pas de visibilité directe sur la majeure partie du terrain
Options potentielles du service	Réseau maillé de points d'accès WiFi avec liaisons point à point ou point à multipoint; cellulaire	Cellulaire, satellite	Solutions cellulaires ou satellitaires sur une zone étendue; liaisons hyperfréquences point à point ou point à multipoint dans un réseau hertzien maillé	Solutions cellulaires ou satellitaires sur une zone étendue

* Le Tableau 29 présente les principales technologies sans fil. D'autres technologies émergentes peuvent également être envisagées dans des situations spécifiques, par exemple pour les pays qui ont commencé à octroyer des licences aux technologies émergentes décrites ci-avant.

3.2.3.3 Limitations du raccordement

Les options de qualité de service (mesures du débit dans la bande passante en termes de vitesse ascendante, descendante et temps de latence) dans le réseau d'accès sont limitées par le raccordement disponible pour interconnecter le réseau d'accès à l'infrastructure du réseau central dans le pays. En l'état, il est plus qu'essentiel d'examiner les options de raccordement avant de choisir une technologie. Sans une source adéquate de raccordement, le débit potentiel de tout réseau d'accès sera réduit.

Pour sélectionner la technologie d'accès, les entités devront définir le type d'utilisation possible pour la largeur de bande disponible à partir du raccordement et concevoir le réseau en utilisant des technologies à la hauteur de la tâche. Si certaines interventions choisissent de déployer des réseaux câblés de haute capacité en prévision de la disponibilité croissante du raccordement de demain, ces déploiements prospectifs seront majoritairement réservés aux gouvernements ou à d'autres entités qui disposent de ressources considérables.

Pour la plupart des déploiements où le financement pose problème, tirer le meilleur parti des ressources limitées signifie choisir la technologie de réseau d'accès en fonction du raccordement disponible et en ne prenant que modérément en compte la croissance future

éventuelle. Ainsi, les zones géographiques où la largeur de bande est une ressource rare peuvent choisir de déployer un service cellulaire limité (comme la 2G de base et les SMS), sachant que le raccordement ne permettra qu'un usage limité. Cela affecte également ce que l'entité peut facturer aux utilisateurs pour l'accès au réseau et se répercute par conséquent sur la viabilité financière globale de l'entreprise.

La disponibilité du raccordement affecte également le choix du modèle commercial et du modèle de recettes et aide à déterminer si des fonds supplémentaires (ou des subventions) sont nécessaires. Le coût de la largeur de bande est une dépense d'exploitation récurrente importante et il est essentiel, pour garantir la viabilité, de définir si les recettes attendues par rapport à l'utilisation prévue seront suffisantes pour couvrir les coûts. Le Tableau 30 décrit les limitations imposées par les diverses combinaisons regroupant disponibilité de largeur de bande et coût de raccordement des réseaux d'accès.

Les limitations du raccordement peuvent sérieusement affecter la viabilité des modèles techniques et commerciaux et doivent être prises en considération à la lumière des objectifs fixés pour le réseau d'accès. Lorsque le raccordement ne fournit qu'une faible bande passante à un prix élevé, la viabilité commerciale ne sera assurée que si le service est destiné à des utilisateurs finals tels que des entreprises ou autres organisations. Si l'objectif est de fournir un service abordable pour tous dans une localité, ce dernier ne peut être réalisé compte tenu des limitations du raccordement ou nécessite l'utilisation de subventions afin de ramener le coût de la largeur de bande par utilisateur à des niveaux acceptables.

Idéalement, le raccordement devrait avoir une largeur de bande abondante et disponible à bas prix, gage d'une flexibilité maximale en termes de conception de réseau et d'utilisation potentielle (et par conséquent de modèles de recettes). Il est important de noter, cependant, que pour les déploiements ruraux avec peu ou pas de connectivité, en particulier dans les zones reculées, cette situation est plutôt rare. Ce qui est rare est cher, sur les marchés plus matures, les fournisseurs de raccordement auront souvent peu de capacité disponible pour les zones géographiques où ils ne s'attendent pas eux-mêmes à une demande importante. Connecter les zones éloignées et peu peuplées de manière abordable constitue un défi et peut nécessiter des subventions récurrentes pour réduire les réelles disparités en matière d'accès.

Dans d'autres situations, l'amélioration de l'efficacité du marché peut encourager les fournisseurs de raccordement à étendre leurs réseaux et à rendre la capacité disponible dans de nouvelles zones géographiques. Pour les réseaux d'accès, c'est une opportunité importante d'obtenir de la largeur de bande en vue de desservir de nouvelles localités. Le défi, ici encore, est de s'assurer que le raccordement est fourni à un prix abordable, soit par le biais d'interventions du côté de l'offre (telles que des remises fiscales ou autres formes d'incitation à réduire le coût de la largeur de bande) ou du côté de la demande (via des subventions).

Tableau 30. Limitations du raccordement par capacité (largeur de bande et plafonds de données) et prix

	Faible capacité de raccordement (largeur de bande et plafond de données)	Forte capacité de raccordement (largeur de bande et plafond de données)
Prix bas	Il existe peu de situations où à la fois la capacité et les prix se situent en bas de l'échelle, car la capacité lorsqu'elle est limitée fait normalement grimper les prix; cela peut néanmoins se produire si la capacité de raccordement est dédiée aux locataires principaux ou aux services gouvernementaux à des tarifs réglementés et si une capacité supplémentaire mineure est disponible pour des accords commerciaux. De telles situations peuvent toujours prendre en charge les services de connectivité de base.	La forte capacité et les prix bas offrent une flexibilité optimale en matière de conception de déploiement des réseaux d'accès et imposent des contraintes minimales sur l'utilisation potentielle par les consommateurs finals.
Prix élevé	La faible capacité et les prix élevés sont la norme dans les zones reculées et rurales où le raccordement disponible est limité dans le voisinage immédiat. Cela conduit à des situations où le déploiement de réseaux d'accès est plus limité et qui se caractérisent, entre autres, par des prix élevés pour l'utilisateur final ou le besoin de subventions.	Une forte capacité à prix élevé peut caractériser des situations où seuls les consommateurs à revenu élevé peuvent accéder aux services ou des situations nécessitant une subvention publique, à moins que les modèles commerciaux et de recettes du réseau d'accès ne soient en capacité d'appliquer de vrais prix discriminatoires et de segmenter les consommateurs pour maximiser l'efficacité.

3.2.4 Structure

La structure de l'entité qui fournit le service dépend de la disponibilité des options dans l'environnement politique et réglementaire du marché (voir la section 2.10 Régimes politiques et réglementaires). L'environnement politique et réglementaire général qui régit la connectivité Internet dans un pays donné contribue significativement à autoriser et à encourager le déploiement de nouveaux services pour les communautés non connectées ou, à l'inverse, constitue un obstacle au déploiement. En fonction du type d'intervention sélectionné et de l'environnement politique global, différents types d'intervention de connectivité sur le dernier kilomètre peuvent être utilisés pour résoudre différents problèmes réglementaires.

De façon générale, les entités commerciales sont soumises à des exigences réglementaires plus strictes que les entités non commerciales, et les opérateurs de réseau mobile (MNO) qui proposent des services complets doivent satisfaire à plus d'exigences que les fournisseurs de services Internet. Cela étant dit, les environnements politiques peuvent varier considérablement d'un pays à l'autre, et les réglementations concernant les entités dépendent du contexte spécifique. Par exemple, les environnements réglementaires dans certaines économies avancées, comme le Japon, n'exigent qu'un processus d'enregistrement pour les entités exclusivement Internet, tandis qu'aux Philippines, un fournisseur de services complet requiert une franchise législative du Congrès, en plus d'autres licences, y compris pour le spectre.

Dans le cas des entités à but non lucratif, l'octroi d'une licence pour l'utilisation du spectre qui, dans certaines juridictions, n'est disponible que pour les entités commerciales, constitue un obstacle fréquent à l'entrée. Dans d'autres cas, certaines dispositions régissent l'utilisation du

spectre à des fins non commerciales. Par conséquent, le type de technologie qu'une entité entend utiliser peut influencer le type de structure qui convient le mieux à ses objectifs.

Une entité qui a l'intention de redistribuer la bande passante cellulaire disponible dans le commerce, à l'aide d'un réseau maillé WiFi, n'a normalement pas besoin de faire une demande de licence pour l'utilisation du spectre, puisque le WiFi utilise des fréquences radioélectriques non soumises à licence. En revanche, l'utilisation des fréquences cellulaires nécessite normalement une licence MNO, en plus de la licence spécifique à la fréquence utilisée. Pour les entités à but non lucratif, une façon d'éviter d'avoir à demander une licence de spectre est de conclure un partenariat avec un opérateur MNO existant pour l'utilisation de ses fréquences (et aussi l'accès à son réseau). Cela fait souvent l'objet, cependant, d'un accord commercial avec l'opérateur MNO.

En fonction de l'environnement politique, la structure choisie peut également avoir un impact sur les fréquences (et les technologies) auxquelles elle a accès et sur le coût des ressources spectrales qui peuvent être obtenues. Dans certaines juridictions, des politiques spéciales sont en place pour permettre aux entités à but non lucratif ou aux petits acteurs commerciaux d'obtenir plus facilement des ressources de spectre aux enchères, par exemple via des crédits d'enchères.

En définitive, le choix de la structure affecte non seulement l'aspect réglementaire d'une entité opérationnelle, mais également ses modèles techniques et commerciaux. Comme pour les autres dimensions, la structure la plus appropriée est choisie en fonction du contexte et des objectifs de l'intervention, en gardant à l'esprit les contraintes liées aux structures spécifiques, notamment lorsqu'il s'agit de l'utilisation des technologies sans fil. Le Tableau 31 met en exergue certains problèmes de réglementation auxquels différents types d'interventions de connectivité du dernier kilomètre peuvent être confrontés.

Tableau 31. Problèmes de réglementation par structure organisationnelle

	MNO commercial	ISP commercial	Réseau mobile local à but non lucratif	Réseau ISP local à but non lucratif
Problème de réglementation	Licences commerciales requises pour l'exploitation des télécommunications; droits requis en matière de spectre sous licence	Licence ISP commerciale requise	Droits requis en matière de spectre sous licence (sauf partenariats avec un opérateur MNO); une licence de télécommunication peut être requise	Une licence ISP peut être requise

3.2.5 Durabilité

La durabilité va ici au-delà de la modélisation des recettes et considère la viabilité de l'intervention sur le long terme, en tenant compte des dépenses de fonctionnement, de la croissance future et des mises à niveau. Les entités commerciales existantes ont normalement intégré cette approche lorsqu'il s'agit de décider de la faisabilité d'un nouveau site de déploiement. Cela peut être plus compliqué, en revanche, pour les nouveaux acteurs commerciaux ou les entités

à but non lucratif qui doivent s'assurer que les sources de financement (provenant des recettes et autres sources) sont bien en mesure de soutenir les opérations et la croissance sur le long terme.

Les entités à but non lucratif qui dépendent de subventions récurrentes doivent notamment envisager la possibilité que ces subventions puissent cesser ou diminuer sensiblement. Nombre de petits réseaux d'accès, qui offraient un service d'accès gratuit, ont cessé de fonctionner une fois les subventions épuisées. Ces entités devraient instaurer une forme de redevance d'utilisation comme moyen d'assurer la viabilité de l'intervention.

Les entités commerciales à but non lucratif devraient *a minima* disposer de sources de financement suffisantes pour couvrir les dépenses opérationnelles récurrentes, notamment la bande passante, l'électricité de même que l'entretien et la maintenance à intervalles réguliers des équipements du réseau. Certaines entités commerciales sont en mesure de justifier le maintien de la prestation de service dans une zone à perte en tant que forme de responsabilité sociale des entreprises ou afin de répondre aux obligations de couverture. Les entités à but non lucratif, qui ne peuvent pas se permettre de fonctionner à perte et dont les frais d'utilisation ne sont pas suffisants pour atteindre le seuil de rentabilité, peuvent envisager des contributions en nature (équipement de réseau et sous forme de main-d'œuvre pour l'installation et l'entretien du réseau) ou des subventions permanentes de la localité ou du gouvernement.

Une fois que le réseau a atteint une durabilité pour les opérations courantes, la question de sa croissance et de son expansion se pose. Pour les entités commerciales, il s'agit normalement d'une réponse à la demande croissante de la localité, et l'expansion du réseau est en fait une décision d'investissement qui est prise sur la base de leur rentabilité propre. Pour les entités à but non lucratif qui fournissent la connectivité à des fins humanitaires ou à d'autres fins similaires, l'extension de la portée du réseau peut nécessiter un financement supplémentaire substantiel qui n'est pas facilement disponible sur la base des taxes d'utilisation et des subventions existantes.

Une façon de résoudre ce problème consiste à apporter des équipements provenant de partenaires ou de membres de la localité. Cela suppose que les frais d'utilisation dans la nouvelle zone cible seront suffisants pour couvrir la bande passante supplémentaire requise, ou que des subventions seront également disponibles pour l'expansion. La même logique s'applique pour mettre à niveau les équipements de réseau ou augmenter la bande passante, et nécessite soit des frais d'utilisation plus élevés, soit une augmentation des subventions. Le Tableau 32 met en évidence les divers problèmes de durabilité auxquels sont confrontés les différents types d'intervention de connectivité du dernier kilomètre.

Tableau 32. Aspects de durabilité par structure organisationnelle

	MNO commercial	ISP commercial	Réseau mobile local à but non lucratif	Réseau ISP local à but non lucratif
Aspects de durabilité	Opération commerciale devant atteindre le seuil de rentabilité (ou fournir une couverture en tant qu'effort de responsabilité sociale d'entreprise ou une exigence d'obligation de couverture)	Opération commerciale devant atteindre le seuil de rentabilité (ou fournir une couverture en tant qu'effort de responsabilité sociale d'entreprise ou une exigence d'obligation de couverture)	Les frais d'utilisation pourront être complétés par des contributions en nature (installation et fonctionnement du réseau) ou par des subventions continues de la communauté ou du gouvernement	Les frais d'utilisation pourront être complétés par des contributions en nature (installation et fonctionnement du réseau) ou par des subventions continues de la communauté ou du gouvernement

3.3 Élaborer la matrice décisionnelle pour des solutions réalisables (étape 3c)

Les interventions disposent d'une vaste gamme d'options et le processus de filtrage des caractéristiques des contraintes peut être linéaire (par exemple, un arbre de décision) ou itératif (définir un bon ajustement sur la base de toutes les entrées et contraintes propres à chaque situation).

Le Tableau 33 ci-dessous illustre l'une de ces matrices de décision pouvant aider à filtrer les options d'intervention pertinentes en fonction des caractéristiques de la situation et des contraintes présentées ci-avant. Les critères d'accessibilité et d'utilisation peuvent être appliqués ex ante au processus de sélection sur la base des décisions prises pour limiter les interventions à celles qui satisfont à certains seuils de prix de service pour des niveaux de service prédéterminés.

Pour les critères de viabilité financière, la structure des entités potentielles et la durabilité, les différentes caractéristiques des quatre types d'intervention détermineront quelle peut être la solution la plus adaptée.

Cependant, pour l'un des types d'intervention énumérés ci-dessous (MNO commercial, ISP commercial, réseau mobile local à but non lucratif ou réseau ISP local à but non lucratif), différentes technologies peuvent être utilisées et, dans la plupart des cas, plusieurs technologies peuvent être déployées dans différentes parties de la chaîne de valeur des télécommunications, ainsi que dans différentes parties des réseaux. Ces réseaux hybrides basés sur la technologie (également appelés réseaux hétérogènes) peuvent également présenter divers modèles commerciaux. L'arbre de décision est un exemple de matrice de décision pour identifier les solutions d'intervention potentielles (voir Annexe 3).

Tableau 33. Matrice de décision pour identifier les solutions appropriées

	MNO commercial	ISP commercial	Réseau mobile local à but non lucratif	Réseau ISP local à but non lucratif	
Accessibilité	Mesure ex ante du seuil d'accessibilité (par ex. 2% du RNB mensuel par habitant pour 1 Go de données pour le large bande mobile) appliqué au niveau national ou local; déterminer si cela régira le processus de sélection ou s'il est utilisé simplement comme mesure externe des progrès.				
Utilisation	Détermination ex ante des besoins d'utilisation: l'utilisation sera-t-elle définie en fonction de ce que le marché (et la viabilité financière) peut prendre en charge, ou existe-t-il des services et applications spécifiques (tels que l'administration en ligne, la santé ou l'éducation) qui nécessitent d'atteindre des seuils de qualité de service spécifiques?				
Viabilité financière	Estimation de la demande et viabilité financière	Petite population/ faible revenu Petite population/ revenu supérieur Plus grande population/ faible revenu Plus grande population/ revenu supérieur	Petite population/ faible revenu Petite population/ revenu supérieur Plus grande population/ faible revenu Plus grande population/ revenu supérieur	Petite population/ faible revenu	Petite population/ faible revenu Petite population/ revenu supérieur Plus grande population/ faible revenu
	Options de qualité de service (raccordement)	Haute capacité et prix compétitifs	Haute capacité et prix compétitifs	Faible capacité et prix élevés	Faible capacité et prix élevés
	Caractéristiques du réseau d'accès	Petite zone/terrain plat Grande zone/terrain plat	Petite zone/terrain plat Petite zone/terrain montagneux Grande zone/terrain plat Grande zone/terrain montagneux	Petite zone/terrain plat Petite zone/terrain montagneux Grande zone/terrain plat	Petite zone/terrain plat Petite zone/terrain montagneux Grande zone/terrain plat Grande zone/terrain montagneux
	Structure	Licences commerciales requises pour l'exploitation des télécommunications; droits requis en matière de spectre sous licence	Licence ISP requise	Droits requis en matière de spectre sous licence (sauf partenariats avec un opérateur MNO); une licence de télécommunication peut être requise	Licence ISP requise
	Durabilité	Opération commerciale devant atteindre le seuil de rentabilité (ou fournir une couverture en tant qu'effort de responsabilité sociale d'entreprise ou une exigence d'obligation de couverture)	Opération commerciale devant atteindre le seuil de rentabilité (ou fournir une couverture en tant qu'effort de responsabilité sociale d'entreprise ou une exigence d'obligation de couverture)	Les frais d'utilisation pourront être complétés par des contributions en nature (installation et fonctionnement du réseau) ou par des subventions continues de la communauté ou du gouvernement	Les frais d'utilisation pourront être complétés par des contributions en nature (installation et fonctionnement du réseau) ou par des subventions continues de la communauté ou du gouvernement

3.4 Envisager des outils supplémentaires pour évaluer les solutions (étape 3d)

Il existe toute une gamme d'outils supplémentaires pour aider à la prise en charge du dimensionnement adéquat des déploiements du réseau et à l'estimation des besoins en matière d'investissement. La Commission européenne, par exemple, utilise un arbre décisionnel allant de l'élaboration d'un plan initial large bande au plan d'action pour l'exécution en passant par le choix des types d'infrastructure, des modèles d'investissement, des modèles commerciaux et des outils de financement⁶⁵. La Banque mondiale dispose elle aussi d'un schéma de décision pour différents scénarios, ou niveaux d'engagement, relatifs à l'intervention du gouvernement dans le déploiement des infrastructures⁶⁶.

Le Tableau 34 présente ces arbres décisionnels, en plus des outils de modélisation des investissements (rapports et tableurs) qui permettent d'estimer les coûts de déploiement, les recettes potentielles et la faisabilité économique. Le *Kit pratique pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC* de l'UIT, notamment, fournit une série d'analyses économiques différentes pour estimer les principales mesures financières de tout investissement potentiel dans l'infrastructure, telles que la demande, les recettes, les dépenses en capital, les dépenses de fonctionnement, les coûts moyens pondérés et la valeur actualisée nette⁶⁷.

Tableau 34. Outils supplémentaires pour évaluer les solutions (aide à la décision et modélisation des investissements)

Type de l'outil	Nom de l'outil	URL	Applicabilité
Aide à la décision	Modélisation des investissements de l'Union européenne	https://ec.europa.eu/digital-single-market/node/77755	Processus de sélection du modèle commercial
	Modèles commerciaux innovants de la Banque mondiale	http://documents.worldbank.org/curated/en/674601544534500678/pdf/132845-7-12-2018-17-20-11-InnovativeBusinessModels.pdf	Détermination de l'aide publique pour l'infrastructure de réseau central
	Choix de l'infrastructure de télécommunication rurale	https://pdfs.semanticscholar.org/1b90/b5db52b035292c06d35f95d13cb4ba1e9e5e.pdf	Divers critères pour la connectivité rurale du dernier kilomètre
	Rapport "Combler les disparités sur le plan de l'accès" avec des considérations clés et des modèles d'accès	https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/15396/Closing-the-Access-Gap.pdf	Identification des modèles d'accès pour la connectivité du dernier kilomètre
Modélisation des investissements	Kit pratique de l'UIT pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC	https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/obp/pref/D-PREF-EF.ITU-STRUCT_KIT-2019-PDF-F.pdf	Exigences en matière d'investissement dans les réseaux

⁶⁵ Commission européenne, *Basic business models* (page Web, dernière mise à jour le 3 juillet 2020).

⁶⁶ Banque mondiale, op. cit., note 76.

⁶⁷ UIT, *Kit pratique pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC* (Genève, 2019).

Tableau 34. Outils supplémentaires pour évaluer les solutions (aide à la décision et modélisation des investissements) (suite)

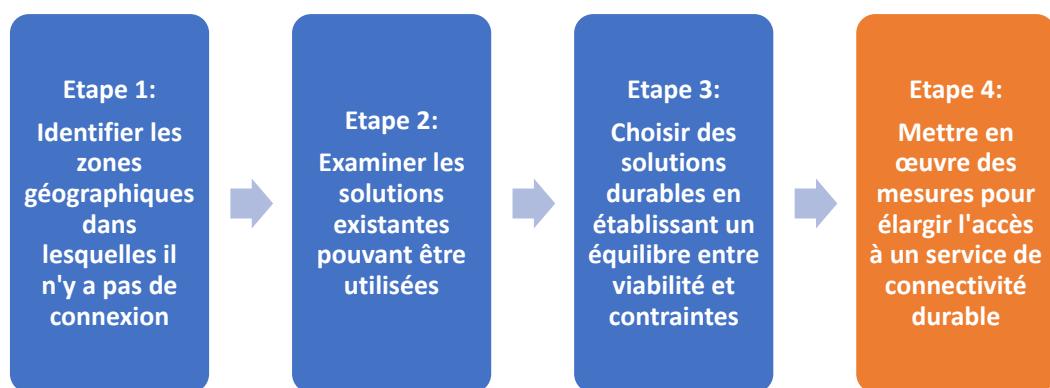
Type de l'outil	Nom de l'outil	URL	Applicabilité
	Modèle de rapport "Connecter l'Afrique grâce au large bande"	https://www.broadbandcommission.org/Documents/working-groups/DigitalMoonshotforAfrica_Report.pdf	Modélisation des investissements nationaux en matière d'accès universel
	Outil d'investissement Internet pour tous (Forum économique mondial)	http://www3.weforum.org/docs/IFA_models_for_year.xlsx	Présentation d'un outil de modélisation des investissements utilisé pour l'Afrique de l'Est
	Outil de modélisation commerciale pour la connectivité sur le dernier kilomètre (USAID)	http://inclusion.digitaldevelopment.org/resources/last-mile-connectivity-business-modeling-tool	Modélisation financière des interventions en matière de connectivité sur le dernier kilomètre

Chapitre 4: Mettre en œuvre des mesures pour élargir l'accès à un service de connectivité durable (étape 4)



Une fois que des solutions durables ont été identifiées, l'étape suivante du processus consiste à déterminer quelles actions supplémentaires peuvent être nécessaires en vue d'appuyer leur mise en œuvre. L'étape 4 porte sur ces mesures d'appui. La Figure 34 indique la place qu'occupe cette étape dans le processus global et montre les activités correspondantes.

Figure 34. Étape 4 du Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre.



Activités dans le cadre de l'étape 4 visant à mettre en œuvre des mesures pour élargir l'accès à un service de connectivité durable:

- 4a** - Options d'intervention - Introduction
- 4b** - Options d'intervention - Mesures visant à améliorer l'efficacité du marché
- 4c** - Options d'intervention - Financement ponctuel (subventions intelligentes)
- 4d** - Options d'intervention - Financement/subventions récurrents
- 4e** - Exemples d'options (tirés des études de cas présentées)

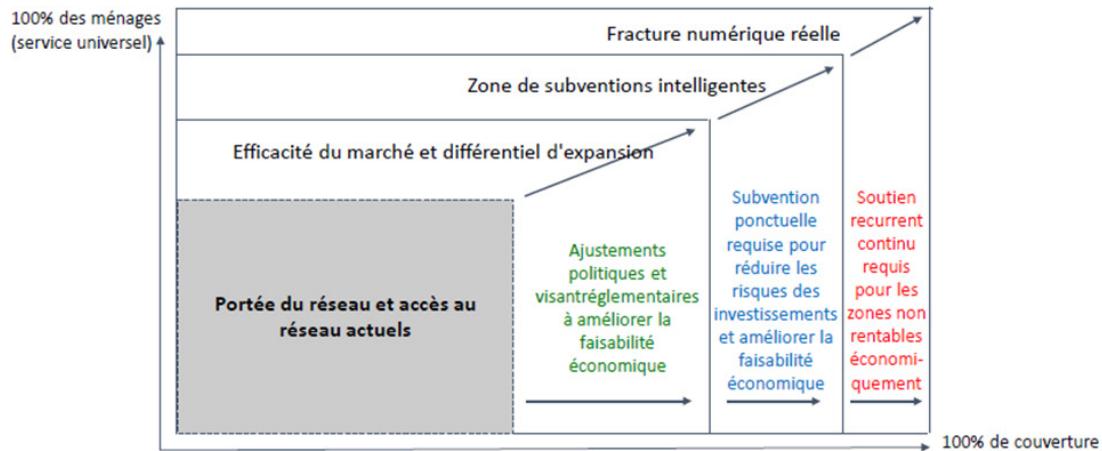
4.1 Options d'intervention - Introduction (étape 4a)

Comme indiqué dans la section 2.3.3.1 (Les motifs des subventions (aucune subvention, subvention ponctuelle, subvention récurrente)), il existe trois types généraux de mesures permettant de favoriser la couverture et l'accès universels en vue d'offrir une connectivité Internet. Aux fins du présent Guide, ces trois catégories de mesures sont également utilisées pour regrouper les interventions qui encouragent le déploiement du service de connectivité sur le dernier kilomètre (voir la Figure 35).

La première catégorie concerne les mesures d'ordre politique et réglementaire qui visent à renforcer la fourniture de services de façon réalisable sur le plan économique (il y est fait référence ci-après en tant que mesures relatives à l'efficacité et à l'expansion du marché). Elle comprend les actions visant à remédier aux défaillances du marché et à limiter les possibilités d'investissement du secteur privé dans la fourniture de services.

La deuxième catégorie concerne les financements ponctuels ou les subventions limitées qui atténuent les risques liés aux investissements privés (également appelées subventions intelligentes). Elle comprend une série de mesures de financement public ponctuel (ainsi que de mesures d'incitation fiscale) et est présentée dans la section 4.3 (Options d'intervention - Financement ponctuel (subvention intelligente)).

La dernière catégorie est axée sur les financements publics récurrents, lorsque la fourniture de services n'est pas réalisable sur le plan économique, dans la mesure où le retour sur investissement des investissements privés est insuffisant et où des subventions récurrentes et continues sont nécessaires pour fournir les services. La Section 4.4 (Options d'intervention - financement/ subventions récurrents (étape 4d)) décrit les options d'intervention possibles.

Figure 35. Classement des interventions selon les disparités en matière d'accès

Source: Kit pratique de l'UIT sur la réglementation des TIC, note 42

4.2 Options d'intervention - Mesures visant à améliorer l'efficacité du marché (étape 4b)

Le Tableau 35 met en avant un certain nombre de mesures d'ordre politique et réglementaire qui visent à renforcer la fourniture de services de façon durable sur le plan économique en encourageant l'expansion et le déploiement du marché et en remédiant aux défaillances du marché, ainsi que leur applicabilité aux différentes interventions en matière de connectivité sur le dernier kilomètre.

L'amélioration des ressources de données des marchés sur la couverture du réseau, les ressources d'infrastructure, la densité de population, les revenus de la population et l'électrification du réseau, par exemple, afin d'identifier avec précision les populations qui ne sont pas desservies et les solutions dont elles ont besoin, est une étape fondamentale si l'on veut améliorer l'efficacité du marché. En particulier lorsque les zones mal desservies et non desservies ne sont pas détectées, les accords commerciaux existants peuvent donner lieu à une défaillance du marché. Le fait de s'assurer que des informations suffisantes soient mises à la disposition des entités commerciales afin qu'elles puissent prendre des décisions éclairées en ce qui concerne l'expansion du réseau peut contribuer à améliorer la couverture et à renforcer la connectivité sur le dernier kilomètre.

L'octroi de licences spécifiques pour les zones rurales caractérisées par des exigences simplifiées contribue à encourager l'entrée sur le marché d'entités commerciales et d'entités à but non lucratif dans les localités mal desservies ou non desservies. La licence mise en place par la Tanzanie pour les micro-opérateurs de réseau mobile, par exemple, encourage le déploiement de services cellulaires pour les zones rurales peu peuplées. Un tel modèle est particulièrement utile lorsque les exigences réglementaires applicables aux opérateurs offrant des services complets constituent un obstacle structurel à l'entrée de nouvelles entités.

Dans le même ordre d'idées, l'octroi de licences à des opérateurs à but non lucratif qui ne sont pas assujettis aux redevances coûteuses et aux obligations strictes qui sont appliquées aux opérateurs commerciaux permet de réduire les obstacles réglementaires à l'entrée sur le marché, ces entités ne bénéficiant pas des mêmes modèles de revenus que les opérateurs

commerciaux. Ces mesures d'incitation pourraient également être mises en œuvre afin de permettre aux acteurs existants d'étendre leurs réseaux et leurs services.

La réduction du coût des licences d'utilisation du spectre pour les zones rurales et/ou l'attribution directe de fréquences à des fins sociales témoignent du fait que les redevances de licence d'utilisation du spectre peuvent constituer un obstacle important au déploiement de la connectivité hertzienne sur le dernier kilomètre par de petites entités. En particulier dans le cas des fréquences pour les services cellulaires au sein des régimes d'assignation par mise aux enchères, il peut être difficile de recouvrer le coût des licences dans les zones rurales peu peuplées, surtout lorsque s'ajoute le coût du déploiement. La réduction du coût des licences, l'octroi de crédits d'enchères de fréquences ou l'attribution de fréquences à des fins sociales permettent de réduire l'obstacle financier lié au déploiement des technologies cellulaires dans les zones où elles pourraient être adaptées sur le plan technique, mais où, compte tenu du coût des licences, il ne s'agit pas d'une solution viable sur le plan financier.

Une autre intervention de même nature consiste à autoriser l'utilisation secondaire du spectre. Dans les zones où une entité détenant une licence d'utilisation de certaines bandes de fréquences n'utilise pas ces fréquences, ou n'exploite aucun réseau, le fait d'autoriser l'utilisation secondaire du spectre favorise une utilisation efficace des fréquences, qui sont une ressource rare. Le partage du spectre permet d'éviter les inefficacités liées à l'octroi de licences sur le marché; dans ce cas, il est nécessaire de reconnaître que les petites entités (en particulier les opérateurs de réseau mobile à but non lucratif) peuvent utiliser des fréquences déjà attribuées à un autre acteur lorsque celui-ci n'a pas trouvé de solution viable sur le plan commercial pour fournir une connectivité à la localité en question.

Autoriser l'utilisation commerciale et non commerciale de bandes sans licence et/ou non soumises à licence permet d'avoir recours à des options technologiques pour le déploiement, grâce aux technologies hertziennes. Au Brésil, le fait d'autoriser CELCOM, un réseau cellulaire communautaire, à utiliser la licence spéciale à des fins scientifiques et expérimentales pour prendre en charge des services et des applications large bande a contribué à réduire les inégalités en matière d'accès dans les localités cibles. Là où les technologies existantes permettent d'utiliser des bandes sans licence et/ou sans obligation de licence pour fournir une connectivité, le fait d'autoriser les acteurs à utiliser ces technologies ouvre des possibilités aux entités qui cherchent à fournir une connectivité sur le dernier kilomètre.

Dans de nombreux pays, les licences d'utilisation du spectre sont attribuées au niveau national, de sorte que certaines entités peuvent détenir une licence pour l'utilisation de bandes de fréquences particulières, même dans des zones où les fréquences ne sont pas utilisées. Une façon de s'assurer que les ressources du spectre, qui sont limitées, soient utilisées efficacement consiste à mettre en place et faire respecter des obligations en termes de couverture (associées à des exigences en matière de qualité de service) pour les assignations de licences de spectre. Lorsque l'on oblige les parties prenantes à fournir un certain niveau de qualité de service dans une zone de couverture donnée, les utilisateurs peuvent bénéficier plus largement des ressources du spectre attribuées aux opérateurs de réseau mobile. Cette politique pourrait être complétée par une réduction des redevances d'utilisation du spectre, des subventions ou d'autres mesures d'incitation financière⁶⁸. Elle est particulièrement utile dans les pays où les opérateurs de réseau mobile concentrent la construction de leur réseau (centres métropolitains).

⁶⁸ En 2018, l'ARCEP et les opérateurs de réseau mobile ont annoncé le lancement d'un plan intitulé "New Deal Mobile" visant à améliorer la connectivité dans les zones rurales de France.

De manière plus générale, l'autorisation des utilisations innovantes des technologies de communication pour le déploiement de services commerciaux et non commerciaux permet d'instaurer un environnement politique neutre sur le plan technologique, qui encourage l'utilisation créative des technologies disponibles en vue de leur déploiement dans les zones qui en ont besoin. Dans de nombreux cas, il existe des solutions technologiques aux problèmes techniques (comme le terrain, par exemple) qui empêchent l'accès dans une localité. Le fait de permettre aux entités d'utiliser des technologies, telles que les stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS), pour surmonter ces difficultés peut contribuer à combler les écarts en matière d'accès, en particulier lorsque les technologies plus traditionnelles se révèlent insuffisantes ou ne sont pas viables sur le plan financier.

Dans les régions où les marchés sont relativement matures, la promotion de l'itinérance nationale et de la mutualisation de l'infrastructure (des réseaux passifs et actifs) peut contribuer à surmonter les problèmes de concurrence qui font obstacle à la fourniture d'un accès abordable sur le dernier kilomètre. Par exemple, dans les cas où des opérateurs historiques puissants disposent de réseaux distincts qui couvrent des zones géographiques différentes, un système d'itinérance nationale et la mutualisation de l'infrastructure peuvent contribuer à attirer des services concurrents dans de nouvelles localités, ce qui contribuera à faire baisser les prix au profit des consommateurs.

Dans les pays qui comptent peu de parties prenantes intermédiaires, et surtout dans les cas où les fournisseurs de services sur le kilomètre intermédiaire sont des entités intégrées verticalement qui offrent également aux utilisateurs finals des services concurrents portant leur marque, une façon de renforcer la concurrence consiste à réglementer les prix de vente en gros de la capacité large bande sur le kilomètre intermédiaire, en garantissant des conditions équitables aux petits fournisseurs de services Internet. Lorsque l'on nivèle la concurrence sur le dernier kilomètre, les petits fournisseurs de services Internet sont en mesure de répercuter les économies de largeur de bande sur les consommateurs, en leur proposant une connectivité à un prix plus abordable.

La suppression des limites concernant les fournisseurs de services Internet étrangers et des restrictions à l'investissement offre plusieurs avantages qui contribuent à renforcer l'efficacité du marché. La conséquence la plus immédiate de l'ouverture du marché aux acteurs étrangers est le renforcement de la concurrence, ce qui contribue à réduire les coûts d'accès pour les utilisateurs finals. Le fait d'autoriser les fournisseurs d'accès à Internet entièrement détenus par des entités étrangères encourage aussi l'entrée de talents étrangers sur le marché, lesquels apportent leurs données d'expérience sur des marchés plus matures, ce qui peut se traduire par la prise de décisions plus judicieuses sur le plan du déploiement. La suppression des limites d'investissement peut également contribuer à faire entrer sur le marché des acteurs disposés à utiliser des technologies plus risquées et moins matures que celles des opérateurs historiques, ce qui favorise l'innovation dans le domaine de la fourniture d'accès.

Un problème courant que rencontrent les petits acteurs qui souhaitent utiliser les fréquences pour les services cellulaires tient au coût élevé de l'obtention de ressources spectrales par mise aux enchères. Lorsque l'on trouve des solutions alternatives à l'attribution du spectre au moyen d'enchères à prix élevé, les acteurs disposant de moins de ressources peuvent avoir accès aux fréquences pour les services cellulaires, ce qui leur permet de déployer leurs propres réseaux mobiles et ce qui améliore l'accès à la connectivité. De la même manière, la réduction des redevances d'utilisation du spectre pour les opérateurs nationaux existants

pourrait leur permettre d'investir davantage dans le déploiement des réseaux et d'étendre ainsi leur couverture.

Plus généralement, la promotion de la concurrence sur le marché est un moyen important d'améliorer l'efficacité du marché. Que ce soit par l'augmentation du nombre de parties prenantes, l'intensification de la concurrence, la mise en œuvre d'une réglementation antitrust ou par l'application d'autres mécanismes, l'amélioration de la concurrence contribue à faire baisser le coût de l'accès pour les utilisateurs finals. Un marché plus concurrentiel est aussi synonyme d'obstacles moins importants pour les nouveaux entrants potentiels, qui peuvent choisir de déployer leurs réseaux dans des zones non desservies par les opérateurs historiques, ce qui augmente directement la couverture d'accès.

Le fait d'alléger les procédures d'octroi de licences fastidieuses et les taxes réglementaires élevées pour les terminaux satellitaires et le spectre permet non seulement d'améliorer la viabilité financière des fournisseurs de services hertziens, mais aussi d'accélérer le déploiement et de fournir plus rapidement une connectivité aux localités qui en ont le plus besoin. Les procédures fastidieuses et les taxes élevées font obstacle à la fourniture efficace de services, et les régulateurs devraient chercher à les rationaliser autant que possible afin d'améliorer l'efficacité du marché.

L'application de réglementations favorisant la coordination des travaux d'excavation ("dig once") et garantissant le déploiement conjoint des conduits pour les réseaux à fibres optiques lorsque de nouvelles routes sont construites produit un effet similaire dans le cas des réseaux d'accès filaires ou de la fourniture de solutions de raccordement. Une grande partie du coût de déploiement des réseaux filaires souterrains concerne les travaux de génie civil nécessaires pour déployer la fibre (ou une autre technologie filaire). En outre, la construction des routes passe par des procédures bureaucratiques fastidieuses comprenant des permis de construire, des droits de passage et d'autres exigences similaires, et peut constituer une gêne indue dans les zones à forte circulation. La mise en œuvre d'une politique favorisant la coordination des travaux d'excavation permet de supprimer ces obstacles et de rendre le déploiement de réseaux filaires plus attractif pour les entités, que ce soit dans les zones urbaines ou dans les zones rurales.

De même, l'assouplissement des exigences en matière de droit de passage et de raccordement sur les pylônes applicables aux déploiements sur le kilomètre intermédiaire dans les zones rurales et isolées renforce la viabilité financière du développement de services de raccordement dans les localités cibles. Cette mesure peut contribuer à améliorer l'accès sur le dernier kilomètre et à le rendre plus abordable, en particulier lorsque le coût et la disponibilité du réseau de raccordement constituent une contrainte.

Tableau 35. Mesures relatives à l'efficacité du marché et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre

Mesures relatives à l'efficacité et à l'expansion du marché (non financières)	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Amélioration des ressources de données des marchés sur la couverture du réseau, les ressources d'infrastructure, la densité de population, les revenus de la population et l'électrification du réseau, par exemple, afin d'identifier avec précision les populations qui ne sont pas desservies et les solutions dont elles ont besoin	Les cartes de couverture mobile de la GSMA peuvent améliorer l'efficacité des investissements dans les infrastructures des opérateurs de réseau mobile et aider les autres parties prenantes à cibler leurs activités de façon stratégique; L'atlas des infrastructures de l'Allemagne, qui constitue l'outil d'information et de planification central pour le développement du large bande en Allemagne, contient des données provenant de plus de 1 500 opérateurs de réseau ainsi que des autorités fédérales, régionales et locales et des autorités des états; La Californie a demandé la création d'une base de données commune/un recensement des pylônes et conduits; On trouvera d'autres exemples de données ouvertes sur les télécommunications dans la publication "Open Telecom Data work" de Steve Song	✓	✓	✓	✓

Tableau 35. Mesures relatives à l'efficacité du marché et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre (suite)

Mesures relatives à l'efficacité et à l'expansion du marché (non financières)	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Octroi de licences spécifiques pour les zones rurales caractérisées par des exigences simplifiées	<p>La Tanzanie a autorisé un essai concernant l'octroi de licences dans les zones rurales, dans le cadre d'un modèle de micro-opérateurs de réseau mobile (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre); Exemple de l'Inde avec le fournisseur Bluetown, concernant l'autorisation octroyée aux fournisseurs de services Internet hertziens de servir de fournisseurs de services de points d'accès publics gérés desservant les communautés à faible revenu (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre); Exemple du Pérou concernant une licence pour les opérateurs d'infrastructure mobile rurale (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)</p>	√	√	√	√
Octroi de licences à des opérateurs communautaires qui ne sont pas assujettis aux redevances coûteuses et aux obligations strictes qui sont appliquées aux opérateurs commerciaux	<p>La Résolution réglementaire no 4958 de 2018 de l'Argentine vise à accorder une dérogation spéciale aux petits opérateurs locaux; Exemple de l'Inde avec l'opérateur AirJaldi, qui a débuté ses activités en tant que petit opérateur communautaire local puis s'est constitué pour étendre ses activités commerciales au profit de centaines de milliers d'utilisateurs (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)</p>			√	√

Tableau 35. Mesures relatives à l'efficacité du marché et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre (suite)

Mesures relatives à l'efficacité et à l'expansion du marché (non financières)	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Réduction du coût des licences d'utilisation du spectre pour les zones rurales et/ou attribution directe de fréquences à des fins sociales	Loi fédérale sur les télécommunications et la radiodiffusion de 2014 du Mexique, qui établit <u>une concession "d'utilisation sociale" dans les assignations de fréquences, réservée à des fins communautaires, éducatives, culturelles ou scientifiques</u>	✓		✓	
Réglementer les prix de vente en gros de la capacité large bande sur le kilomètre intermédiaire, en garantissant des conditions équitables aux petits fournisseurs de services Internet.	Norme obligatoire de la Malaisie sur les prix d'accès; Exemple du Pérou concernant l'établissement de taux d'interconnexion asymétriques (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)	✓	✓	✓	✓
Suppression des limites concernant les fournisseurs de services Internet étrangers et des restrictions à l'investissement	Expérience du Cambodge en matière de promotion de la concurrence sur le marché des fournisseurs de services Internet	✓	✓		
Solutions alternatives à l'attribution du spectre au moyen d'enchères à prix élevé	Expérience du Cambodge en matière de réduction des coûts d'exploitation sur le marché des fournisseurs de services Internet	✓		✓	
Promotion de la concurrence sur le marché	Expérience du Ghana en matière d'octroi de licences supplémentaires pour garantir l'absence de monopole dans la fourniture de services	✓	✓	✓	✓
Alléger les procédures d'octroi de licences et les taxes réglementaires élevées pour les terminaux satellitaires et le spectre	Initiative "Community Connect" de Geeks Without Frontiers, Bonnes pratiques à l'intention des opérateurs de réseaux satellitaires, des régulateurs et des fournisseurs et intégrateurs de services	✓	✓	✓	✓

Tableau 35. Mesures relatives à l'efficacité du marché et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre (suite)

Mesures relatives à l'efficacité et à l'expansion du marché (non financières)	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Application de réglementations favorisant la coordination des travaux d'excavation ("dig once") et garantissant le déploiement conjoint des conduits pour les réseaux à fibres optiques lorsque de nouvelles routes sont construites	Comité consultatif sur le déploiement du large bande de la Commission fédérale des communications des États-Unis: Modèle de code à l'intention des États pour l'accélération du déploiement de l'infrastructure large bande et de l'investissement; Livre blanc et Guide technique sur les politiques de coordination des travaux d'excavation de CTC Net	✓	✓	✓	✓
Assouplissement des exigences en matière de droit de passage et de raccordement sur les pylônes applicables aux déploiements sur le kilomètre intermédiaire dans les zones rurales et isolées	"One Touch Make Ready" (également désigné par le terme "One Touch", et souvent abrégé OTMR) est un élément d'un arrêté émis par la Commission fédérale des communications des États-Unis (FCC 18-111) qui vise à accélérer le processus et à réduire les coûts de raccordement des nouvelles installations de réseau aux pylônes électriques, en permettant à une seule partie de préparer rapidement le pylône, plutôt que de répartir le travail entre plusieurs parties	✓	✓	✓	✓
Autoriser l'utilisation secondaire du spectre		✓		✓	

Tableau 35. Mesures relatives à l'efficacité du marché et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre (suite)

Mesures relatives à l'efficacité et à l'expansion du marché (non financières)	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Autoriser l'utilisation commerciale et non commerciale de bandes sans licence et/ou non assujetties à licence	Expérience du Brésil, qui a permis à CELCOM, un réseau cellulaire communautaire, d'utiliser la licence spéciale à des fins scientifiques et expérimentales octroyée par le régulateur Anatel (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre); Expérience du Brésil, qui a permis à Anatel de définir la gamme de fréquences 225-270 MHz comme alternative pour les services et applications large bande (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)	√	√		√
Mettre en place et faire respecter des obligations en termes de couverture (associées à des exigences en matière de qualité de service) pour les assignations de licences de spectre	En Autriche, les licences d'utilisation de la bande des 700 MHz pour les services 5G permettront d'offrir une couverture à 900 communautés mal desservies; La Suède a mis en place une obligation en matière de couverture dans la bande des 700 MHz; Expérience du Brésil concernant les obligations en matière de couverture dans le cadre de l'octroi de licences d'utilisation du spectre	√			

Tableau 35. Mesures relatives à l'efficacité du marché et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre (suite)

Mesures relatives à l'efficacité et à l'expansion du marché (non financières)	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Promouvoir des utilisations innovantes des technologies de communication pour le déploiement de services commerciaux et non commerciaux	Expérience du Pérou concernant les politiques réglementaires permettant aux opérateurs de réseau mobile de conclure des accords de partage et d'exploitation dans le cadre d'un partenariat de gros (Internet para Todos) (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre); Expérience du Brésil concernant l'autorisation octroyée à Viasat de fournir un service commercial sur le réseau gouvernemental, Telebras (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)	✓	✓	✓	✓
Promouvoir l'itinérance nationale et la mutualisation de l'infrastructure (réseaux passifs et actifs)	Infrastructure rurale commune au Royaume-Uni; Expérience du Brésil en matière de partage du spectre	✓	✓	✓	✓
Soutenir l'octroi de licences globales pour les équipements terminaux des utilisateurs finals	Manuel des applications des communications par satellite; Décision (03)04 du Comité des communications électroniques (ECC)	✓	✓	✓	✓

4.3 Options d'intervention – Financement ponctuel (subvention intelligente) (étape 4c)

Un appui limité sous la forme d'un financement à des conditions libérales peut permettre de réduire les risques liés aux investissements du secteur privé. Des exemples de mesures spécifiques à cet égard sont présentés de façon synthétique dans le Tableau 36.

Dans les marchés caractérisés par des acteurs établis, la collecte et la distribution des fonds pour le service universel, sous la forme de subventions ponctuelles visant à atténuer les risques liés aux déploiements, encouragent les opérateurs historiques à étendre leurs réseaux dans les zones rurales et isolées. Le coût de la création de réseaux dans des zones où la demande est potentiellement moins importante que dans les zones déjà couvertes par le réseau existant est souvent peu attractif pour les opérateurs, qui ne voient que peu d'intérêt commercial, voire aucun, à déployer leurs réseaux par rapport au niveau actuel des coûts. Une subvention unique

visant à réduire le coût du déploiement peut améliorer l'intérêt commercial pour les entités et rendre le déploiement dans les localités cibles viable sur le plan financier.

Sur des marchés moins matures présentant des risques plus systémiques, le fait d'autoriser et de promouvoir les partenariats public-privé propres à réduire les risques encourage les nouveaux acteurs à entrer sur le marché et les acteurs existants à renforcer leurs réseaux. En atténuant leur exposition au risque grâce à ces partenariats, les entités privées sont plus disposées à investir leurs ressources dans des zones - souvent rurales - qui n'offrent pas nécessairement un aussi bon rendement que leur zone de couverture actuelle.

Dans le même ordre d'idées, le fait d'autoriser et de promouvoir des structures d'investissement de financement mixtes, en mettant en commun le capital commercial pour le financement de projets avec des formes de capital public et/ou de capital privé sous-commercial à objectif de rendement (également appelé "capital patient") réduit les risques liés au déploiement ou au renforcement des réseaux dans les zones à faible rendement. Des stratégies de financement créatives visant à atténuer les risques peuvent contribuer à combler les écarts en matière d'accès causés par l'incertitude de la demande ou la croissance insuffisante de la demande dans les zones rurales.

Pour les entités à but non lucratif, un moyen important de réduire le coût des déploiements consiste à autoriser des contributions en nature souples (matériel, logiciel et capacité technique) de la part des secteurs privé et public. Bien souvent, ces entités cherchent tout au plus à atteindre l'équilibre financier en termes de dépenses de fonctionnement et ne cherchent pas à rentabiliser le capital investi. Cela signifie que des zones qui ne seraient normalement pas intéressantes pour les opérateurs commerciaux sont attractives pour les entités à but non lucratif. Dans le cas de ces entités, le principal obstacle peut résider dans le coût de l'acquisition et du déploiement des équipements de réseau en vue de fournir un accès. Autoriser les contributions en nature permet de réduire les coûts et d'encourager l'entrée d'acteurs non commerciaux sur le marché.

Dans les cas où des liaisons de raccordement sont disponibles, mais où les réseaux d'accès sur le dernier kilomètre ne fonctionnent pas pour des raisons de viabilité financière, la mise en œuvre de mesures d'incitation fiscale à l'intention des fournisseurs de services sur le dernier kilomètre peut encourager les acteurs à entrer sur ce segment de marché et à fournir une connectivité. Grâce à la fourniture effective d'une subvention pour le déploiement d'un réseau, des interventions telles que la prime à l'investissement mise en place par la Malaisie sur les dépenses en capital au profit des fournisseurs de services large bande sur le dernier kilomètre encouragent le déploiement dans des zones qui, autrement, ne seraient pas rentables sur le plan commercial.

Dans d'autres contextes, le prix élevé des dispositifs d'accès peut constituer un obstacle important sur le plan de l'accès. La réduction des taxes sur les téléphones mobiles et les dispositifs de connectivité permet d'améliorer directement l'accès dans les zones où les réseaux existent déjà. En outre, des interventions de ce type contribuent à améliorer la demande potentielle dans les zones mal desservies ou non desservies, puisque davantage de personnes seront déjà en possession de dispositifs au moment où la connectivité sera disponible. Cette solution peut contribuer à justifier la création ou l'extension d'un réseau dans de nouvelles zones.

Tableau 36. Options de financement ponctuel ou de subventions limitées et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre

Mesures de financement ou de subvention ponctuels	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Collecte et distribution des fonds pour le service universel, sous la forme de subventions ponctuelles afin d'atténuer les risques liés aux déploiements	<p>Le Fonds pour l'accès et le service universels du Rwanda, qui vise à réduire le coût du large bande dans les communautés pauvres en zone rurale et en zone urbaine et à fournir une connectivité aux services essentiels; Le fonds pour d'accès universel aux télécommunications du Costa Rica, FONATEL, qui a permis de réaliser des progrès importants au service de l'accès universel; Le fonds pour le service universel du Maroc vise à appuyer le programme d'accès universel du pays, dans le but de connecter les zones reculées qui sont hors de portée des réseaux terrestres (8 000 sites pour commencer) en utilisant les technologies satellitaires dans le cadre d'un modèle commercial à prépaiement qui est viable sur le plan financier (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)</p>	√	√	√	√
Autoriser et encourager les partenariats public-privé propres à réduire les risques	<p>Infrastructure rurale commune au Royaume-Uni; Déploiement de la fibre en accès libre en Géorgie; Réseau ICN 1 (réseau câblé d'échange 1), reliant le Vanuatu au réseau Southern Cross Cable; Exemple du Pérou, qui a accordé l'enchère à subvention minimale de son fonds de service universel à des modèles de partenariat public-privé (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)</p>	√	√	√	√

Tableau 36. Options de financement ponctuel ou de subventions limitées et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre (suite)

Mesures de financement ou de subvention ponctuels	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Autoriser et promouvoir des structures d'investissement mixtes, en mettant en commun le capital commercial pour le financement de projets avec des formes de capital public et/ou de capital privé sous-commercial à objectif de rendement (également appelé "capital patient")	Expérience de la Chine concernant l'offre des prêts à des conditions libérales pour des projets de déploiement du large bande dans les zones de développement au niveau des États dans la région occidentale (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre); Expérience du Burkina Faso concernant l'autorisation d'un partenariat entre Lux Dev, le gouvernement et SES Telecom Services en vue du déploiement en zone rurale (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre); Initiative Giga visant à connecter toutes les écoles à l'Internet	√	√	√	√
Autoriser des contributions en nature souples (matériel, logiciel et capacité technique) aux entités non commerciales des secteurs privé et public				√	√
Mise en œuvre de mesures d'incitation fiscale à l'intention des fournisseurs de services sur le dernier kilomètre	Subvention mise en place par la Malaisie sur les dépenses en capital au profit des fournisseurs de services large bande sur le dernier kilomètre; Expérience du Brésil en matière d'octroi de crédits d'impôt aux fournisseurs de services mobiles, afin d'encourager l'expansion des réseaux dans des zones qui ne sont pas rentables sur le plan commercial	√	√	√	√
Réduction des taxes sur les téléphones mobiles et les dispositifs de connectivité	Mesure prise par le Kenya en vue d'exonérer les téléphones mobiles de la taxe sur la valeur ajoutée de 16%, entraînant une augmentation spectaculaire des taux d'acquisition et de possession	√	√	√	√

4.4 Options d'intervention – financement/subventions récurrents (étape 4d)

Un appui financier récurrent à des conditions libérales peut être nécessaire pour certains déploiements, comme indiqué dans le Tableau 37.

Dans les localités où la pérennité du réseau est problématique en raison des conditions du marché et des coûts existants, la collecte et la distribution de fonds pour le service universel sous la forme de subventions récurrentes pour atténuer les risques liés au déploiement du réseau contribuent à fournir un accès dans zones qui, autrement, ne bénéficieraient pas d'une connectivité. Ces zones sont caractérisées par un écart notable en matière d'accès; Compte tenu de la faible densité de population et du terrain difficile dans ces zones, il arrive souvent que les opérations ne soient pas rentables pour les opérateurs commerciaux, même avec des subventions en vue du déploiement du réseau. Dans ce cas, des subventions récurrentes permettent de couvrir les dépenses d'exploitation dans la localité.

S'agissant en particulier des réseaux à but non lucratif, des dispositions fiscales plus souples et plus avantageuses pour les réseaux locaux complémentaires à but non lucratif peuvent encourager et aider les entités à exploiter des réseaux dans les zones rurales et reculées. Ces zones offrent des perspectives humanitaires (et non commerciales) sur le plan de la fourniture d'une connectivité, et les mesures dans ce contexte reconnaissent que les réseaux constituent un bien public au profit des localités. En termes plus matériels, ces dispositions fiscales réduisent le coût d'exploitation des réseaux et contribuent à subventionner la fourniture de services aux utilisateurs finals.

Tableau 37. Subventions récurrentes et applicabilité à différents modèles de connectivité sur le dernier kilomètre

Subventions récurrentes	Exemples	Opérateurs de réseau mobile commerciaux	Fournisseurs de services Internet commerciaux	Opérateur de réseau mobile local à but non lucratif	Fournisseur de services Internet local à but non lucratif
Collecte et distribution de fonds pour le service universel sous la forme de subventions récurrentes pour atténuer les risques liés au déploiement	Le Fonds pour l'accès et le service universels de la Malaisie a été utilisé afin d'appuyer le déploiement des six grands projets de l'initiative nationale pour le large bande; Expérience du Gabon concernant l'utilisation du fonds pour le service universel afin de financer l'expansion et le fonctionnement du réseau au profit de 2 700 villages isolés dans des zones jugées trop peu rentables pour les opérateurs de téléphonie privés (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre); Expérience de la République sudafricaine concernant l'utilisation de subventions récurrentes issues du Fonds sud-africain pour le service universel en vue de fournir gratuitement une connexion Wi-Fi dans les écoles et cliniques rurales (voir l'étude de cas correspondante dans la Base de données sur la connectivité sur le dernier kilomètre)	✓	✓	✓	✓
Dispositions fiscales plus souples et plus avantageuses pour les réseaux locaux complémentaires à but non lucratif				✓	✓

4.5 Exemples d'options tirés des études de cas présentées (étape 4e)

La base de données concernant les études de cas sur la connectivité du dernier kilomètre contient un large éventail d'exemples de solutions, dont beaucoup illustrent une ou plusieurs options présentées dans les tableaux ci-dessus. Plusieurs études de cas sont présentées dans le Tableau 38 et mis en correspondance avec les différentes options.

Tableau 38. Exemples d'options tirés des études de cas présentées

Exemples tirés de la base de données concernant les études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre (soumissions)	Option	Informations détaillées
Maroc - World Telecom Labs	Subventions ponctuelles (fonds pour le service universel)	Programme d'accès universel dirigé par l'autorité nationale de régulation des télécommunications du Maroc afin de connecter des zones reculées hors de portée des réseaux terrestres (8 000 sites pour commencer) grâce aux technologies satellitaires, dans le cadre d'un modèle commercial à prépaiement qui soit pérenne sur le plan commercial.
Tanzanie - Amotel (& WTL)	Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (octroi de licences appropriées; appui fourni par le régulateur en faveur des approches innovantes expérimentales) Subventions ponctuelles (fonds pour le service universel)	Financement du fonds pour le service universel pour un essai de validation de concept visant à mettre en avant les micro-opérateurs et approbation réglementaire leur permettant de fonctionner comme des opérateurs de réseau virtuel mobile en tirant parti des partenariats des opérateurs de réseau mobile, et les autorisant à créer leur propre infrastructure de réseau.
Gabon - World Telecom Labs	Subventions récurrentes (fonds pour le service universel)	Taxe prélevée auprès de tous les opérateurs de télécommunications dans le cadre de la politique pour le service universel (fonds pour le service universel), utilisée pour financer l'expansion du réseau et l'exploitation du réseau dans 2 700 villages isolés situés dans des zones jugées trop peu rentables pour les opérateurs de téléphonie privés.
Inde - AirJaldi	Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (favorisant les réseaux communautaires et la conversion en réseaux commerciaux); subventions ponctuelles (financement par subvention)	Air Jaldi a débuté ses activités en tant qu'opérateur communautaire local et a été autorisé à exploiter son réseau dans l'environnement réglementaire. Une fois que cet opérateur a atteint une taille considérable, il a été en mesure de se transformer en opérateur commercial pour mieux servir ses membres/clients. Il a également reçu des subventions de divers groupes, dont la Fondation APNIC et Microsoft.
Kenya - Mawingu	Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (licence d'essai pour l'utilisation commerciale des espaces blancs de télévision); subvention ponctuelle (financement par subvention)	Mawingu a obtenu une dérogation spéciale du régulateur pour tester les espaces blancs de télévision et a également reçu des subventions de la part de différents groupes, dont l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) et Microsoft.
Inde - Bluetown	Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (un modèle non réglementé dans lequel un agrégateur (Agrégateur de centres de données publics) fournit l'infrastructure Wi-Fi sur le dernier kilomètre et de petits entrepreneurs mettent en place des centres de données publics au niveau local pour offrir un point d'accès aux clients, en utilisant les ressources passives existantes (tours) Subvention récurrente (transport de retour subventionné par le gouvernement)	Fournisseur de services Internet hertziens faisant fonction de fournisseur de services de points d'accès publics géré dans les communautés rurales à faible revenu.
République sudafricaine - Brightwave	Subventions ponctuelles (initiative Microsoft Airband) Subventions récurrentes issues du Fonds sud-africain pour le service universel de l'Agence pour le service et l'accès universels de la République sudafricaine (USAASA)	Fournisseur de services Internet commercial fournissant gratuitement une connexion Wi-Fi dans les écoles et les cliniques rurales avec un appui sous la forme de subventions.

Tableau 38. Exemples d'options tirés des études de cas présentées (suite)

Exemples tirés de la base de données concernant les études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre (soumissions)	Option	Informations détaillées
Pérou – Solutions politiques des pouvoirs publics	<p>Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (changements réglementaires et politiques, notamment en ce qui concerne les obligations de licence, les licences pour les opérateurs d'infrastructure mobile rurale et les frais d'interconnexion asymétriques)</p> <p>Subventions récurrentes (fonds pour le service universel attribués par le biais d'enchères à subvention minimale dans le cadre d'un modèle de partenariat public-privé)</p>	<p>Solutions politiques adoptées par le gouvernement du Pérou pour déployer la connectivité dans les zones mal desservies. Les barrières géographiques que constituent les Andes et l'Amazonie, la pauvreté généralisée, le faible taux d'alphabétisation, le défaut accès à l'internet et l'insuffisance de la concurrence comptent parmi les obstacles les plus importants rencontrés. Ainsi, l'accès à l'Internet large bande au Pérou est l'un des plus lents et des plus coûteux de la région. L'amélioration de la connectivité rurale a toujours été un objectif pour les régulateurs et les décideurs. Le Fonds d'investissement dans les télécommunications du Pérou est un exemple probant dans lequel un fonds pour l'accès universel adopte une approche innovante afin de fournir un accès dans les zones rurales, à savoir les enchères à subvention minimale, une méthode aujourd'hui largement appliquée. L'utilisation de ce dispositif financier, associé à des politiques réglementaires souples et à des technologies à peu coûteuses, peut contribuer à atteindre cet objectif.</p>
Brésil – Réseau cellulaire communautaire CELCOM	<p>Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (le réseau CELCOM exploite la licence spéciale à des fins scientifiques et expérimentales octroyée par Anatel en ce qui concerne les questions de législation)</p> <p>Subventions récurrentes (versées par les institutions concernées)</p>	<p>Cette étude de cas concerne les réseaux communautaires cellulaires dans les régions isolées et peu peuplées du Brésil, l'accent étant mis sur les communautés à très faible revenu et l'Amazonie brésilienne. Elle décrit les technologies adoptées dans le cadre de trois projets pilotes au sein de communautés situées dans la région amazonienne, ainsi que les aspects techniques et économiques.</p>
Brésil – Solutions politiques des pouvoirs publics	<p>Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (obligations de mise aux enchères du spectre)</p> <p>Subventions récurrentes (transfert de fonds par les États sous la forme de crédits d'impôt accordés aux fournisseurs de services mobiles, dans la limite du montant attesté investi par l'entreprise)</p>	<p>Expérience du Brésil dans la mise en œuvre de politiques publiques visant à inciter les fournisseurs de services à déployer des réseaux dans des zones qui pourraient être considérées comme non rentables sur le plan commercial, notamment les zones rurales et isolées.</p>
Pérou – Internet para Todos (Internet pour tous)	<p>Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (politique réglementaire permettant aux opérateurs de réseau mobile partenaires d'octroyer une exclusivité commerciale dans les zones cibles, des droits d'utilisation du spectre, des licences, etc. et de gérer les relations avec les fournisseurs de gros existantes)</p> <p>Subventions ponctuelles (avec des investissements directs étrangers (Banque interaméricaine de développement, Banque de développement d'Amérique latine) et éventuellement quelques subventions ponctuelles sous la forme de financement à des conditions libérales)</p>	<p>L'Initiative Internet para Todos vise à attirer les opérateurs de réseau mobile dans des zones moins intéressantes sur le plan financier, dans le cadre d'un modèle commercial ouvert; L'infrastructure est mise à la disposition des opérateurs de réseau mobile afin qu'ils puissent atteindre les zones à faible densité; les communautés locales, les entrepreneurs et les autres opérateurs de télécommunication sont invités à rejoindre et à construire le réseau en collaboration; tout opérateur de réseau mobile peut déployer ses services dans des zones à faible densité en utilisant l'infrastructure d'Internet para Todos, ou déployer et exploiter des réseaux de télécommunications cellulaires et des réseaux de transport de prochaine génération; Les opérateurs de réseau mobile partenaires peuvent octroyer une exclusivité commerciale dans les zones cibles, des droits d'utilisation du spectre, des licences, etc. et gérer les relations avec les fournisseurs de gros existantes.</p>

Tableau 38. Exemples d'options tirés des études de cas présentées (suite)

Exemples tirés de la base de données concernant les études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre (soumissions)	Option	Informations détaillées
Brésil - GESAC (Telebras et Viasat)	<p>Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (un accord novateur permet à Viasat de fournir un service commercial sur le réseau Telebras et de commercialiser des capacités, dans la mesure où Telebras est la partie contractante dans le cadre des programmes du gouvernement fédéral, tels que le programme GESAC. Dans le cadre du partenariat, une part des recettes provenant de la commercialisation des capacités par Viasat est versée à Telebras)</p> <p>Subventions récurrentes (financement public pour la connectivité dans les écoles)</p>	<p>Alors que plus de 15 000 écoles publiques ne disposent pas d'une connexion large bande de qualité, le gouvernement brésilien s'est tourné vers les technologies satellitaires et a lancé le "Programa Governo Eletrônico - Serviço de Atendimento ao Cidadão" pour connecter ses écoles. Ce programme, plus connu sous le nom de GESAC, a connu un succès incontestable, avec 2 millions d'élèves connectés en seulement 9 mois.</p>
Mexique - Wi-Fi communautaire (Viasat)	<p>Aucune politique directe ni subvention n'a été observée, car l'accent est mis sur un service commercial durable, mais l'amélioration de l'infrastructure du réseau électrique et les subventions pourraient être envisagées afin de réduire les risques liés au déploiement.</p>	<p>Le modèle de "Wi-Fi communautaire" fait intervenir une méthode efficace sur le plan commercial afin de connecter les personnes qui ne le sont pas encore, en particulier dans les zones depuis longtemps considérées comme n'étant pas rentables pour les opérateurs de réseau terrestre. Le programme a également été testé dans la zone de couverture du réseau Viasat-2 et est en cours de déploiement dans de nombreux pays d'Amérique centrale et des Caraïbes durant la période 2020-2021. Le Wi-Fi communautaire sera étendu et déployé à l'échelle mondiale avec la constellation ViaSat-3, à compter de 2021.</p>

Tableau 38. Exemples d'options tirés des études de cas présentées (suite)

Exemples tirés de la base de données concernant les études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre (soumissions)	Option	Informations détaillées
Chine - Solutions politiques des pouvoirs publics	<p>Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (les autorités publiques peuvent exiger des promoteurs immobiliers qu'ils installent des câbles à fibres optiques dans les immeubles résidentiels nouvellement construits en tant que solution de connectivité sur le dernier kilomètre; le gouvernement a négocié des modalités de construction conjointe et de partage entre les opérateurs et a créé une nouvelle société pour la mettre en œuvre)</p> <p>Subventions récurrentes (fonds pour le service universel et programme de subvention pour l'amélioration de la connectivité large bande)</p> <p>Subventions - Le gouvernement a mis en place un programme de subventions pour les opérateurs qui déploient des infrastructures à fibres optiques et des réseaux 4G dans des zones cibles.</p> <p>Prêts et financements à des conditions libérales - Les prêts à des conditions libérales sont mis à disposition pour les projets de développement du large bande éligibles dans les zones de développement au niveau des États au sein de la région occidentale.</p> <p>Mesures d'incitation fiscale - Il existe des mesures d'incitation fiscale pour la construction et l'exploitation de réseaux large bande.</p>	<p>En août 2013, afin d'améliorer le développement des TIC, le Conseil d'État a publié une stratégie sur le large bande en Chine", qui vise à faire progresser le large bande dans tous les domaines, à accélérer la construction de réseaux large bande et à mettre en place une infrastructure nationale de l'information de prochaine génération sûre et universelle. Afin de favoriser le développement à long terme du large bande, la stratégie est liée au douzième plan quinquennal pour le secteur de l'information et des télécommunications.</p>
Brésil - Réseaux LTE privés à 250 MHz pour l'Internet des objets/ l'agriculture	Des mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (réglementation de la gamme de fréquences 225-270 MHz (dite bande des 250 MHz)) ont été définies par ANATEL comme étant une solution alternative pour prendre en charge les services et les applications large bande et exploiter ainsi les excellentes caractéristiques de propagation des ondes radioélectriques dans les bandes de fréquences inférieures pour couvrir des cellules de grande taille, ce qui est fondamental lorsqu'il s'agit de fournir des services dans les zones rurales et peu peuplées.	La technologie LTE dans la bande des 250 MHz a été développée par le Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações - CPQD) dans le cadre du projet AgroTICS, sur la base d'un partenariat avec São Martinho S/A et Tropico, financé par la banque nationale de développement (BDNes) et visant à accroître l'efficacité de la production de sucre et d'éthanol grâce à l'utilisation des TIC. La technologie LTE dans la bande des 250 MHz est conçue pour des applications agroalimentaires. Elle offre un moyen efficace d'accroître la couverture grâce à une solution peu coûteuse et interopérable qui peut être appliquée dans les réseaux d'accès et de transport en utilisant un nouveau profil 3GPP proposé, consistant à appliquer la technologie LTE dans la bande des 250 MHz à une production sur une longue distance et à grande échelle. La solution peut être reproduite au Brésil et dans d'autres pays selon les règles et décisions de chaque agence de régulation des télécommunications.

Tableau 38. Exemples d'options tirés des études de cas présentées (suite)

Exemples tirés de la base de données concernant les études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre (soumissions)	Option	Informations détaillées
Ghana – Ruralstar (Huawei)	Mesures en faveur de l'efficacité et de l'expansion du marché (améliorations technologiques et amélioration des informations concernant le marché)	La solution RuralStar de Huawei est une solution légère pour la couverture réseau en zone rurale prenant en charge la connectivité 2G, 3G et 4G. Elle offre la possibilité de déployer une infrastructure rurale légère permettant d'étendre la couverture rurale de façon durable sur le plan commercial. L'élaboration d'une cartographie améliorée (Cartes de couverture mobile de la GSMA) permet d'analyser la manière dont une connectivité pourrait être fournie de façon rentable sur le plan commercial à des millions de personnes qui ne sont pas encore couvertes grâce à l'utilisation d'innovations technologiques, telles que la solution Ruralstar.
SES Telecom Services au Burkina Faso	Intervention financière (partenariat public-privé entre Lux Dev, l'agence de développement du Luxembourg, pour le financement, le gouvernement du Burkina Faso, pour le financement et la maîtrise d'ouvrage sur le terrain, et SES Telecom Services, pour le déploiement)	Les réseaux terrestres hertziens et les réseaux à fibres optiques existants du pays sont intégrés au système à satellites O3b MEO afin de créer un réseau de communication hybride de bout en bout. L'écosystème hybride comprend cinq terminaux O3b MEO, 65 tours et 114 stations de radiocommunication de base point à multipoint en vue de créer un réseau de communication nettement plus rapide, plus étendu et plus fiable couvrant 43 provinces et 19 millions d'utilisateurs potentiels, avec l'appui de l'administration du Burkina Faso. Les services comprennent notamment des applications d'administration publique en ligne, de cybersanté et de cyberenseignement; une connexion Internet large bande pour les fonctionnaires; l'échange de données gouvernementales; la création d'un centre de données et d'un bureau local de SES Telecom Services; un entretien effectué par l'ANSIP; la gestion des données et le renforcement des capacités (formation du personnel de l'ANSIP et des fournisseurs de services locaux).
Wi-Fi communautaire d'Intelsat pour un camp de réfugiés	Intervention financière (subventions récurrentes complètes d'Intelsat et du HCR, Intelsat finançant le programme pilote à Ampain jusqu'à ce que le HCR puisse trouver un autre financement)	En 2016, le HCR et Intelsat ont développé conjointement un programme pilote pour l'accès à l'Internet dans le camp de réfugiés d'Ampain, au Ghana. Le camp abrite environ 3 500 personnes. Le centre TIC d'Ampain fournit aux habitants du camp des ordinateurs pour accéder aux cours en ligne de Coursera. L'année dernière, 280 cours en ligne ont été suivis par 220 habitants du camp. Le déploiement de l'accès à Internet dans 100 autres camps pourrait permettre à 2 400 réfugiés d'acquérir de nouvelles compétences chaque mois, ce qui représente 28 800 réfugiés par an.

Tableau 38. Exemples d'options tirés des études de cas présentées (suite)

Exemples tirés de la base de données concernant les études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre (soumissions)	Option	Informations détaillées
République sudafricaine: Internet pour tous (Intelsat)	Intervention financière (partenariat public-privé dans le cadre du programme sudafricain "Internet pour tous", sous la forme d'un projet pilote entre le ministère des télécommunications et des services postaux, ses partenaires sociaux et le Forum économique mondial, y compris un partenariat stratégique avec Intelsat et des fournisseurs de services locaux)	<p>Intelsat a mis au point un programme pilote visant à tester des scénarios commerciaux et sociaux susceptibles d'avoir des incidences sur le déploiement du programme "Internet pour tous" dans les zones rurales des pays en développement.</p> <p>Ce projet pilote est généralement déployé sur cinq sites au sein d'un pays pour une durée de six mois, pendant lesquels des informations sont recueillies sur chaque site. Ces informations alimentent le rapport de projet, qui constitue le résultat final du projet. Intelsat a pris en charge les dépenses d'investissement du projet pilote. Lorsque le programme sera déployé à plus grande échelle, les dépenses d'investissement devront être prises en charge par le gouvernement ou via des investissements directs étrangers. Les frais versés par les utilisateurs finaux devraient être suffisants pour couvrir les coûts d'exploitation et fournir un revenu modeste à la petite, moyenne ou microentreprise qui gère l'environnement.</p>
Projet Teleglobal-Bakti (SES)	Intervention financière (subvention issue du fonds pour le service universel. La coopération entre SES et Teleglobal s'inscrit dans le cadre de l'approche pluridimensionnelle de BAKTI en matière de connectivité universelle comprenant l'anneau Palapa de câbles sous-marins pour relier les principales îles d'Indonésie, la location provisoire d'une capacité satellitaire de 50 Mbit/s (dont SES-12 fait partie), et la construction et le lancement d'un nouveau Satelit Multi-Fungsi pour fournir 150 Gbit/s de connectivité dans tout le pays.)	<p>Dans le cadre d'un nouvel accord signé en 2019, Teleglobal et SES Networks participeront au projet d'obligation de service universel (USO) du ministère des technologies de la communication et de l'information via son agence pour le service universel Badan Aksesibilitas Telekomunikasi dan Informasi (BAKTI) afin de fournir un accès Internet large bande et des services de raccordement mobile à jusqu'à 150 000 sites dans des régions reculées du pays en utilisant une capacité de 1,3 GHz sur le nouveau satellite à haut débit (HTS) de SES, SES-12, fonctionnant en orbite terrestre géostationnaire (GEO).</p>
Hughes Express Wi-Fi au Mexique	Aucune politique directe ou subvention n'a été observée, car priorité est donnée aux services durables sur le plan commercial, mais des innovations ont été mises au point, notamment une stratégie concernant le nouveau fournisseur de services Wi-Fi de détail, comprenant un guide d'utilisation, une formation sur place et un service d'assistance; de nouvelles stratégies avec le partenaire, à savoir Facebook Connectivity, visant à améliorer l'expérience de l'utilisateur final sur de nouvelles applications client et sur une application améliorée du détaillant; une assistance et un appui fournis aux utilisateurs finaux par le détaillant local; et des facteurs de succès (choix judicieux concernant le marché cible; prise en charge des clients à faible revenu)	<p>Hughes Express Wi-Fi permet de fournir une connectivité aux personnes qui n'ont pas les moyens de souscrire à un abonnement mensuel et qui ont besoin d'une option de paiement à l'utilisation; ceux-ci bénéficiant de prix abordable pour des paquets de données en utilisant leur propre équipement mobile Wi-Fi (téléphones/tablettes/ordinateurs portables) équipé de n'importe quel type de système d'exploitation (Android/IOS/Windows/Linux). Le service est rendu peu coûteux en offrant des plans d'utilisation de taille réduite, à partir de 0,5 dollar pour 100 Mo ou jusqu'à une heure d'utilisation. Les solutions WiFi communautaires de Hughes comprennent une microstation et un équipement WiFi qui étend le signal dans un rayon de 50 à 80 mètres avec des téléphones mobiles peu coûteux. Avec un téléphone haut de gamme, la portée est améliorée de 100%. Une fois qu'un site est déployé et équipé d'un point d'accès, la communauté locale d'utilisateurs bénéficie d'un accès Internet à haut débit.</p>

Conclusion et prochaines étapes



Le présent guide de solutions vise à éclairer la conception et la mise en œuvre des futures mesures destinées à combler les écarts dans la fourniture de services Internet durables. Il contient un large éventail de données d'expérience, du Chapitre 1 (Identifier les zones géographiques dans lesquelles il n'y a pas de connexion (ou de services numériques)) aux nombreuses études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre présentées au Chapitre 2 (Examiner les solutions existantes pouvant être utilisées). Le Chapitre 3 (Choisir des solutions durables en établissant un équilibre entre viabilité et contraintes) met en évidence la manière dont les différentes contraintes et considérations détermineront les mesures les mieux adaptées aux circonstances particulières, et le Chapitre 4 (Mettre en œuvre des mesures pour élargir l'accès à un service de connectivité durable) décrit les différentes politiques et mesures d'intervention directes qui peuvent être appliquées. Bien que les informations présentées ici ne soient pas exhaustives – de nombreuses situations exigent des solutions hybrides associant technologies et modèles économiques – l'objectif est d'entamer le processus visant à combler les écarts dans la fourniture de services durables et abordables.

Les annexes fournissent des ressources supplémentaires pour appuyer des mesures spécifiques. Les étapes ultérieures potentielles sont notamment l'utilisation d'outils décisionnels plus sophistiqués assistés par des logiciels, tels que ceux qui sont élaborés dans le cadre du programme global intitulé "Kit pratique pour la connectivité sur le dernier kilomètre" ..

Annexe 1: Exemples de cartographie de réseaux

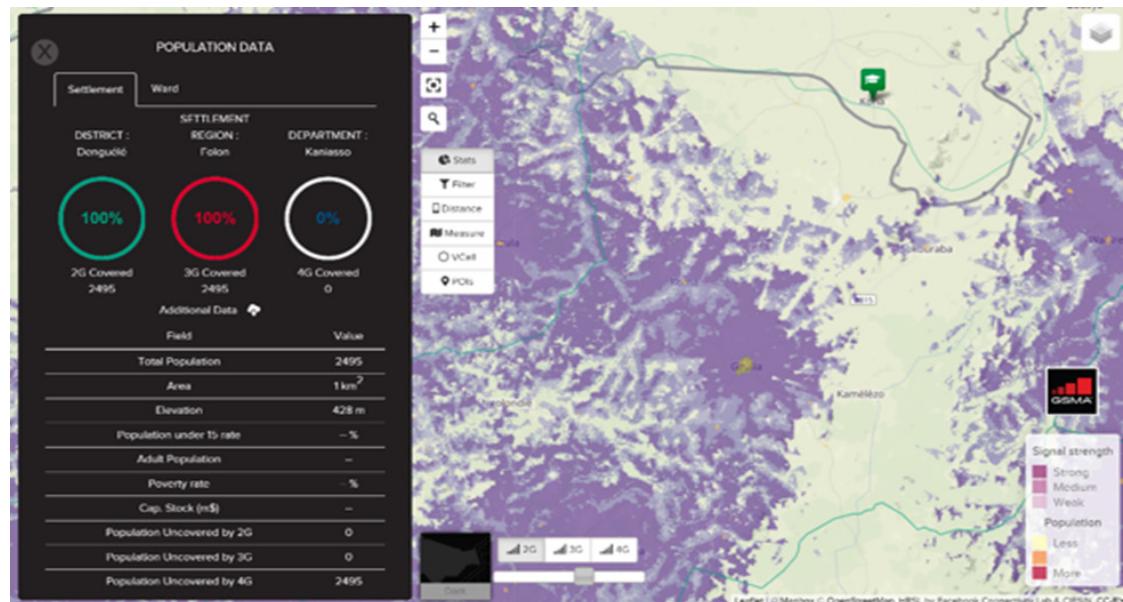
Les cas ci-dessous mettent en évidence différentes plateformes de cartographie ainsi que leur utilisation aux fins du déploiement et de l'analyse des réseaux

Cartes de couverture mobile de la GSMA

La GSMA a créé une [Plate-forme de cartographie de la couverture mobile](http://www.mobilecoveragemaps.com/) (<http://www.mobilecoveragemaps.com/>, on trouvera un exemple de cadre dans la Figure A1.1) afin de remédier au manque de données fiables et précises sur la couverture dans les marchés émergents. Les cartes interactives permettent aux utilisateurs:

- d'avoir un aperçu précis et complet de la couverture mobile dans un pays donné, pour chaque génération de technologie mobile (2G, 3G et 4G);
- d'évaluer le niveau de couverture de chaque établissement humain dans le pays, quelle que soit sa taille et aussi isolé soit-il;
- de simuler le déploiement de nouveaux sites mobiles et d'estimer la population desservie.

Figure A1.1. Exemple de carte de couverture mobile de la GSMA



Afin que les cartes de couverture soient pertinentes et précises et donnent des informations utiles, elles sont fondées sur des données de première main à forte granularité. Pour ce faire, la GSMA collecte directement des informations sur le réseau (telles que l'emplacement des antennes et la hauteur des tours) auprès des opérateurs de téléphonie mobile et donne une estimation de la couverture globale de tous les opérateurs de téléphonie mobile du marché, en utilisant un modèle de propagation standard. Les données de couverture sont ensuite superposées aux données démographiques à haute résolution collectées par Facebook Connectivity Lab et le CIESIN. Ces données visent à donner une estimation de la répartition de la population à un niveau supra-local, en s'appuyant sur des données de recensement et des images satellites à haute résolution. Enfin, les cartes présentent d'autres indicateurs socio-économiques et des bâtiments essentiels tels que des écoles, des hôpitaux et des centres médicaux. La plate-forme en ligne héberge actuellement huit cartes, à savoir le Ghana, la Côte d'Ivoire, le Liberia, le Nigéria, le Rwanda, la Tanzanie, l'Ouganda et la Zambie, d'autres pays devant être ajoutés au cours des prochains mois.

Il existe plusieurs cas d'utilisation des cartes de couverture, le principal étant la planification des infrastructures rurales. Dans ce contexte, la GSMA a conçu des algorithmes qui utilisent les données sous-jacentes des cartes pour générer des déploiements optimaux qui permettent une couverture maximale de la population tout en limitant les coûts. La GSMA aide ainsi les opérateurs de téléphonie mobile à identifier les zones rurales où ils peuvent étendre leur couverture de façon rentable sur le plan commercial. Elle aide également les autorités publiques à hiérarchiser leurs efforts de connectivité en identifiant les zones qui nécessitent une forme ou une autre de subventions ou de financements à des conditions libérales pour réduire le coût du déploiement (par exemple, par l'exonération des droits d'importation).

Outre l'optimisation des investissements dans l'infrastructure, des tierces parties utilisent les cartes de couverture mobile sur plate-forme en ligne ouverte et gratuite de la GSMA. Par exemple, des entreprises privées identifient les zones dans lesquelles elles peuvent utiliser les canaux numériques pour fournir leurs services aux clients situés en milieu rural; des chercheurs peuvent mesurer les incidences de la connectivité sur l'économie rurale; et des organisations humanitaires intègrent la connectivité en tant qu'élément au sein de leurs plans d'intervention.

Masae Analytics

<https://www.masae-analytics.com/>

Considérations générales: Les opérateurs de télécommunications doivent identifier les zones dans lesquelles il est intéressant, sur le plan économique, d'installer de nouvelles stations de base afin d'étendre leur portée. Dans la mesure où le réseau est déployé dans des zones rurales à faible densité de population, les emplacements doivent être choisis avec une grande précision, de façon à optimiser la taille de la population couverte et le retour sur investissement.

Méthodologie: Masae Analytics a conçu un algorithme associant à la fois des données ouvertes granulaires sur la densité de population et des informations sur la couverture de manière à détecter les zones les plus prometteuses ("zones blanches") où de nouvelles stations de base devraient être installées (voir figure A1.2). L'algorithme donne une simulation, pour tous les points du pays, concernant le nombre de personnes supplémentaires qui seraient couvertes par une nouvelle station de base potentielle, grâce à des techniques de convolution. Il sélectionne ensuite les zones où ce nombre est le plus élevé et les classe par ordre de priorité.

Produits:

La plate-forme interactive en ligne sécurisée affiche toutes les couches et fonctionnalités pertinentes:

- la carte de couverture de l'opérateur (2G/3G/4G);
- la carte de couverture estimée des concurrents (si des données ouvertes sont disponibles);
- la couche granulaire de la population (il s'agit en général d'une couche à haute résolution concernant les établissements fondée sur les données du CIESIN et de Facebook ou de WorldPop);
- les zones blanches identifiées par Masae Analytics, ainsi que le nombre de personnes nouvellement couvertes et les informations sociodémographiques, en fonction des données disponibles;
- des outils de filtrage;

- des fonctionnalités permettant d'exporter des fichiers Excel, par exemple pour se concentrer sur les zones blanches détectées dans des régions spécifiques et les classer par ordre décroissant.

Incidences: Les opérateurs de réseau mobile avec lesquelles Masaë Analytics a collaboré ont réussi à augmenter leur retour sur investissement et les dépenses d'investissement liées au déploiement.

Figure A1.2. Algorithme de Masaë Analytics avec données ouvertes granulaires sur la densité de population granulaire et informations sur la couverture visant à détecter les zones les plus prometteuses ("zones blanches") en vue de l'installation de nouvelles stations de base



On peut citer un deuxième exemple des travaux de Masaë Analytics, à savoir des cas dans lesquels Masaë collabore de manière croissante avec des investisseurs, des start-ups hors réseau et des services publics en ce qui concerne le lien entre l'accès à l'énergie et l'accès à la connectivité.

Méthodologie: En superposant les cartes de couverture, les données relatives au réseau électrique, les couches de population et les données sociodémographiques d'un pays donné (voir la figure A1.3), les algorithmes de Masaë Analytics peuvent détecter et regrouper différentes zones d'intérêt en fonction des objectifs que chaque acteur technologique souhaite atteindre. Les entreprises du secteur de l'énergie solaire avec paiement à l'utilisation, par exemple, doivent cibler les zones peuplées qui sont en dehors du réseau et disposent d'une connectivité suffisante, de façon que les paiements en argent mobile transitent par les opérateurs de réseau mobile. Ils doivent donc donner la priorité aux zones non couvertes ayant accès au réseau pour déployer de nouvelles stations de base. Les acteurs du mini-réseau se concentreront sur les zones ne disposant pas d'une connexion au réseau, dans lesquelles une station de base est présente (qui pourrait faire fonction de "locataire clé" potentiel) et qui sont caractérisées par une population nombreuse et très concentrée.

Produits:

La plate-forme interactive en ligne sécurisée affiche toutes les couches et fonctionnalités pertinentes:

- les cartes de couverture estimées et l'emplacement des stations de base (si des données ouvertes sont disponibles);
- les cartes du réseau disponibles, ou l'estimation du réseau établie grâce à l'imagerie satellite de l'éclairage nocturne (par exemple grâce à l'outil VIIRS DNB Nighttime Lights et à l'algorithme à code source ouvert Pathfinder de Facebook research, permettant de modéliser l'empreinte de l'accès au réseau);
- la couche granulaire de la population (il s'agit en général d'une couche à haute résolution concernant les établissements fondée sur les données du CIESIN et de Facebook ou de WorldPop);
- les zones d'intérêt identifiées par Masae Analytics, ainsi que les informations pertinentes les concernant (population supplémentaire couverte, distance par rapport au réseau, distance de couverture, etc.);
- des outils de filtrage, des fichiers Excel.

Incidences: Les fournisseurs d'énergie utilisent l'outil Masae Analytics pour hiérarchiser les zones en fonction l'attractivité du marché et pour identifier les villes prioritaires pour l'installation de centres d'entretien et de pièces détachées.

Figure A1.3. Superposition des cartes de couverture, des données du réseau électrique, des couches de population et des données sociodémographiques dans un pays donné afin de détecter et de regrouper différentes zones d'intérêt

**HIP Consult**

<https://www.hipconsult.com/>

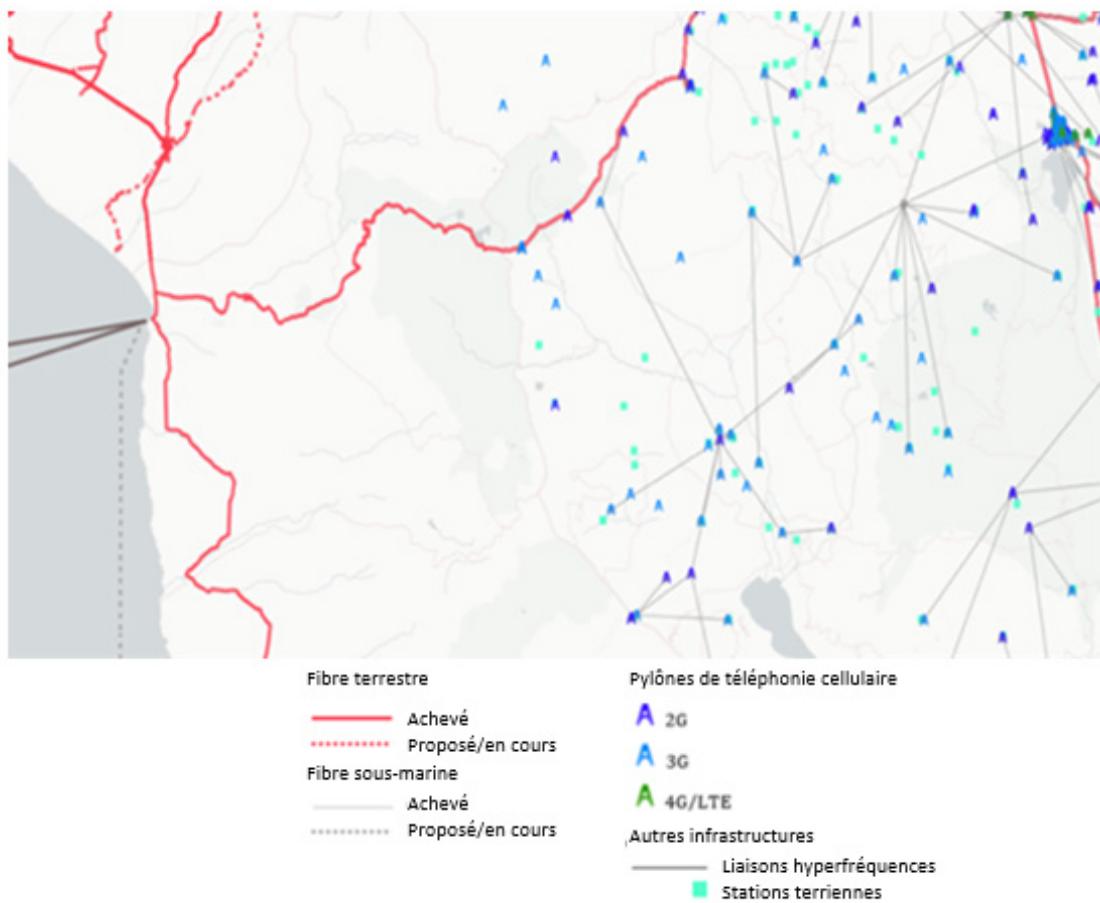
Bien que les efforts de numérisation des économies suscitent une attention croissante et s'accélèrent à l'échelle mondiale, la connectivité large bande nécessaire est loin d'être universelle dans la plupart des marchés en développement et dans de nombreux marchés

matures. Pour identifier les déficits de couverture et déterminer les zones prioritaires pour le déploiement de la fibre optique et des autres solutions de connectivité, il faut d'abord avoir une vue d'ensemble des zones déjà couvertes. Dans ce contexte, HIP Consult, une société de conseil spécialisée dans les infrastructures et les services numériques des marchés émergents, a créé InfraNav, une plate-forme de visualisation et d'analyse des données conçue pour cartographier, contextualiser et optimiser les ressources de réseau (voir la figure A1.4).

InfraNav a été conçu afin de permettre et de développer le processus de cartographie et d'analyse de l'infrastructure. Élaborée au terme de plusieurs années de recherche, de gestion et de validation des réseaux à fibres optiques, des centres de données, des points d'échange Internet et d'autres ressources TIC, la base de données du système d'information géographique des infrastructures numériques d'InfraNav couvre plus de 100 pays d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et d'autres régions, et le nombre d'informations proposées sur la plateforme continue d'augmenter. L'un des principaux problèmes rencontrés sur de nombreux marchés tient au fait que les informations sur les réseaux sont incomplètes ou difficilement accessibles. Les processus de cartographie d'InfraNav comprennent des étapes de saisie et de consolidation des données et l'application de techniques de contrôle de la qualité.

Afin de contextualiser les infrastructures, InfraNav superpose des éléments liés à la demande, tels que la densité de population, l'activité économique, la présence d'institutions et les indicateurs de développement dans les zones où des réseaux existent ou sont envisagés. Cela permet d'étudier de manière approfondie les goulets d'étranglement et les possibilités potentiels au niveau local. Outre les réseaux large bande, InfraNav contient d'autres ensembles de données relatives à l'offre, concernant par exemple la transmission d'énergie et les droits de passage, afin de donner des renseignements sur les options d'expansion du réseau qui sont envisageables, souvent à moindre coût.

Figure A1.4. Échantillon de données sur l'infrastructure TIC d'InfraNav, y compris les artères à fibres optiques, les stations de base, les liaisons hyperfréquences et les stations terriennes



L'outil InfraNav favorise non seulement la transparence et la compréhension de l'environnement des infrastructures numériques, mais il permet également la planification du réseau et fournit des critères de mesures visant à évaluer les indicateurs fondamentaux de performance. À titre d'exemple de la fonctionnalité de planification de réseau, on peut citer un algorithme permettant d'identifier et de hiérarchiser les résultats immédiats qui peuvent être obtenus en offrant une couverture aux populations non desservies et mal desservies (voir la figure A1.5). Parmi les indicateurs fondamentaux de performance figure un tableau de bord qui permet de définir le scénario de référence et de suivre les progrès dans le temps.

Les ensembles de données normalisés et les analyses propriétaires d'InfraNav offrent aux parties prenantes de l'écosystème numérique, telles que les décideurs et les régulateurs, les investisseurs et les fournisseurs de services, la possibilité de mieux comprendre un environnement opérationnel, de fixer des objectifs et d'optimiser les investissements.

Figure A1.5. Superposition du réseau de fibres optiques et du réseau électrique permettant d'identifier les voies d'expansion



Optimiser l'évolution du large bande

Dans l'idéal, une répartition plus efficace des capitaux donne lieu à une structure de coûts globale plus faible pour le secteur, ce qui a pour conséquence de repousser les marges de rentabilité commerciale, au-delà de ce qui constituait auparavant une frontière. Les fournisseurs en bénéficient, dans la mesure où cela leur permet de libérer des ressources qui, autrement, auraient été utilisées pour financer des déploiements très similaires à ceux des fournisseurs concurrents. Ces ressources peuvent être utilisées à meilleur escient, pour développer des services à valeur ajoutée offrant marge plus élevée. Lorsque la couverture et l'accessibilité financière du large bande sont améliorées, les initiatives de développement nationales s'en trouvent renforcées. Les clients de tous les segments bénéficient de propositions plus ciblées et plus pertinentes à mesure que l'écosystème gagne en robustesse.

Le renforcement de la transparence peut également conduire à la désintermédiation de la chaîne de valeur, ce qui rend le marché de gros plus sain. De nombreux marchés ont connu des cycles d'acquisition et de scission, les opérateurs cherchant à acquérir une position dominante avant de réaliser qu'il n'est pas forcément rentable de présenter un bilan lourd avec de trop nombreux services de réseau. Les centres de données ne sont qu'un exemple récent, les opérateurs mondiaux ayant construit ces centres avant de rechercher des partenariats avec des spécialistes ou des investisseurs.

De la même manière, les analyses des systèmes d'information géographique agrégées entre les opérateurs de réseau permettent aux fournisseurs de services d'identifier les endroits où il est plus judicieux de louer les capacités d'autres opérateurs et de réaliser des économies grâce à une meilleure utilisation des ressources. Les opérateurs peuvent ainsi axes leurs dépenses d'investissement sur les lacunes les plus pertinentes pour assurer leur position concurrentielle. Dans l'idéal, l'amélioration de la planification des réseaux donne lieu à une série de technologies et de propositions de valeur adaptées aux conditions sur le terrain.

Identifier les lacunes des infrastructures numériques et les possibilités d'investissement

L'Initiative pour les infrastructures numériques de la Société financière internationale, un programme mondial déployé dans plus de 50 pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine,

vise à accroître l'accès à l'internet large bande et à d'autres services numériques ainsi que leur adoption dans les marchés mal desservis.

Pour soutenir cette initiative, HIP Consult utilisé l'outil InfraNav, associé à des analyses du marché, de la concurrence et de la réglementation, pour identifier les lacunes des infrastructures TIC et les possibilités d'investissement dans plus de 20 pays d'Afrique et d'Asie. Cette approche s'est révélée aussi pertinente qu'efficace pour hiérarchiser les investissements potentiels entre les différentes couches d'infrastructure et limiter au maximum le déploiement d'infrastructures redondantes, tant dans les zones urbaines que dans les zones rurales.

En Éthiopie, par exemple, le taux de pénétration global du large bande est assez faible, et les estimations indiquent que moins d'un tiers de la population vit à moins de 5 km d'un réseau à fibres optiques. La population nombreuse du pays (plus de 100 millions d'habitants) et sa capacité d'adoption des services numériques, laissent supposer un besoin important d'infrastructures de connectivité supplémentaires ainsi que des possibilités d'investissement potentiellement intéressantes, dont les risques pourraient être largement atténués à la lumière des facteurs locaux relatifs à l'offre et à la demande.

Pourtant, de nombreux investisseurs potentiels, qu'il s'agisse d'entreprises du secteur privé, d'institutions de financement du développement ou d'institutions gouvernementales, ont toujours eu des difficultés à identifier les lacunes du marché, en l'absence de cartes et d'autres outils permettant d'évaluer les infrastructures sous-jacentes existantes. C'est notamment la raison pour laquelle les diagnostics concernant le marché donnent de précieuses informations pour la planification des investissements, en ce qu'ils permettent d'examiner l'alignement entre l'infrastructure existante et la demande potentielle, ainsi que les zones dans lesquelles une expansion plus importante est nécessaire et justifiée. De la même manière, ces informations sur les déploiements précédents peuvent être associées à des analyses de l'environnement réglementaire et concurrentiel, de manière à évaluer les autres obstacles sous-jacents qui devraient être abattus si l'on veut promouvoir l'adoption et stimuler la demande.

La géo-analyse pour connecter les écoles et les hôpitaux au Paraguay

HIP Consult s'est appuyé sur l'outil InfraNav afin d'aider la Banque interaméricaine de développement à renforcer la disponibilité, la qualité et l'accessibilité financière de l'accès à l'Internet large bande au Paraguay, en particulier dans les zones rurales.

En visualisant et en contextualisant la connectivité et les données socio-économiques à l'échelle du pays, InfraNav a permis d'identifier et de hiérarchiser des zones géographiques particulières pour le déploiement potentiel de la fibre optique au niveau national. En parallèle, InfraNav a été utilisé pour identifier des connexions transfrontières potentielles et éclairer la décision concernant le déploiement ou non d'une autre liaison internationale et son emplacement. Le projet a également été caractérisé par l'utilisation d'algorithmes de regroupement spatial, de planification et d'optimisation des itinéraires afin de hiérarchiser les investissements dans les infrastructures pour les hôpitaux, les écoles et les bâtiments publics. Enfin, diverses méthodes de regroupement ont été appliquées afin d'identifier les zones qui se prêtent aux investissements du secteur privé et à celles qui pourraient nécessiter une intervention du secteur public. Au sein de ces "zones d'intervention", des groupements d'écoles, d'hôpitaux et d'autres infrastructures susceptibles de produire des incidences importantes ont été identifiés.

Fraym

<https://fraym.io/>

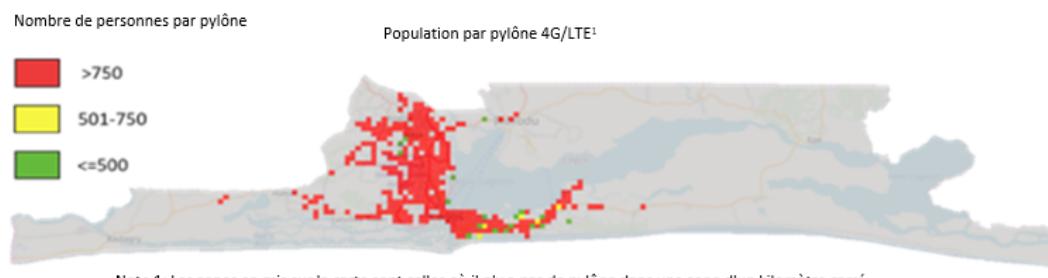
À l'heure où un nombre croissant d'entreprises, de pouvoirs publics et d'organisations multilatérales investissent dans les infrastructures de communication et génèrent de la valeur sur le marché, il devient de plus en plus important de localiser la demande et d'optimiser l'affectation des ressources. Les données géospatiales au niveau supra-local offrent un moyen innovant de répondre à cette problématique et de fournir des indications sur les zones dans lesquelles il convient d'améliorer et d'étendre les services de réseau.

Les solutions géospatiales peuvent mettre facilement en évidence les zones qui ne disposent pas d'une connectivité ou dans lesquelles la connectivité est de mauvaise qualité. Dans un rapport sur le marché de la téléphonie mobile publié par Bain & Company, Fraym a superposé des images satellites et des données géospatiales pour produire une vue granulaire de la couverture et de la qualité du réseau dans l'État de Lagos, au Nigeria. Fraym a cartographié l'emplacement des tours 4G et a calculé le nombre de personnes couvertes pour chaque tour, au sein d'une zone d'un kilomètre carré (voir la figure A1.6). La carte supra-locale montre que les services du réseau 4G sont de mauvaise qualité dans la plupart des régions de l'État de Lagos, ce qui suggère un déficit de services considérables qui doit être comblé par le biais d'investissements et des interventions.

Grâce aux informations géospatiales granulaires, les secteurs privé et public sont en mesure d'identifier les zones mal desservies et d'élaborer des plans stratégiques en connaissance de cause. D'une part, les entreprises peuvent cibler les zones où les investissements permettent de répondre à une forte demande et présentent un bon rendement financier. D'autre part, les pouvoirs publics et les organisations multilatérales peuvent accorder des prêts, des subventions et d'autres mesures incitatives pour développer les réseaux de communication dans les communautés moins bien loties, en veillant à ce que les personnes situées au bas de la pyramide bénéficient d'une connexion de qualité à un prix abordable.

Les données géospatiales supra-locales offrent des informations fiables et exploitables aux acteurs privés et publics, leur permettant de développer des stratégies appropriées pour répondre aux besoins. À mesure que les secteurs public et privé savent mieux où investir et intervenir, ils sont mieux équipés pour réduire les écarts de connectivité et profiter efficacement aux communautés locales.

Figure A1.6. Emplacement des pylônes 4G et nombre de personnes par pylône dans une zone d'un kilomètre carré



Les données géospatiales granulaires facilitent le suivi et l'évaluation des projets en montrant les incidences des investissements sur l'accès aux technologies de communication. En

collaboration avec Harith General Partners, Fraym a utilisé des enquêtes géolocalisées sur les ménages afin d'analyser l'accès à l'Internet et l'utilisation de l'Internet avant et après le déploiement du réseau Main One Cable, un câble sous-marin de 7 000 km qui relie les pays d'Afrique de l'Ouest au reste du monde. L'analyse des données géolocalisées montre une amélioration significative des taux d'accès à l'Internet et de l'utilisation des services en ligne dans les villes disposant d'un accès au réseau Main One, ce qui démontre que l'investissement stratégique a produit une amélioration.

VanuMaps™

<https://www.vanu.com/solutions/coverage-mapping/>

VanuMaps est un élément essentiel de la stratégie de l'entreprise Vanu visant à offrir une couverture dans les marchés en dehors du réseau. VanuMaps associe diverses sources de données afin de cartographier la couverture des réseaux existants, d'évaluer le potentiel commercial des zones non couvertes et de planifier efficacement de nouveaux réseaux pour couvrir ces zones.

VanuMaps utilise tout d'abord les données de localisation des sites. Ces données peuvent être obtenues à partir de différentes sources, mais les meilleures données proviennent généralement des opérateurs, car ceux-ci peuvent fournir des informations concernant la hauteur, l'inclinaison et l'azimut de l'antenne, la puissance de sortie et d'autres éléments qui pourraient être difficiles à déterminer autrement. Les données sont ensuite utilisées, avec d'autres ensembles de données et une combinaison de modèles de propagation, pour établir des prévisions concernant la couverture. Les prévisions tiennent compte des informations topographiques, qui sont essentielles pour avoir une représentation précise de la couverture.

Une fois le modèle de couverture généré, VanuMaps analyse les zones non couvertes et détermine la population qui y réside. Les résultats de cette analyse sont utilisés pour générer une évaluation préliminaire de la population pouvant être couverte par un réseau exploité dans la zone, notamment une estimation préliminaire du nombre d'abonnés couverts. La couverture réseau supplémentaire qui est proposée est ensuite affinée pour tirer parti des caractéristiques topographiques et évaluer la connectivité entre les sites à des fins de liaison. Une fois cette étape effectuée, VanuMaps utilise les données de couverture correspondant aux sites proposés afin d'établir des prévisions de recettes basées sur le niveau de revenu actuel, les facteurs locaux et régionaux, les parts de marché et d'autres variables.

Cette approche vis-à-vis de l'évaluation de la couverture permet à Vanu de prévoir les résultats économiques des sites en amont des activités d'enquête. En se concentrant sur les sites les plus prometteurs, l'entreprise peut améliorer le retour sur investissement des opérateurs et réduire les délais et les risques liés à l'entrée sur de nouveaux marchés.

Vanu a largement utilisé l'outil VanuMaps pour planifier ses déploiements avec le groupe sudafricain MTN. En novembre 2019, MTN et Vanu ont annoncé que Vanu avait remporté l'appel d'offres de MTN Rural. Dans le cadre de cet appel d'offres, MTN prévoit de déployer jusqu'à 5 000 sites dans des marchés ruraux. Vanu a travaillé en étroite collaboration avec les équipes de MTN pour identifier les sites potentiels et optimiser les incidences de cette initiative essentielle portée par MTN.

Vanu a récemment utilisé l'outil VanuMaps pour aider un intégrateur de systèmes à évaluer les sites sélectionnés par un opérateur de réseau mobile et à proposer de nouveaux sites

susceptibles de générer des revenus nettement plus importants. Il s'agit d'un aspect particulièrement important pour l'intégrateur de système, car il finance la construction du site et la sécurité des remboursements est renforcée lorsque la valeur des sites est plus importante.

Enfin, l'entreprise Vanu a récemment travaillé avec un opérateur de réseau mobile pour évaluer un certain nombre de sites prévus. Après avoir évalué la répartition de la population et le terrain à l'aide de VanuMaps, l'entreprise a recommandé un plan de construction du réseau différent. En changeant l'emplacement du site et en construisant sur un certain nombre de sites, l'opérateur a été en mesure de couvrir davantage de personnes dans la même zone et dans les zones environnantes, en engageant moins de dépenses d'investissement et d'exploitation.

Les marchés hors réseau sont source de défis, car le potentiel de revenus est souvent moins important et les coûts plus élevés. Cependant, ils offrent aussi la possibilité de renforcer les bases d'abonnés et, potentiellement, de produire des retombées positives dans le quotidien de ceux qui n'ont pas accès aux communications et services numériques. VanuMaps aide les opérateurs de réseau mobile à fournir de meilleurs services aux marchés hors réseau qui ont le plus besoin de la connectivité.

Annexe 2: Documents de référence et ressources complémentaires

Cartographie des infrastructures de réseau

Fibre (sous-marine et terrestre)

[UIT - Cartographies du large bande](#)

[Telegeography - Carte des câbles sous-marins](#)

[Projet de cartographie des câbles à fibres optiques terrestres en Afrique](#)

[The Connected Pacific \(Pacific connecté\)](#)

Couverture par satellite

[Cartes et graphiques de couverture SatBeams](#)

[Cartes LyngSat](#)

[Carte de la couverture d'IntelSat](#)

[Carte de la couverture d'Iridium](#)

[Carte de la couverture d'Inmarsat](#)

Emplacements et couverture des stations de base

[GSMA - Cartes de la couverture mobile](#)

[Open Telecom Data - Emplacement des pylônes \(Divers pays\)](#)

[OpenCellID](#)

[OpenSignal](#)

Couverture Wi-Fi

[Service de localisation Mozilla \(MLS\)](#)

Spectre

[Open Telecom Data - Attributions de fréquences \(Afrique\)](#)

Données sociodémographiques, environnementales et géographiques

Densité de population

[Couche mondiale des établissements humains du Centre commun de recherche \(CCR\)](#)

[WorldPop - Université de Southampton](#)

[Landscan - Oak Ridge](#)

[Base de données sur la population mondiale par unité de grille \(GPW\) du Centre pour un réseau international d'informations sur les sciences de la Terre \(CIESIN\)](#)

[Cartographie à haute résolution de la couche des établissements \(HRSL\) du CIESIN et de Facebook](#)

Électrification

[Gridfinder](#)

[Modèle de la Banque mondiale et de Facebook](#)

Autres ressources de cartographie

Références/Guides

[Banque mondiale - Cartographie du large bande](#)

[Jon Brewer - Utiliser les systèmes d'information géographique pour fournir un accès large bande universel](#)

[UNICEF - Project Connect](#)

Modélisation de la propagation des ondes radioélectriques

[SPLAT](#)

[CloudRF](#)

Références techniques

Réseaux

[Planification des réseaux de télécommunications pour les nouvelles architectures de réseau - Manuel de référence](#)

[Les réseaux hertziens dans les pays en développement](#)

[Création d'un réseau communautaire hertzien aux Pays-Bas](#)

[Planification des réseaux communautaires hertziens](#)

[Portail de l'UIT sur l'infrastructure](#)

[Guide sur la collaboration avec les opérateurs de réseau mobile \(HCR\)](#)

[Les réseaux communautaires en bande dessinée](#)

[Manuel d'Ericsson sur l'accès hertzien fixe](#)

[Comparatif des technologies large bande filaires et hertziennes de l'Union européenne](#)

Financement

[Kit pratique pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC de 2019](#)

[Guide de l'Union européenne sur les investissements dans le large bande](#)

Questions relatives à la demande

[Considérations de l'Administration nationale des télécommunications et de l'information \(NTIA\) relatives aux efforts d'inclusion numérique](#)

Recommandations politiques et réglementaires

[Kit pratique sur la réglementation des TIC](#)

[Base de données relative aux bonnes pratiques de l'Alliance for Affordable Internet](#)

[Réseaux communautaires en Amérique latine](#)

[Rapports de l'OCDE sur les thèmes relatifs aux télécommunications](#)

[Règles de la Dynamic Spectrum Alliance](#)

Études de cas

[Base de données des études de cas sur la connectivité sur le dernier kilomètre](#)

[Base de données des projets sur la connectivité dans les écoles](#)

[1WorldConnected](#)

[Rapport de l'APC](#)

[Initiative Airband de Microsoft](#)

[HCR, Collaboration au service de la connectivité](#)

[Manuel de l'Union européenne sur la large bande](#)

[Incidence des satellites dans le monde \(Global Satellite Coalition\)](#)

Autres ressources

[Guide de solutions de la Banque mondiale sur les stratégies en matière de large bande](#)

[Composants numériques interopérables \(Contenus, applications et services\)](#)

[BCG, Justification économique du déploiement du large bande dans les zones rurales des États-Unis](#)

[Ressources de la NTIA des États-Unis](#)

[Webinaires de la NTIA des États-Unis](#)

[Guide de la Banque mondiale sur les solutions de partage intersectoriel des infrastructures](#)

[Guide de solutions de la Banque mondiale pour l'évaluation de l'état de préparation à l'informatique en nuage](#)

[Manuel sur l'énergie solaire \(Moving Energy Initiative\)](#)

[Guide des ONG sur les solutions énergétiques \(NetHope\)](#)

[HCR, La connectivité pour les réfugiés](#)

[La transformation numérique de l'éducation \(Commission sur le large bande\)](#)

Rapports supplémentaires consultés et cités en référence

- La collaboration au service de la connectivité (*Collaborating for Connectivity*) (HCR, 2020)
- L'accès au numérique en Afrique (*Digital Access in Africa*) (Caribou Digital, 2019)
- Connecter les personnes qui ne sont pas connectées – Relever le défi de l'accès Internet large bande rentable dans les zones rurales (*Connecting the Unconnected - Tackling the Challenge of Cost-Effective Broadband Internet in Rural Areas*) (Fraunhofer FIT, 2019)
- Combler les écarts en matière de couverture: Stimuler la connectivité rurale grâce à l'innovation (*Closing the Coverage Gap: How Innovation Can Drive Rural Connectivity*) (GSMA, 2019)
- Se préparer au large bande - Kit pratique à l'usage des communautés (*Becoming Broadband Ready - A Toolkit for Communities*) (Next Century Cities, 2019)
- L'économie mobile en 2019 (*The Mobile Economy 2019*) (GSMA, 2019)
- Stratégies de connectivité ascendantes (*Bottom-up Connectivity Strategies*) (APC, 2019) Dividende numérique: observations à prendre en compte lors de la prise de décisions en matière de spectre (UIT, 2018)
- État de la connectivité Internet mobile en 2018 (*State of Mobile Internet Connectivity 2018*) (GSMA, 2018)
- Modèles commerciaux innovants pour l'expansion des réseaux à fibres optiques et la réduction des disparités en matière d'accès (*Innovative Business Models for Expanding Fibre-Optic Networks and Closing the Access Gaps*) (Banque mondiale, 2018)
- Étude de cas sur l'innovation en matière de connectivité dans les zones rurales: Utilisation de sites de petite dimension pour améliorer la couverture dans les zones (*Rural Connectivity Innovation Case Study: Using light sites to drive rural coverage*) - Huawei RuralStar et MTN Ghana (GSMA, 2018)
- Les réseaux communautaires en Amérique latine: défis, réglementation et solutions (*Community Networks in Latin America: Challenges, Regulations, and Solutions*) (Internet Society, 2018)
- Veille mondiale sur la société de l'information 2018: réseaux communautaires (*Global Information Society Watch 2018*) (APC et CRDI, 2018)
- Étude de cas sur l'innovation en matière de connectivité dans les zones rurales: Cellcard Cambodge (*Rural Connectivity Innovation Case Study: Cellcard Cambodia*) (GSMA, 2018)
- Promouvoir la connectivité sur le dernier kilomètre (*Powering Last-Mile Connectivity*) (Facebook/Bloomberg New Energy Finance, 2018)
- 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 cognitives (UIT, 2017)
- Nouveaux outils de gestion du spectre pour répondre aux besoins de développement (UIT, 2017)
- Architecture d'infrastructure de réseau hertzien pour les communautés rurales (*A Wireless Network Infrastructure Architecture for Rural Communities*) (Osahon & Emmanuel, 2017)
- Combler les écarts en matière d'accès: l'innovation pour accélérer l'adoption universelle de l'Internet (*Closing the Access Gap: Innovation to Accelerate Universal Internet Adoption*) (USAID, 2017)
- La Connectivité sur le dernier kilomètre dans les marchés émergents (*Last Mile Connectivity in Emerging Markets*) (Developing Telecoms, 2016)
- Promouvoir la couverture des zones rurales (*Unlocking Rural Coverage*) (GSMA, 2016)
- Modèles commerciaux en faveur du dernier milliard: Approches commerciales visant à améliorer la connectivité Internet (*Business Models for the Last Billion: Market Approaches to Increasing Internet Connectivity*) (USAID, 2016)
- Mettre l'Internet des objets au service du développement dans le monde (*Harnessing the Internet of Things for Global Development*) (UIT & Cisco, 2015)
- Couverture dans les zones rurales: stratégies en matière de durabilité (*Rural Coverage: Strategies for Sustainability*) (GSMA, 2015)
- Avantages et coûts des objectifs d'infrastructure du programme de développement post-2015 - Consensus post-2015 (*Benefits and Costs of the Infrastructure Targets for the Post-2015 Development Agenda Post-2015 Consensus*) (Copenhagen Consensus Center, 2014)

[L'informatique au service de l'autonomisation des populations rurales grâce aux télécommunications sur le dernier kilomètre \(Rural Telecommunications Infrastructure Selection Using the Analytic Network Proces\)](#) (Divers, 2013)

[Sélection des infrastructures de télécommunications rurales à l'aide du processus de hiérarchie analytique \(Rural Telecommunications Infrastructure Selection Using the Analytic Network Process\)](#) (Divers, 2010)

[Connectivité dans les régions émergentes: l'amélioration nécessaire des technologies et des modèles commerciaux \(Connectivity in Emerging Regions: The Need for Improved Technology and Business Models\)](#) (CMU, 2007)

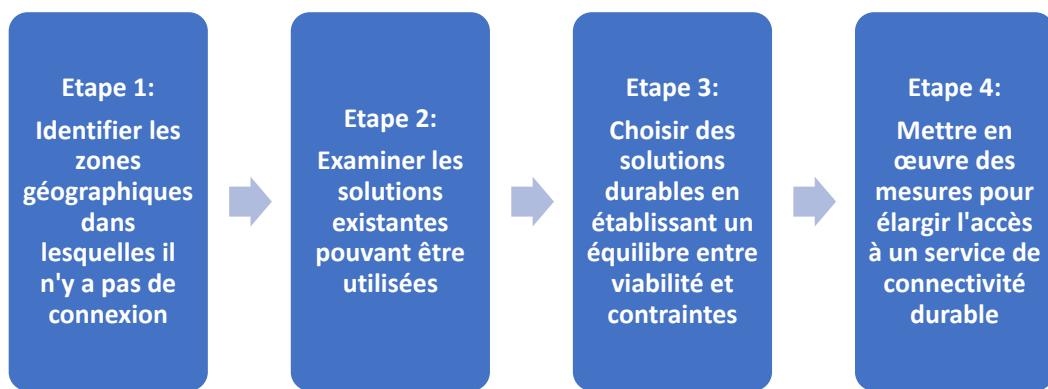
[Améliorer l'accessibilité des télécommunications: un enrichissement mutuel entre les pays développés et les pays en développement \(Improving affordability of telecommunications: cross-fertilization between the developed and the developing world\)](#) (Claire Milne, 2006)

[Réseaux communautaires et technologies innovantes: de nouveaux modèles pour fournir des services aux populations pauvres et promouvoir leur autonomisation \(Community-Based Networks and Innovative Technologies: New Models to Serve and Empower the Poor\)](#) (PNUD, 2005)

Annexe 3: Application du guide dans le cas de déploiements simultanés sur plusieurs sites (conception du réseau)

Le présent guide est principalement axé sur la conception du déploiement de la connectivité sur un seul site. Toutefois, les étapes présentées (voir la figure A3.1), associées aux informations de référence et à la matrice de décision, peuvent être appliquées pour concevoir le déploiement d'un réseau sur plusieurs sites

Figure A3.1. Quatre étapes présentées dans le Guide des solutions pour la connectivité Internet sur le dernier kilomètre



Étape 1 – L'étape 1 reste inchangée.

Étapes 2 et 3 – Étant donné que plusieurs sites doivent être raccordés, il se peut qu'aucune solution de connectivité unique ne soit en mesure de connecter tous les sites, auquel cas une solution hybride peut être nécessaire afin de répondre aux diverses contraintes grâce aux solutions potentielles. Cette solution hybride suppose d'analyser divers facteurs importants en plus de la localisation, notamment le nombre de sites à raccorder, les besoins en matière d'utilisation (et de largeur de bande) de chaque site, la topologie et les conditions environnementales, les disparités au niveau des caractéristiques socio-économiques des sites, et les conséquences sur la rentabilité et la durabilité. La conception du réseau doit prévoir l'itinéraire le plus court pour connecter les différents noeuds.

Étape 4 – Dans ce cas, l'ensemble des options de mise en œuvre reste inchangé, mais il convient de tenir compte des déploiements multiples au moyen de types de technologies potentiellement différents.

Union internationale des télécommunications (UIT)
Bureau de développement des télécommunications (BDT)
Bureau du Directeur
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse

Courriel: bdddirector@itu.int
Tél.: +41 22 730 5035/5435
Fax: +41 22 730 5484

Département des réseaux et de la société numériques (DNS)
Courriel: bdt-dns@itu.int
Tél.: +41 22 730 5421
Fax: +41 22 730 5484

Département du pôle de connaissances numériques (DKH)
Courriel: bdt-dkh@itu.int
Tél.: +41 22 730 5900
Fax: +41 22 730 5484

Afrique

Ethiopie

International Telecommunication Union (ITU) Bureau régional
Gambia Road
Leghar Ethio Telecom Bldg. 3rd floor
P.O. Box 60 005
Addis Ababa
Ethiopie

Courriel: itu-ro-africa@itu.int
Tél.: +251 11 551 4977
Tél.: +251 11 551 4855
Tél.: +251 11 551 8328
Fax: +251 11 551 7299

Cameroun

Union internationale des télécommunications (UIT)
Bureau de zone
Immeuble CAMPOST, 3rd étage
Boulevard du 20 mai
Boîte postale 11017
Yaoundé
Cameroun

Courriel: itu-yaounde@itu.int
Tél.: +237 22 22 9292
Tél.: +237 22 22 9291
Fax: +237 22 22 9297

Adjoint au directeur et Chef du Département de l'administration et de la coordination des opérations (DDR)
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse

Courriel: bdtdeputydir@itu.int
Tél.: +41 22 730 5131
Fax: +41 22 730 5484

Département des partenariats pour le développement numérique (PDD)
Courriel: bdt-pdd@itu.int
Tél.: +41 22 730 5447
Fax: +41 22 730 5484

Amériques

Brésil
União Internacional de Telecomunicações (UIT)
Bureau régional
SAUS Quadra 6 Ed. Luis Eduardo Magalhães,
Bloco "E", 10^o andar, Ala Sul
(Anatel)
CEP 70070-940 Brasilia - DF
Brazil

Courriel: itubrasilia@itu.int
Tél.: +55 61 2312 2730-1
Tél.: +55 61 2312 2733-5
Fax: +55 61 2312 2738

La Barbade
International Telecommunication Union (ITU) Bureau de zone
United Nations House
Marine Gardens
Hastings, Christ Church
P.O. Box 1047
Bridgetown
Barbados

Courriel: itubridgetown@itu.int
Tél.: +1 246 431 0343
Fax: +1 246 437 7403

Chili
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)
Oficina de Representación de Área
Merced 753, Piso 4
Santiago de Chile
Chili

Courriel: itusantiago@itu.int
Tél.: +56 2 632 6134/6147
Fax: +56 2 632 6154

Honduras
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)
Oficina de Representación de Área
Colonia Altos de Miramontes
Calle principal, Edificio No. 1583
Frente a Santos y Cía
Apartado Postal 976
Tegucigalpa
Honduras

Courriel: itutegucigalpa@itu.int
Tél.: +504 2235 5470
Fax: +504 2235 5471

Etats arabes

Egypte
International Telecommunication Union (ITU) Bureau régional
Smart Village, Building B 147,
3rd floor
Km 28 Cairo
Alexandria Desert Road
Giza Governorate
Cairo
Egypte

Courriel: itu-ro-arabstates@itu.int
Tél.: +202 3537 1777
Fax: +202 3537 1888

Asie-Pacifique

Thaïlande
International Telecommunication Union (ITU) Bureau régional
Thailand Post Training Center
5th floor
111 Chaengwattana Road
Laksi
Bangkok 10210
Thaïlande

Adresse postale:
P.O. Box 178, Laksi Post Office
Laksi, Bangkok 10210, Thailand

Courriel: itasiapacificregion@itu.int
Tél.: +66 2 575 0055
Fax: +66 2 575 3507

Indonésie
International Telecommunication Union (ITU) Bureau de zone
Sapta Pesona Building
13th floor
Jl. Merdan Merdeka Barat No. 17
Jakarta 10110
Indonésie

Adresse postale:
c/o UNDP – P.O. Box 2338
Jakarta 10110, Indonesia

Courriel: itasiapacificregion@itu.int
Tél.: +62 21 381 3572
Tél.: +62 21 380 2322/2324
Fax: +62 21 389 5521

Pays de la CEI

Fédération de Russie
International Telecommunication Union (ITU) Bureau régional
4, Building 1
Sergiy Radonezhsky Str.
Moscow 105120
Fédération de Russie

Courriel: itumoscow@itu.int
Tél.: +7 495 926 6070

Europe

Suisse

Union internationale des télécommunications (UIT)
Bureau pour l'Europe
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse
Courriel: eurregion@itu.int
Tél.: +41 22 730 5467
Fax: +41 22 730 5484

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

ISBN 978-92-61-32142-0



9 789261 321420

Publié en Suisse
Genève, 2020
Crédits photos: Shutterstock