

Kit pratique de l'UIT pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC

Réseaux 5G



Kit pratique de l'UIT pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC

Réseaux 5G

2023



Remerciements

Le présent rapport a été établi par des experts de l'Union internationale des télécommunications (UIT), Tiago Sousa Prado, Priscila Honório Evagelista et Abraão Balbino e Silva, ainsi que par des experts du Bureau de développement des télécommunications (BDT) de l'UIT.

Avis de non-responsabilité

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part 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 références faites à certaines sociétés ou aux produits de certains fabricants n'impliquent pas que l'UIT approuve ou recommande ces sociétés ou ces produits 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. Toutefois, le matériel publié est diffusé sans aucune garantie, expresse ou implicite. Son interprétation et son utilisation relèvent de la responsabilité du lecteur.

Les avis, résultats et conclusions reproduits dans la présente publication ne reflètent pas nécessairement la position de l'UIT ou de ses membres.

ISBN

978-92-61-36512-7 (version électronique)

978-92-61-36522-6 (version EPUB)

978-92-61-36532-5 (version MOBI)



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

© ITU 2023

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).

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. Si vous adaptez le contenu de la présente publication, vous devez publier vos travaux 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". On trouvera de plus amples informations sur le site: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/>.

Avant-propos



Le déploiement de l'Internet large bande dans les grandes villes se déroule presque naturellement. Toutefois, le déploiement de ces réseaux dans les zones rurales et isolées est nettement plus difficile. En raison des obstacles économiques, géographiques et/ou démographiques, nombre de personnes ne sont toujours pas connectées au monde numérique.

Les statistiques de l'UIT indiquent que les deux tiers de la population mondiale utilisent l'Internet. Bien que ce chiffre soit encourageant, il ne faut pas oublier que personne ne devrait rester déconnecté.

Il est essentiel de mettre en place les dispositifs techniques et économiques appropriés et de prévoir une planification durable des activités pour encourager le déploiement des infrastructures, en particulier dans

les zones rurales et isolées, afin de promouvoir l'accès universel à des services numériques rapides, fiables et financièrement abordables.

L'UIT a publié pour la première fois en 2019 le kit pratique de planification de l'infrastructure des TIC pour relever les défis liés à la planification commerciale avec les réseaux mobiles 4G et les réseaux à fibres optiques et continue de proposer une méthode claire et pratique d'évaluation économique précise des plans d'installation et de déploiement de l'infrastructure large bande.

Cette version révisée ajoute la conception des réseaux pour prendre en charge le déploiement durable des technologies 5G. Les réseaux 5G peuvent élargir la connectivité haut débit, mais leur adoption reste problématique dans de nombreux pays en développement. Ce kit pratique présente des mécanismes permettant d'évaluer la viabilité des projets 5G.

La méthodologie présentée dans le kit pratique a déjà été utilisée dans le cadre de formations dans les établissements universitaires participant aux travaux de l'UIT en Afrique et en Europe. Les informations fournies en retour par les utilisateurs du kit pratique, les participants à la formation et les experts sur le sujet ont souligné qu'il était urgent de renforcer les capacités et les compétences afin de planifier le déploiement du réseau 5G au niveau national, en mettant particulièrement l'accent sur les projets destinés à des zones dont l'attrait économique est moindre.

Ce kit pratique ainsi que la formation spécialisée fournissent des conseils spécialisés et faciliteront l'élaboration de plans d'activité crédibles, cohérents et durables adaptables à une large gamme de projets de déploiement d'infrastructures large bande.

J'espère que cette nouvelle version du kit pratique pour la planification des activités continuera d'être reconnue comme un manuel précieux pour les décideurs, les régulateurs et les parties prenantes du secteur des TIC du monde entier, dans leurs efforts visant à mettre les réseaux large bande à la portée de tous.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Cosmas Luckyson Zavazava'.

M. Cosmas Luckyson Zavazava
Directeur du Bureau de développement des télécommunications (BDT)
Union internationale des télécommunications (UIT)

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Remerciements | ii |
| Avant-propos | iii |
| 1 Planification économique du large bande..... | 1 |
| 1.1 Définir un plan d'affaires | 6 |
| 1.2 Difficultés rencontrées dans l'élaboration d'un plan d'activité..... | 9 |
| 1.3 La planification d'affaires en tant qu'outil de politique publique..... | 11 |
| 2 Estimation de la demande de services large bande | 13 |
| 2.1 Estimation de la demande par des méthodes économétriques..... | 16 |
| 2.2 Estimation de la demande par la méthode de Delphi | 18 |
| 2.3 Décomposition de la demande en différents segments..... | 19 |
| 2.4 Estimation de la demande de services 5G..... | 22 |
| 2.5 Estimation de la part de marché du nouvel opérateur potentiel..... | 23 |
| 3 Estimation des recettes provenant de la fourniture de services large bande. | 25 |
| 3.1 Estimation des revenus pour les projets de large bande mobile | 25 |
| 3.2 Estimation des revenus pour les projets de large bande fixe | 26 |
| 3.3 Estimation des recettes des nouvelles entreprises liées à la 5G (URLLC et mMTC)..... | 27 |
| 3.4 Estimation des revenus pour les projets de large bande fixe | 29 |
| 3.5 Comportement des recettes tout au long du projet | 29 |
| 4 Estimation des besoins en investissements dans les réseaux large bande - dépenses d'équipement (capex)..... | 30 |
| 4.1 Réseaux d'accès large bande mobiles 4G..... | 31 |
| 4.2 Réseaux d'accès large bande mobile et fixe 5G | 37 |
| 4.2.1 Dépenses d'équipement du réseau d'infrastructure 5G | 38 |
| 4.2.2 Dépenses d'équipement du réseau d'accès 5G | 39 |
| 4.2.3 Dépense d'équipement liée à l'offre de services spécialisés 5G pour les marchés de niche | 41 |
| 4.3 Réseaux d'accès large bande fixe | 41 |
| 4.4 Réseaux de transport..... | 53 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | Estimation des dépenses d'exploitation (OPEX) pour la fourniture de services large bande | 55 |
| 5.1 | Utilisation de modèles de coûts pour évaluer les dépenses d'exploitation..... | 55 |
| 5.2 | Utiliser les coûts et les charges passés pour estimer les dépenses d'exploitation..... | 58 |
| 5.3 | Utilisation de critères de référence pour évaluer les dépenses d'exploitation | 59 |
| 6 | Estimation du coût moyen pondéré du capital (CMPC)..... | 62 |
| 7 | Mécanismes de financement pour lancer des projets d'infrastructure large bande | 75 |
| 7.1 | Mécanismes de financement des projets et des licences..... | 76 |
| 7.2 | Mécanismes de financement du déploiement des infrastructures..... | 77 |
| 7.3 | Mécanismes de financement de la fourniture des services..... | 78 |
| 8 | Conclusions | 80 |
| | Liste d'abréviations | 82 |
| | Bibliographie | 84 |

Liste des figures, encadrés et tableaux

Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Carte du large bande de l'UIT – Autoroutes de l'information terrestre (décembre 2022)..... | 2 |
| Figure 2: Courbe de régression (pénétration du large bande x PIB par habitant)..... | 16 |
| Figure 3: Exemple de décomposition de la demande large bande mobile | 20 |
| Figure 4: Exemple de décomposition de la demande large bande mobile | 21 |
| Figure 5: Scénarios pour les IMT-2020 | 22 |
| Figure 6: Estimation des recettes nettes..... | 25 |
| Figure 7: Prévisions de recettes des opérateurs mobiles 5G en 2020 et 2030..... | 28 |
| Figure 8: Réseau LTE hétérogène | 31 |
| Figure 9: Topologie de réseau FTTH | 42 |
| Figure 10: Modèle géométrique SSL..... | 46 |
| Figure 11: Composition totale des coûts | 56 |
| Figure 12: Rapport charges/recettes nettes | 56 |
| Figure 13: Rapport charges/recettes nettes historique..... | 58 |
| Figure 14: Rapport CAPEX/OPEX..... | 60 |
| Figure 15: OPEX d'unité..... | 60 |
| Figure 16: Étapes 1 à 4 du calcul de la valeur VAN | 68 |
| Figure 17: Étapes 5 et 6 du calcul de la VAN..... | 69 |
| Figure 18: Exemple de valeur VAN 1 et interprétation possible | 72 |

| | |
|--|----|
| Figure 19: Exemple de valeur VAN 2 et interprétation possible | 72 |
| Figure 20: Exemple de valeur VAN 3 et interprétation possible | 73 |
| Figure 21: Exemple de valeur VAN 4 et interprétation possible | 74 |
| Figure 22: Répartition des mécanismes types de financement de projets d'infrastructure..... | 76 |

Encadrés

| | |
|---|----|
| Estimation de la part de marché du nouvel opérateur potentiel..... | 24 |
| Estimation des revenus pour les projets de large bande fixe | 26 |
| Macrocellules | 33 |
| Petites cellules | 36 |
| Terminaisons de ligne optique | 44 |
| Calcul de la fibre optique (couche répartiteur) | 45 |
| Calcul de la fibre optique (foyers desservis) | 51 |
| Utilisation de modèles de coûts pour évaluer les dépenses d'exploitation | 58 |
| Utilisation des coûts et des charges passés pour estimer les dépenses d'exploitation | 61 |
| Estimation du CMPC au moyen d'une méthode CAPM globale..... | 66 |
| Calcul de la valeur actuelle nette (VAN) | 71 |

Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Comparaison entre la pénétration du large bande et la population à portée des connexions à fibres optiques en 2021 | 2 |
| Tableau 2: Exemples de questions posées dans le cadre du questionnaire relatif à la méthode Delphi | 18 |
| Tableau 3: Coûts d'exploitation et d'entretien..... | 57 |
| Tableau 4: Estimation de l'OPEX total au moyen d'un modèle de coûts..... | 57 |
| Tableau 5: Estimation des dépenses d'exploitation totales à l'aide des coûts et des charges passés..... | 59 |
| Tableau 6: Estimation des dépenses d'exploitation totales au moyen d'une référence..... | 60 |
| Tableau 7: Avantages et inconvénients du modèle CAPM local et mondial..... | 64 |

1 Planification économique du large bande

Introduction

Étendre l'accès à l'Internet large bande aux populations non desservies ou mal desservies, afin d'accélérer la mise en place de la connectivité universelle et la réalisation des Objectifs de développement durable fixés par les Nations Unies est l'un des piliers fondamentaux de l'UIT et de ses membres. La révision de ce kit pratique consiste à le mettre à jour en vue d'intégrer le déploiement durable des réseaux 5G.

Le développement et le déploiement des réseaux large bande nécessitent des investissements considérables. Étant donné la grande diversité des environnements physiques et économiques dans lesquels les fournisseurs de services doivent opérer, une grande partie de ces investissements – de la recherche-développement (R&D) à des équipements spécialisés capables de fonctionner dans des conditions extrêmes – vise à permettre le déploiement et l'exploitation efficace d'infrastructures de réseau TIC sur divers marchés de par le monde.

Dans les zones économiquement attrayantes, telles que les grandes villes, la mise en œuvre de l'infrastructure se fait presque naturellement, car les forces du marché agissent pour répondre à la demande. Toutefois, le tableau est souvent très différent, en particulier dans les zones rurales et isolées, où les obstacles économiques, géographiques et/ou démographiques limitent l'accès à l'infrastructure de réseau large bande; il en résulte qu'un grand nombre de personnes restent isolées du monde numérique.

Le public visé par ce kit pratique est les États Membres de l'UIT qui cherchent à obtenir des orientations sur la manière d'élaborer des plans d'activité crédibles, cohérents et bien fondés, afin d'élargir la couverture du réseau et de garantir la durabilité.

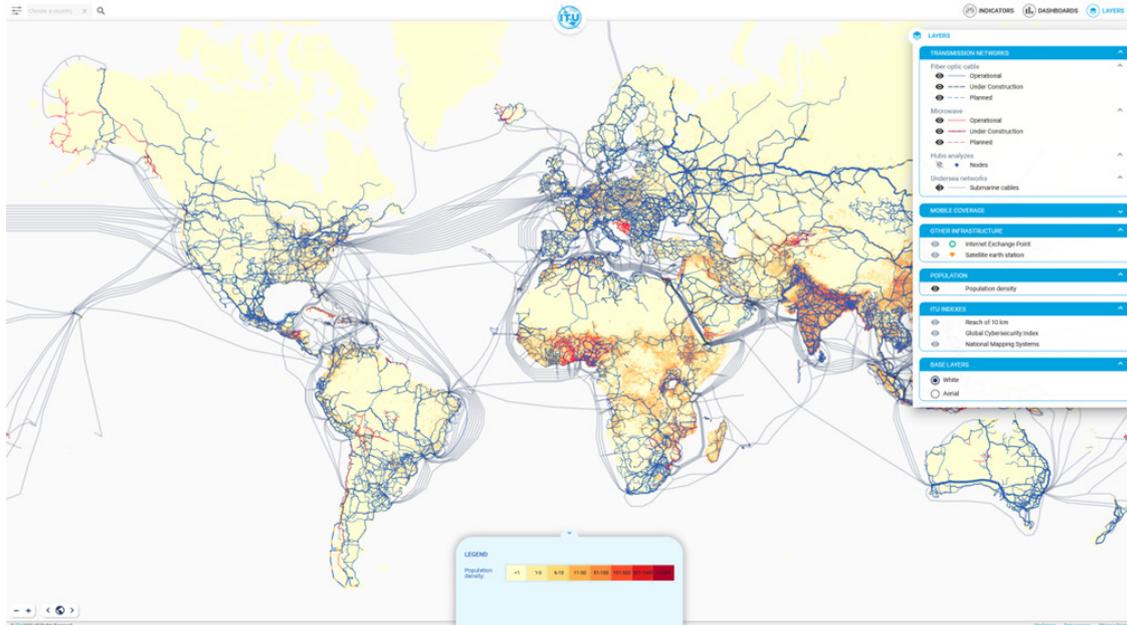
Les décideurs et les régulateurs ont cherché à mettre en place des mécanismes visant à développer les réseaux large bande au moyen de diverses stratégies, notamment: les fonds publics, les fonds de service universels, les partenariats public-privé, la réduction du prix de réserve du spectre des fréquences radioélectriques et d'autres mécanismes de subvention. Ces objectifs sont généralement axés sur la construction et la fourniture de réseaux dans les zones considérées comme peu attrayantes sur le plan économique, où les forces du marché ne peuvent à elles seules fournir des services sans subvention quelconque pour encourager l'investissement.

La fracture numérique

Bien qu'il existe des technologies capables d'offrir des services dans les zones isolées et éloignées et que des technologies émergentes soient mises au point spécifiquement pour répondre à ces besoins, le fait de connecter la seconde moitié de la population mondiale reste un problème insoluble, avec des défis de fond: la cartographie du large bande de l'UIT de 2022¹ illustre l'absence de dorsale haut débit dans une grande partie du monde.

¹ Cartographie des infrastructures TIC UIT au service de la réalisation des objectifs de développement durable, disponible à l'adresse: <https://bbmaps.itu.int/app>.

Figure 1: Carte du large bande de l'UIT - Autoroutes de l'information terrestre (décembre 2022)²



Source: UIT

En outre, une comparaison entre le taux de pénétration du large bande et la population à portée de connexions à fibres optiques montre que des milliards de personnes vivent dans des pays et dans des régions qui ne sont toujours pas connectés à ce réseau mondial de transmission terrestre.

Tableau 1: Comparaison entre la pénétration du large bande et la population à portée des connexions à fibres optiques en 2021

| | Afrique | Amériques | États arabes | Asie-Pacifique | CIS | Europe |
|--|---------|-----------|--------------|----------------|-------|--------|
| Abonnements à la téléphonie fixe | 49,2 | 91,5 | 69,6 | 96,2 | 90,9 | 98,7 |
| Largeur de bande internationale | 59,7 | 216,0 | 172,0 | 154,4 | 101,1 | 340,2 |
| Ménages disposant d'un accès à l'Internet à domicile* | 22,7 | 75,9 | 62,4 | 64,1 | 81,7 | 87,6 |
| Particuliers utilisant l'Internet | 32,8 | 81,4 | 66,3 | 60,6 | 82,3 | 87,2 |

*Données pour 2021

Source: données TIC 2021 clés UIT (<https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>)

Dans le cadre de ses travaux de recherche sur les réseaux de transmission terrestre, l'UIT calcule que, selon les estimations, 7,9 milliards de personnes dans le monde (29,3%)³ vivent à moins de 10 km d'un nœud de raccordement à la fibre optique, 4,5 milliards (57,9%) à moins de 25 km, 6,0 milliards (77,4%) à moins de 50 km et 7,1 milliards de personnes (90,5%) à moins de 100 km d'un nœud de réseau à fibre optique opérationnel.

Les politiques publiques en matière d'accès aux réseaux large bande ne doivent pas uniquement viser à recenser les lacunes en matière d'infrastructures et à rendre obligatoire la fourniture de services, mais doivent avant tout s'attacher à mieux rechercher les sources de financement

² Source: UIT: <https://itu.int/go/Maps>.

³ Données de décembre 2021.

possibles et à définir des stratégies plus efficaces pour encourager et faciliter la fourniture de services.

Cette question a suscité de nombreux débats, notamment de nombreuses études et propositions de critères de référence et de suggestions concernant de nouvelles analyses des politiques publiques visant à promouvoir le développement du large bande, mais la meilleure stratégie suppose toujours une compréhension approfondie de chaque projet. Par exemple, quelle serait la meilleure approche pour fournir des services large bande à une population rurale donnée (infrastructure par satellite ou infrastructure terrestre)? Là encore, comment peut-on déterminer la viabilité économique du déploiement d'une dorsale à fibre optique dans une ville donnée?

Il est donc manifestement nécessaire d'identifier, de quantifier et de comparer objectivement différents projets d'infrastructure afin d'évaluer une politique publique donnée sur la base de paramètres techniques solides. Mais dans de nombreux pays, les régulateurs et les décideurs ignorent souvent les méthodologies spécifiques pour accomplir cette tâche et se fondent plutôt sur des mécanismes qui ne sont pas nécessairement les plus efficaces pour procéder à de telles évaluations, ce qui aboutit à des problèmes de construction insuffisante, voire parfois surestimée des infrastructures dans une région spécifique.

Technologies 5G

L'essor des technologies 5G a ouvert la voie à de profondes mutations de l'environnement des télécommunications grâce à un nouvel écosystème qui promet de révolutionner la manière dont la société fait appel aux technologies.

Le projet de partenariat pour la 3^{ème} génération (3GPP)⁴ a élaboré de nouvelles normes hertziennes mondiales pour les réseaux large bande. Les normes relatives aux réseaux mobiles de cinquième génération (5G) permettent un nouveau type de réseau conçu pour connecter presque tous les habitants de la planète, y compris les machines, les objets et les dispositifs.

Le Secteur des radiocommunications de l'UIT a élaboré les spécifications IMT-2020 (5G)⁵, incluant d'autres technologies large bande, qui comprennent également des améliorations apportées aux précédents scénarios relatifs au large bande mobile et étend l'application des technologies 5G aux cas d'utilisation impliquant des communications ultra-fiables présentant un faible temps de latence et des communications massives de type machine, comme indiqué dans la Vision pour les IMT figurant dans la Recommandation UIT-R M.2083-0, qui contient les objectifs généraux du développement futur des IMT à l'horizon 2020 et au-delà⁶.

Les IMT-2020 (5G) sont une évolution des réseaux large bande mobiles offrant de nouvelles capacités de réseau et de service uniques. Cela garantira la continuité dans des situations difficiles comme la forte mobilité (par exemple dans les trains), des zones très denses ou peu peuplées et des déplacements hétérogènes. En outre, les IMT-2020 (5G) seront un catalyseur

⁴ <https://www.3gpp.org/>.

⁵ Les IMT (Télécommunications mobiles internationales) englobe les IMT-2000 et les IMT évoluées et les IMT-2020. Le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) élabore des réglementations internationales et des normes mondiales qui, par leur application à l'échelle mondiale, permettent l'harmonisation et la mise en œuvre des réseaux mobiles large bande, communément appelés réseaux 3G, 4G et 5G.

⁶ Recommandation UIT-R M.2083-0 (09/2015), Vision pour les IMT ainsi que les cadres et les objectifs généraux du développement futur des IMT à l'horizon 2020 et au-delà. Disponible à l'adresse: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083>. Pour obtenir de plus amples informations, veuillez consulter la page web du Groupe de travail 5D de l'UIT-R (GT 5D) consacrée aux systèmes IMT: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/Pages/default.aspx>.

essentiel de l'Internet des objets (IoT) en offrant une plate-forme permettant de connecter un grand nombre de capteurs.

La 5G est conçue pour être une technologie durable et évolutive. Le secteur des télécommunications/TIC conciliera une croissance spectaculaire de l'utilisation des TIC et une réduction considérable de la consommation d'énergie et une augmentation de la production d'énergie. En outre, la réduction des coûts grâce à l'automatisation des tâches humaines et à l'optimisation du matériel permettront aux parties prenantes du secteur des TIC de disposer de modèles économiques viables.

Par conséquent, il est important de comprendre comment identifier et quantifier les projets d'installation et de déploiement des réseaux 5G, car ils seront les principaux moteurs des futures politiques publiques et réglementations relatives aux télécommunications/TIC.

Un kit pratique de planification

Ce kit pratique met à la disposition des régulateurs et des décideurs politiques une méthodologie qui permet de réaliser une évaluation économique précise des projets de large bande proposés. En tant qu'outil pratique, il vise à faciliter une évaluation approfondie des plans d'installation et de déploiement des infrastructures.

Le kit pratique comprend un ensemble de principes théoriques et des lignes directrices pratiques sur la façon d'estimer la valeur actuelle nette (VAN) d'un projet. Plus précisément, il examine les mécanismes qui déterminent la demande d'un projet, les coûts d'exploitation et de maintenance, les recettes qui en résultent, le montant des investissements nécessaires et les frais de constitution nécessaires.

Les concepts économiques et comptables utilisés dans cette méthode sont largement acceptés et documentés; en tant que tels, il n'est pas proposé de les scruter ou de les débattre davantage. En revanche, ils ont servi à élaborer un guide pratique en vue d'élaborer une stratégie de construction d'infrastructures large bande et d'évaluer les plans d'activité des opérateurs potentiels:

- 1) Quels types de données utiliser?
- 2) Comment évaluer les variables telles que la demande, les investissements et les coûts opérationnels?
- 3) Comment estimer le coût du capital pour les différents éléments du projet?

Pour mettre en avant une compréhension plus concrète, des exemples quantitatifs de projets populaires sont fournis, comme les projets de construction de réseaux dorsaux à fibres optiques, de réseaux hertziens large bande (y compris de réseaux 5G) ou de réseaux d'accès FTTH (fibre jusqu'au domicile).

Pour plus de clarté, ce kit pratique est subdivisé comme suit:

- 1) Principes de planification économique du large bande.
- 2) Estimation de la demande de services large bande.
- 3) Estimation des recettes provenant de la fourniture de services large bande.
- 4) Estimation des besoins en investissements dans les réseaux large bande - dépenses d'investissement (capex).
- 5) Estimation des dépenses d'exploitation (opex) pour la fourniture de services large bande.
- 6) Estimation du coût moyen pondéré du capital (WACC).

- 7) Mécanismes de financement pour lancer des projets d'infrastructure large bande.
- 8) Conclusions.

La première section décrit les principes théoriques et la méthode d'estimation de la valeur actuelle nette du projet. Ce point est présenté comme la base de tout plan d'affaires pour la fourniture de services large bande. La section examine également les raisons pour lesquelles cette méthode peut être adoptée par les régulateurs et les décideurs dans l'évaluation économique de différents types de projets large bande.

La deuxième partie traite des modèles et techniques permettant d'évaluer la demande de services large bande ainsi que des types de données brutes pouvant être utilisées. Les questions abordées dans cette section incluent: comment les décideurs peuvent-ils estimer la demande d'un service? Comment cela peut-il évoluer au fil du temps? Comment cette demande pourrait-elle être satisfaite dans l'environnement concurrentiel existant?

La troisième partie porte sur l'estimation des recettes générées par le projet en question. Cette variable est fondamentale car elle définit quand et comment les intrants sont mis en œuvre dans un projet d'infrastructure. Cette partie fournit des exemples de la manière d'estimer les recettes, d'adapter celles-ci à la demande estimée et de la manière dont elles peuvent varier au fil du temps.

La quatrième partie traite de la modélisation des dépenses d'équipement. Cette variable est cruciale pour l'ensemble de l'écosystème, et c'est là que sera modélisée l'infrastructure du projet en question, à savoir: les types d'équipements, les bases théoriques et les suggestions pratiques visant à modéliser les investissements dans le temps pour différents types de projets.

La cinquième partie traite des frais de fonctionnement. Quelles sont les variables qui interviennent dans la modélisation d'un réseau large bande? Où peut-on obtenir ces informations? Quelle est la meilleure méthode à adopter par les régulateurs et les décideurs pour modéliser les coûts d'exploitation d'un projet?

La sixième partie porte sur le coût moyen pondéré du capital, qui représente le taux d'escompte du projet à analyser. Que signifie ce taux? En quoi est-ce si important? Comment peut-on l'estimer en l'absence de données concrètes? Cette partie donne une orientation pratique pour le calcul de cette variable complexe.

La septième partie du kit pratique consiste en un résumé qui donne des indications sur le regroupement de toutes les variables en un seul outil afin d'estimer la valeur actuelle nette du projet, d'examiner les mécanismes de financement et d'étudier différentes solutions viables qui peuvent être adoptées. La huitième et dernière partie présente les conclusions du kit pratique.

Ce kit pratique constitue un manuel concret et inestimable à l'usage des régulateurs et des décideurs qui œuvrent à renforcer le déploiement du réseau large bande et l'accès à ce réseau. Les opérateurs de réseaux TIC utiliseront également leurs propres outils d'évaluation complémentaire des projets pour répondre aux besoins spécifiques des responsables et actionnaires des entreprises, mais ce kit servira de guide de base et compréhensible pour élaborer un plan d'affaires crédible et cohérent adaptable à un large éventail de projets d'infrastructures large bande.

1.1 Définir un plan d'affaires

Un plan d'affaires définit et organise les principales variables intervenant dans la création et le fonctionnement d'une entreprise. Il n'existe pas de structure unique, rigide et spécifique pour l'élaboration d'un plan d'activité. Toutefois, un bon plan d'affaires analyse tous les éléments essentiels de l'activité en question.

Les objectifs qui guident la mise en œuvre d'un plan d'affaires pour l'installation et le déploiement du large bande devraient comprendre une évaluation précise des principales variables de l'activité. Par conséquent, outre les barèmes d'imposition qui seront définis dans les instruments juridiques pertinents de chaque pays, des variables commerciales telles que la demande, les recettes, les investissements, les dépenses et le coût du capital peuvent et doivent être étudiées et estimées de manière à ce que le résultat final reflète la valeur du projet en question.

De plus, il ne faut pas négliger l'importance de l'analyse d'un environnement concurrentiel dans lequel l'entreprise exercera ses activités, car cela influera sensiblement sur des questions telles que la demande et les recettes allouées au projet.

La méthode la plus souvent utilisée pour évaluer la valeur économique d'un actif de télécommunication est fondée sur le flux de trésorerie. Selon ce point de vue, le prix de l'actif (par exemple, les fréquences radioélectriques) devrait être proportionnel au résultat économique que l'entreprise créera en utilisant l'actif sur un temps prédéterminé.

La valeur actuelle nette (VAN) des flux de trésorerie disponibles (FCF) est une méthode utilisée pour évaluer des entreprises et des projets spécifiques. Cette approche est largement utilisée par les banques d'investissement, les consultants et l'entrepreneuriat lorsqu'ils souhaitent calculer la valeur d'une organisation ou d'une de leurs entreprises, que ce soit à des fins internes, pour l'analyse des investissements ou pour les fusions et acquisitions.

Dans cette approche, la valeur d'une entreprise donnée est déterminée par des flux de trésorerie actualisés à un taux qui reflète le risque associé à l'investissement. Le modèle NPV intègre trois principes fondamentaux pour établir un critère optimal de décision d'investissement:

- i) l'évaluation de l'investissement est calculée sur la base des flux de trésorerie opérationnels;
- ii) le risque est intégré dans l'évaluation économique de l'investissement, compte tenu des préférences de l'investisseur concernant les conflits entre les risques et le retour sur investissement;
- iii) ce calcul permet de déterminer la valeur actuelle des actifs sur la base du taux d'actualisation approprié pour rémunérer les propriétaires des capitaux.

En se basant sur ce cadre analytique, les régulateurs peuvent utiliser un ensemble standard d'outils financiers pour calculer la valeur d'un projet donné en fonction des conditions du marché.

La valeur actuelle nette, calculée selon la méthode de l'actualisation des flux de trésorerie, reflète le montant obtenu par une entreprise dans un projet donné qui dépasse le coût de l'investissement déjà rémunéré par un certain taux de rendement – par le coût d'opportunité du capital. En d'autres termes, c'est le bénéfice que l'entrepreneur peut obtenir, en prenant

en compte le coût d'opportunité et la rentabilité qui en découle que l'entrepreneur aurait pu obtenir en entreprenant d'autres activités⁷.

Le calcul de la VAN tient compte des estimations de tous les recettes et de toutes les dépenses pour chaque année d'activité tout au long de la durée du projet, ainsi que du montant total des investissements nécessaires à la mise en œuvre du service.

En d'autres termes:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{FCF_t}{(1+r)^t}$$

où:

VAN = valeur actuelle nette;

FCF_t = flux de trésorerie disponible pendant la période *t*;

r = taux d'escompte (WACC);

t = nombre de périodes;

Un modèle général de calcul des flux de trésorerie disponibles pour une période donnée est le suivant:

$$FCF = \{[(EBIT(1 - \text{Taux d'imposition})) + De + Am] - CAPEX$$

et

$$EBIT^8 = \text{recettes} - \text{exploitation}$$

où:

De = dépréciation;

Am = amortissement;

Taux d'imposition = taux d'imposition en vigueur;

capex = dépense d'équipement;

opex = dépense d'exploitation.

On trouvera ci-après un bref résumé de la signification de chacune de ces variables; les parties qui suivent présenteront une méthode pratique et détaillée de leur évaluation.

Demande

La variable *demande* joue un rôle particulièrement important dans tout plan d'affaires, étant donné que ces données définissent la dimension du marché de l'activité proposée.

⁷ D'un point de vue financier, il existe d'autres méthodes intéressantes d'évaluation des sociétés et des entreprises. Des indicateurs tels que le remboursement, le taux de rendement interne ou le rendement de l'investissement (ROI) sont également utilisés par les entreprises qui cherchent à évaluer des projets. Du point de vue de ce kit pratique, conçu comme un guide pratique pour les régulateurs et les décideurs, il est important de comprendre la méthodologie comme un concept de base suffisant pour comparer les projets d'infrastructures large bande.

⁸ EBIT: gains avant intérêts et impôts.

La détermination d'autres variables comme l'investissement, les recettes et les dépenses est inextricablement liée à la prévision de la demande.

À ce stade, il importe de souligner que l'évaluation du comportement de la demande se fait dans un délai délimité correspondant à l'échéance du projet. Un régulateur exige donc non seulement une notion précise de l'entreprise qui cible l'offre de service souhaitée, mais aussi le nombre d'utilisateurs potentiels du service et l'évolution de ce nombre dans le temps.

Par conséquent, les données statistiques sur le revenu, la prédisposition aux dépenses et les conditions socio-économiques du public ciblé de l'entreprise seront fondamentales pour élaborer un modèle précis d'évaluation de la demande. Ces données sont les sources utilisées par tous ceux qui demandent une évaluation potentielle pour les entreprises; il va sans dire que plus la modélisation est précise, plus l'évaluation finale sera solide.

Recettes

Pour calculer les recettes potentielles de l'entreprise, il est essentiel d'avoir une bonne connaissance des conditions actuelles de la fourniture de services. L'analyse comparative d'autres marchés ainsi que la prise en compte de l'existence de produits de remplacement (c'est-à-dire de produits qui entreront directement en concurrence avec ceux de la nouvelle entreprise proposée) sont essentielles pour une analyse précise.

L'estimation finale des recettes devrait inclure l'ensemble des produits, tels que les services de données, la voix, etc. À ce stade, la connaissance des recettes moyennes par utilisateur (ARPU) est essentielle pour construire un modèle cohérent, en particulier lorsque le projet propose un service déjà fourni. Toute analyse doit être conforme aux conditions socio-économiques de la région en question, de sorte qu'il est souhaitable de tenir compte des études démographiques préexistantes relatives aux dépenses.

Coûts d'exploitation (opex)

Cette variable correspond à tous les frais d'exploitation de l'entreprise modélisée, nommés collectivement opex. Le calcul de cette variable est difficile pour les régulateurs car on ne dispose généralement pas de données publiques détaillées qui pourraient favoriser sa mesure.

En l'absence de données, les régulateurs devront recourir à des études spécifiques de l'entreprise en question, en tenant compte des principales technologies disponibles pour la mise en œuvre des infrastructures prévues ainsi que des bilans des entreprises fournissant des services similaires, tels que les opérateurs mobiles dans d'autres bandes de fréquences.

En outre, les régulateurs peuvent utiliser les données comptables fournies par les fournisseurs de services locaux pour compléter l'analyse de la composition de ces dépenses.

Un autre aspect important à prendre en compte est le comportement des dépenses pendant la période d'octroi de licences. Étant donné que l'entreprise proposée, en théorie, n'est pas encore opérationnelle, l'étude en question portera sur un nouveau fournisseur tandis que la demande progresse au fil des ans. En conséquence, la courbe des dépenses suivra un comportement proportionnel à la demande estimée.

Toutefois, des facteurs tels que les dépenses de marketing ont tendance à être conformes à la courbe des investissements, du fait qu'ils sont liés à la disponibilité de l'entreprise dans un endroit donné.

Investissements (capex)

Les investissements représentent l'un des principaux piliers d'un plan d'activité de projets. Cette variable, communément appelée "capex" (dépenses d'équipement) couvre essentiellement les investissements dans tous les réseaux et infrastructures de systèmes nécessaires à la fourniture de services. Il est donc important que le régulateur dispose de connaissances technologiques suffisantes pour obtenir des devis des fournisseurs pour les technologies et équipements pertinents afin de simuler la construction d'un réseau fictif capable de satisfaire la demande prévue dans le plan d'activité.

Enfin, à des fins de modélisation, il convient de noter que l'infrastructure proposée doit répondre à la demande estimée dans le temps, de sorte que des aspects tels que le réinvestissement et la substitution technologique doivent être pris en compte.

1.2 Difficultés rencontrées dans l'élaboration d'un plan d'activité

La principale question qui se pose aux régulateurs et aux décideurs lorsqu'ils élaborent un plan d'évaluation de projet selon cette méthode est de savoir comment évaluer chacune des variables susmentionnées. Que ce soit en raison de l'asymétrie des informations ou de l'incertitude quant au comportement futur d'une entreprise donnée, la réalisation d'une étude permettant d'évaluer avec précision ces variables n'est pas chose facile.

Le nombre de variables impliquées, ainsi que leur comportement dans le temps, peuvent rendre la modélisation extrêmement complexe et la précision de l'estimation des coûts du projet peut devenir une tâche impossible si elle n'est pas appuyée par une base méthodologique solide et par des données désagrégées suffisantes.

Étant donné que les régulateurs et les décideurs ont normalement une connaissance partielle de ces variables et données, l'approche classique consiste à procéder à une évaluation approximative de chacune de ces variables en se basant sur des méthodes fiables de prédiction statistique et/ou économétrique.

Il s'agit là d'une question fondamentale, à savoir la crédibilité d'une étude fondée sur des prévisions visant à déterminer si une politique publique est réalisable ou non. La réponse réside dans le fait que l'agent d'exécution de la présente politique utilisera normalement la même méthodologie pour procéder à ses propres évaluations, de sorte qu'il existe des approches qui peuvent concilier ces problèmes. Pour réduire l'asymétrie de l'information entre le régulateur et le secteur privé, trois stratégies différentes peuvent être adoptées:

- i) comparer ou contrôler les comptes de l'entreprise connus du régulateur (ARPU, minutes d'utilisation (MOU), recettes par minute (RPM) par exemple) avec les comptes de base de l'entreprise;
- ii) utiliser des documents d'enchères publiques, car le régulateur peut définir un prix de référence et le prix final après l'offre peut révéler l'asymétrie de l'information;
- iii) la publication du projet (par exemple dans le cadre de consultations publiques) permettant à chacun de contribuer au modèle fondé sur les prévisions proposé par l'agent public.

Il incombe au régulateur d'effectuer une évaluation méthodologique minutieuse afin de remédier aux éventuelles asymétries entre les locaux contenus dans l'étude sur laquelle repose le plan d'activité du projet.

Une autre question fondamentale est la nécessité de faire preuve de *vérifiabilité*. Les régulateurs et les décideurs sont constamment soumis au suivi des autorités, des organismes de consommateurs et des médias. Pour garantir la transparence et la vérifiabilité, chaque plan doit être accompagné de données ouvertes et de modèles théoriques suffisamment solides pour éviter toute critique ou attaque basée sur l'adoption arbitraire perçue de valeurs contestables pour des variables discrétionnaires.

Il existe une différence entre les agents privés, qui connaissent leurs coûts, leurs objectifs de recettes et leurs projets, et un agent public. Lors de l'élaboration d'un plan, un agent privé connaît pleinement les variables en question et peut les utiliser (ou non) lorsqu'il communique avec les actionnaires sans qu'il soit nécessaire de garantir un certain niveau de robustesse ou de vérifiabilité pour certaines des variables impliquées.

En revanche, pour estimer les flux de trésorerie d'une entreprise donnée, un agent public doit non seulement avoir une asymétrie des informations pour évaluer le projet, mais aussi être suffisamment neutre et vérifiable pour garantir les niveaux de fiabilité et de transparence requis par le processus.

En outre, selon le cadre institutionnel et juridique du pays concerné, il arrive fréquemment que les politiques publiques soient soumises, évaluées et auditées par les organismes de contrôle, tels que les cours des comptes ou les auditeurs externes, notamment dans certains cas le système judiciaire. Cette situation exige que les plans d'affaires élaborés par le régulateur/décideur soient suffisamment solides non seulement pour satisfaire aux conditions d'approbation, mais aussi pour servir de points de référence sociaux et juridiques futurs.

Quelques recommandations importantes en découlent. Le régulateur/décideur qui mène l'étude doit:

- **Définir une analyse de rentabilité claire:** chaque plan étant fondé sur une analyse de rentabilité spécifique. La définition de la rentabilité est essentielle pour la réussite du projet. La planification commerciale repose sur l'identification de la marche à suivre, y compris les types et formes de recettes.
- **Utiliser le plus possible les données ouvertes:** cet usage favorise la transparence; il est facile de suivre et de comprendre les estimations.
- **Études de base sur des sources reconnues:** chaque plan d'affaires est fondé sur des sources. Toutefois, la crédibilité de ces sources est cruciale. L'externalisation des informations, des données et des analyses d'organismes ou d'entités internationales ou d'auteurs bien connus renforcera la robustesse du plan.
- **Utiliser des outils vérifiables:** l'ensemble des relations entre toutes les variables constituant un plan d'affaires est très important. C'est pourquoi il est essentiel que les modèles soient développés de manière vérifiable afin que les défauts éventuels soient corrigés. Une petite erreur qui n'est pas correctement cartographiée peut rendre un projet viable impossible – et inversement.
- **Être prudent dans vos estimations:** tout plan d'affaires comporte des degrés d'incertitude. Qu'il s'agisse de l'asymétrie de l'information ou d'un nombre nécessairement élevé de projections futures, les scénarios conduisant à une série de résultats sont courants. De ce fait, il est prudent de faire des choix prudents pour prévoir une certaine marge d'erreur sans pour autant nuire au projet.

1.3 La planification d'affaires en tant qu'outil de politique publique

Lorsqu'un projet a un rendement économique positif (c'est-à-dire une VAN positive), on peut raisonnablement s'attendre à ce qu'il soit exécuté à un certain moment sans recours à une action ou une intervention des pouvoirs publics, par exemple sous la forme de subventions. Toutefois, les décideurs et les régulateurs pourraient évaluer la nécessité de mettre en place des mesures d'incitation gouvernementales pour encourager le déploiement des réseaux et la fourniture de services dans une région non desservie donnée.

Cette évaluation repose sur l'hypothèse selon laquelle le décideur ou le régulateur devrait stimuler la fourniture du service dans des conditions de rendement économique nul afin de refléter l'obligation que l'entreprise rentabilise équitablement le capital investi par rapport au coût moyen du capital sur le marché.

Deux stratégies sont généralement utilisées pour obtenir cette maximisation: à savoir la promotion de la concurrence et la réglementation de la tarification. Sur les marchés concurrentiels, les prix s'orientent naturellement vers l'efficacité économique. En l'absence de concurrence, une certaine intervention réglementaire en matière de tarification peut reproduire les résultats d'un environnement concurrentiel.

D'autre part, les projets à rentabilité économique négative découlent de l'impossibilité économique et du degré de cette dernière qui détermine généralement la nécessité et l'ampleur des mesures prises par les pouvoirs publics si les décideurs estiment que le projet est nécessaire.

Les agents privés choisissent généralement leurs projets en fonction de la promesse de la rentabilité économique. Ils établissent la priorité des projets d'un point de vue stratégique à partir des résultats de leur analyse des plans d'affaires proposés et, en général, n'exécutent pas de projets ayant une VAN négative, étant donné qu'ils entraînent des pertes pour l'ensemble de l'entreprise. Les projets VAN négative ne sont donc pas exécutés et les zones géographiques qui leur sont associées, telles que les communautés rurales et isolées, ont tendance à être négligées en raison de l'impossibilité économique et de l'absence de rentabilité.

C'est dans ce contexte que le présent kit pratique vise à aider les régulateurs et les décideurs à apprécier l'intérêt général des projets qui ne sont pas immédiatement économiques. Étant donné qu'une politique publique n'est ni plus ni moins qu'une initiative de ce que le public décide de faire (ou de ne pas faire), la décision d'évaluer la viabilité d'un projet d'infrastructure à large bande qui n'est pas en soi économiquement rentable signifie qu'il est déjà considéré comme un projet d'intérêt public. À partir de là, il devient essentiel de déterminer l'*étendue* de la non-viabilité du projet, étant donné que la réponse peut définir ou même empêcher sa mise en œuvre finale.

À ce stade, de nombreux régulateurs et décideurs sont exposés à des idées erronées sur le plan technique qui doivent être corrigées. Par exemple, on part généralement de l'hypothèse que la possibilité d'investir dans un projet donné ne devrait être fondée que sur l'estimation des dépenses d'investissement et des dépenses d'équipement (capex) impliquées dans un projet. Par exemple, si la couverture d'une zone donnée grâce à l'accès à une infrastructure hertzienne 4G LTE et 5G était rendue possible par un capex de 10 millions USD, il est souvent

entendu que le montant exact devrait être financé par le sponsor de la politique. D'un point de vue financier, il s'agit d'une grave erreur fondamentale, car:

- i) il ne tient compte que d'une variable de l'activité, sans tenir compte d'autres considérations essentielles;
- ii) il ne s'intéresse pas aux activités au fil du temps.

Une véritable évaluation précise de la faisabilité d'un investissement doit porter sur toutes les variables d'un projet donné. Par exemple, il se peut qu'un projet ne soit pas viable économiquement, non seulement parce que les coûts d'investissement sont élevés, mais aussi parce que les recettes prévues seront insuffisantes pour récupérer les coûts totaux. À l'inverse, les recettes peuvent être importantes, mais les coûts d'exploitation et de maintenance s'ajoutent pour rendre le projet économiquement irréalisable.

Dans cette optique, le meilleur mécanisme pour mesurer l'étendue de la faisabilité économique est l'analyse de sa VAN, étant donné que cette analyse mesure précisément toutes les variables d'une entreprise, évaluées au fil du temps, et indique les écarts en matière de rentabilité économique, qui donnent aux régulateurs une idée complète des causes de l'impossibilité économique.

Pour évaluer avec précision un projet relatif aux politiques publiques en matière d'infrastructure large bande, il est nécessaire d'élaborer un plan d'affaires assorti d'un délai suffisant pour le développement de l'entreprise et l'évaluation de son comportement.

Les sections suivantes de ce kit pratique examineront en détail chaque variable d'activité.

2 Estimation de la demande de services large bande

Une partie essentielle de tout plan d'affaires consiste à estimer la demande pour les services qui seront offerts. Si l'on n'utilise pas d'instruments fiables d'estimation de la demande, les décideurs risquent de lancer une politique publique qui ne répond pas aux besoins réels de la population. Par exemple, un gouvernement peut décider d'investir dans un réseau de transport optique dans une municipalité pour répondre à la demande croissante perçue de réseaux d'accès à très large bande. Toutefois, en raison de facteurs socio-économiques, la municipalité ne voit pas nécessairement une demande suffisante pour justifier la mise en place d'un réseau de transport à fibre optique. Si le niveau de la demande avait été mieux identifié, le décideur aurait pu choisir un projet qui aurait reflété les besoins de la municipalité.

La compréhension des facteurs de la demande est essentielle pour la réussite de toute estimation de cette dernière. Les méthodes d'estimation de la demande sont généralement précises pour une planification d'affaires à court terme. Estimer la demande sur le long terme constitue un défi plus important, car de nombreux facteurs imprévus influencent inévitablement la demande dans le temps, en particulier dans un secteur des télécommunications en pleine évolution. Par exemple, l'estimation de la demande pourrait ne pas tenir compte des services qui apparaissent soudainement avec les nouvelles technologies. La récession économique, les perturbations politiques ou autres problèmes financiers affectent également la demande. Pour prévoir la demande à long terme, les décideurs doivent tenir compte de l'histoire sociale, politique et économique de leur pays et avoir une bonne compréhension de ce qui motive la demande. Ces enseignements peuvent parfois démontrer la différence entre un projet réussi et un échec.

Bien entendu, l'estimation précise de la demande ne peut garantir à elle seule la réussite d'un projet. Néanmoins, les décisions en matière d'investissement, de coûts d'exploitation, de recettes et d'affectation d'autres ressources peuvent être fondées sur des hypothèses cachées et peu conscientes – qui s'avèrent souvent être erronées. Une évaluation précise de la demande du marché permet de mieux contrôler les principaux facteurs qui influencent le projet. En outre, l'exercice d'estimation oblige les décideurs à repenser et à analyser l'environnement du marché dans lequel les politiques publiques seront mises en œuvre, et à améliorer les chances qu'une politique publique réponde le mieux aux besoins d'une population croissante.

Il existe plusieurs techniques d'estimation de la demande. Les données historiques, les méthodes économétriques, les entretiens et les tests expérimentaux sont des méthodes couramment utilisées pour estimer la demande potentielle d'un service.

Sur des marchés stables, on peut généralement estimer la demande en utilisant des modèles économétriques axés sur l'estimation de l'élasticité des prix. Un marché stable pour un service de télécommunication donné peut être considéré comme un marché dans lequel ce service fonctionne déjà depuis de nombreuses années.

Il existe de nombreuses publications universitaires traitant de l'estimation de la demande pour les services de télécommunication fixes et mobiles. En général, ils estiment la demande globale d'un service à l'aide de modèles basés sur des données de séries temporelles ou des données transversales. Les principaux facteurs utilisés pour estimer la demande sont les suivants:

- tarif des services de télécommunications;
- revenu, exprimé en produit intérieur brut (PIB) ou PIB par habitant;
- parité de pouvoir d'achat (PPA);

- télédensité (abonnements pour 100 habitants);
- les données démographiques sur les ménages, c'est-à-dire les informations socio-économiques exprimées sous forme de statistiques, telles que l'emploi, l'éducation, le revenu.

L'estimation de la demande d'accès et d'utilisation des services repose principalement sur les prix et le revenu comme facteurs de la demande. Ce modèle de demande peut être utilisé dans différents pays dès lors que l'on utilise des données variables indépendantes dans le pays en question. L'estimation de l'élasticité des prix est susceptible de dépendre du revenu, des modèles commerciaux et de divers aspects culturels d'un pays. C'est pourquoi l'élasticité des prix estimée est toujours propre à chaque pays.

Les bases de données des profils des pays, des indicateurs de développement dans le monde, du PIB, de la parité du pouvoir d'achat et les estimations de la population sont sur le site web de la Banque mondiale consacré aux données ouvertes.⁹ On trouvera des indicateurs et des statistiques pour les technologies de l'information et des communication (TIC) au DataHub de l'UIT¹⁰. Le DataHub de l'UIT est un guichet unique regroupant des indicateurs et des statistiques sur les télécommunications/TIC, des informations de réglementation et de politique générale, des politiques tarifaires nationales et des pratiques de détermination des coûts. En outre, l'UIT mène des travaux de recherche sur les plans technique, économique, politique et réglementaire et recueille des données sur l'évolution du développement et du partage des infrastructures dans le monde. Ces renseignements sont disponibles sur le portail de l'UIT sur le développement des infrastructures¹¹.

Estimer la demande de nouveaux services constitue un défi plus important. Les nouveaux services sont liés aux nouvelles utilisations et sont pris en charge par les nouveaux équipements et les nouvelles technologies. Bien qu'en principe, la prévision des nouveaux services de télécommunication ne diffère pas des autres domaines, le problème de l'anticipation d'un marché inexploré a conduit la plupart des chercheurs à s'orienter dans ce domaine.

Pour les nouveaux services, avant et après le lancement, il faut résoudre deux problèmes majeurs, à savoir l'estimation du potentiel de marché des différentes générations de services et, de même importance, le trajet de diffusion, c'est-à-dire le rythme et le moment selon lesquels le nouveau produit est adopté, ce qui à son tour donne lieu à des ventes périodiques¹². Pour de nombreuses applications, le taux d'utilisation de la nouvelle technologie sera également nécessaire. Le lancement préalable, le potentiel du marché et les nouveaux concurrents sont des facteurs clés qui déterminent la réussite, mais au fur et à mesure que le temps passe (décrivant l'évolution des comportements entre technologies et concurrents), l'importance des taux de désabonnement et d'utilisation augmente.

Les principaux éléments utilisés pour estimer la demande pour ce nouveau service sont les enquêtes d'intention, l'évaluation des caractéristiques du service, les modèles de choix, les marchés expérimentaux et/ou le dessin des analogies avec d'autres produits, voire avec d'autres pays.

⁹ Le site web de la Banque mondiale sur les données ouvertes est disponible à l'adresse: <https://data.worldbank.org/data-catalog>.

¹⁰ Le DataHub de l'UIT est disponible à l'adresse: <https://datahub.itu.int/>.

¹¹ Portail de l'UIT sur le développement des infrastructures: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/InfrastructurePortal.aspx>.

¹² Filers et Kumar (2002).

Les données utilisées pour estimer la demande d'un nouveau service sont collectées par le biais d'enquête ou (parfois) par le biais d'expériences. On peut soit envisager une gamme de services alternatifs, soit se poser la simple question de savoir si la personne interrogée a l'intention d'acheter un service donné.

Un questionnaire peut également être adressé à un groupe d'experts afin de solliciter un avis professionnel quant au nouveau service. La méthode de Delphi¹³ est une méthode notable qui peut être utilisée dans ce dernier cas.

La plupart des services de télécommunication ont des utilisations génériques, de sorte que les nouvelles générations de technologies offrent toutes deux un service existant et élargissent la plage des utilisations possibles, par exemple la technologie mobile LTE 4G offrant les mêmes services que la technologie 3G. Dans ce cas, la nouvelle technologie remplace les services vocaux offerts par la 3G tout en élargissant la plage d'utilisation en prenant en charge des applications de données plus évoluées.

Le lancement de la technologie 5G a donné lieu à une exception importante à cette règle et présente un haut degré d'évolution et des caractéristiques techniques perturbatrices par rapport aux générations précédentes de technologies de communications mobiles.

Du point de vue de la fourniture de services, la principale différence réside dans la possibilité d'utiliser la même infrastructure de réseau. Compte tenu de cette caractéristique, la technologie 5G devrait fournir des services qui se substituent aux services large bande traditionnels mobiles et fixes. Outre la possibilité de fournir la connectivité, le trafic et le partage de réseaux grâce à des solutions de bout en bout, la 5G peut offrir des produits de niche qui favorisent la transformation numérique de multiples secteurs de l'économie tels que l'agro-business, le transport, l'exploration, la logistique et l'industrie.

Par conséquent, contrairement à la fourniture de services 3G et 4G, les modèles économiques faisant intervenir la technologie 5G reposeront sur l'exploitation de quatre lignes de service: les services large bande mobile, appelés large bande mobile évolué (eMBB); les services large bande fixes grâce à la technologie d'accès hertzien fixe; et de nouveaux secteurs d'activité (applications EEL ou B2C) qui évolueront au moyen de communications ultra-fiables à faible latence (URLLC); et les communications de masses de type machine (mMTC).

On peut donc estimer le potentiel du marché en considérant le problème comme une combinaison du marché précédent et du nouveau marché résultant de l'élargissement de la plage des utilisations. Les modèles économétriques peuvent être utilisés pour estimer la demande globale pour les services tandis que la méthode de Delphi peut être utilisée pour ventiler cette demande en fonction de l'attractivité de chaque génération de technologie.

Il est important de noter que l'inexactitude des suppositions ne découle pas d'un manque de techniques de prévision. L'analyse de régression, le lissage des tendances historique, l'avis de la méthode Delphi, l'évaluation des caractéristiques, les marchés expérimentaux et les autres méthodes sont à la disposition de tous. La plupart des prévisions de la demande inexactes reposent sur une hypothèse erronée selon laquelle les relations complexes qui ont conduit

¹³ La méthode de Delphi est une méthode d'estimation qui consiste à consulter un groupe d'experts concernant un futur événement au moyen d'un questionnaire transmis de façon répétée jusqu'à ce qu'un consensus soit trouvé (voir p. 29 pour un examen plus complet). Pour en savoir plus, voir Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004) The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications, *Information & management*, Volume 42 Issue 1, 15-29.

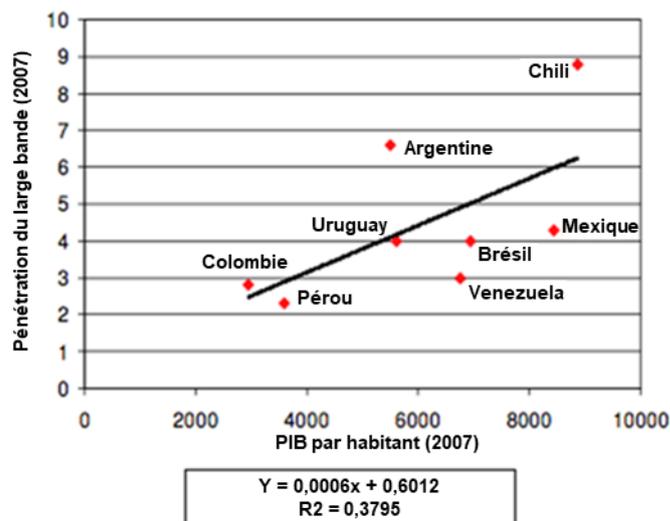
à la demande dans le passé resteront inchangées. Les décideurs devraient toujours garder à l'esprit qu'il n'est pas fiable de se baser sur le passé à mesure que de nouvelles technologies apparaissent, que les préférences des consommateurs changent, que les secteurs d'activité continuent de se développer et que les régimes réglementaires évoluent.

2.1 Estimation de la demande par des méthodes économétriques

Pour estimer les besoins en large bande dans une région donnée, on peut élaborer un modèle de régression simple (analogue aux modèles de télédensité d'origine) en fonction de l'importance de l'économie. Ce modèle simple de régression utilise les niveaux actuels de pénétration en large bande dans un groupe de pays et le produit intérieur brut (PIB) de chaque pays.

Ce modèle a été utilisé par Katz (2009)¹⁴ pour estimer la demande en large bande en Amérique latine. Selon ce modèle, il existe une relation positive entre le PIB et la pénétration de large bande, étant donné que l'on s'attend à ce que les pays les plus riches par habitant aient une proportion plus importante de leur population abonnée à la large bande.

Figure 2: Courbe de régression (pénétration du large bande x PIB par habitant)¹⁵



Source: UIT.

L'OCDE a mis au point une autre méthode facile à utiliser, qui a été publiée en 2008¹⁶. Cette approche, fondée sur un modèle de répartition transversale, utilise des données provenant de pays de l'OCDE. Les travaux de l'OCDE ont montré que le meilleur modèle d'estimation de la demande de large bande reposait sur des valeurs journalisées de pénétration, de prix, de PIB par habitant (GDPPC) et sur le nombre d'années écoulées depuis le lancement des services de ligne d'abonné numérique (DSL).

Une caractéristique utile de ce modèle est que la valeur du coefficient sur log (prix) et le log (GDPPC) peut être interprétée comme l'élasticité :

¹⁴ Katz, Raul L. (2009) Estimation de la demande de large bande et de ses incidences économiques en Amérique latine dans les actes de la 3ème Conférence ACORN-REDECOM, Mexico.

¹⁵ Katz (2009).

¹⁶ Cadman, R. and Dineen, C. (2008) Price and income elasticity of demand for broadband subscriptions: A cross-sectional model of OECD countries, SPC Network 19, 03-08.

$$\log(\text{PEN}) = \alpha + \beta \log(\text{PRICE}) + \gamma \log(\text{GDPPC}) + \delta \text{YSL} + \theta \text{YSL}^2 + \varepsilon$$

Le modèle de l'OCDE suggère que:

- a) L'élasticité du prix à long terme de la demande se situe dans la fourchette inélastique. Le coefficient de 0,43 indique qu'une baisse de 1% du prix entraînerait une augmentation de la demande de 0,43% à long terme. La demande ne semble pas fortement influencée par le prix. Toutefois, cette élasticité se situe vers le haut de l'élasticité prix typique de la demande de lignes téléphoniques louées et de communications locales et longue distance, observée dans les pays développés.
- b) L'élasticité de revenu à long terme de la demande, mesurée par le PIBG, est un peu plus forte. Par exemple, une augmentation de 1% de la richesse se traduirait par une augmentation de la demande de 0,78%. Cela est également conforme à d'autres études sur l'élasticité des revenus de la demande, qui donnent à penser que les pays à revenus élevés auraient un coefficient inférieur à un.
- c) Les coefficients YSL et YSL2 indiquent que la croissance de la demande de large bande est non linéaire et en phase de croissance forte. Comme prévu, le coefficient de YSL2 est négatif.

Ce modèle transversal peut être utilisé pour évaluer la pénétration du service dans un pays donné ou même pour estimer un nouveau modèle fondé sur les caractéristiques des pays d'une région donnée ou de pays présentant des similitudes avec le pays cible, par exemple des indicateurs socio-économiques ou géographiques proches.

Bien que les modèles présentés ci-dessus aient été élaborés pour estimer la demande de services large bande fixes, ils peuvent aussi servir à estimer la demande de services large bande mobiles en remplaçant le taux de pénétration du large bande fixe par le prix des abonnements large bande fixe et le prix des abonnements mobiles.

Les régulateurs ayant accès aux données pertinentes peuvent également estimer la demande de service au moyen de modèles de données recueillies au moyen d'un panel. Hausman et Ros (2013)¹⁷ ont estimé les modèles de demande pour les services de télécommunication mobiles et fixes en utilisant des panels de données de pays similaires au Mexique, en choisissant un échantillon de pays comparables sur la base de niveaux de revenus (PIB par habitant). Bien que l'étude de Hausman et Ros ait utilisé les taux de change dans les classements, l'échantillon des pays homologues ne change pas si l'indice de parité de puissance avait été utilisé. Un échantillon de répartition des pays situés juste au-dessus et juste au-dessous du Mexique dans le classement du PIB par habitant a été retenu. Les critères de sélection étaient des pays ayant un PIB par habitant semblable à celui du Mexique et disposant de données sur les prix du mobile. Ainsi, les modèles économétriques de la demande mobile et de la tarification des services mobiles de 17 échantillons de pays ont déterminé l'élasticité prix de la demande et l'élasticité PIB par habitant de la demande de service mobile au Mexique.

Une méthode d'estimation à effet fixe a été adoptée afin d'éliminer les estimations biaisées et incohérentes. L'élasticité des prix estimée pour la demande d'environ -0,50 et l'élasticité estimée du PIB par habitant d'environ 0,45 sont toutes deux estimées avec précision (c'est-à-dire qu'elles sont statistiquement significatives) et constatent que les variables économiques ont une incidence importante sur les abonnements mobiles.

¹⁷ Hausman, J. A., and Ros, A. J., (2013) An econometric assessment of telecommunications prices and consumer surplus in Mexico using panel data, Journal of Regulatory Economics, Volume 43 Issue 3.

Les modèles qui en découlent montrent que le prix et le PIB par habitant sont tous deux des facteurs déterminants de la demande mobile.

2.2 Estimation de la demande par la méthode de Delphi

La méthode de Delphi est une méthode d'estimation qui consiste à consulter un groupe d'experts concernant un futur événement au moyen d'un questionnaire transmis de façon répétée jusqu'à ce qu'un consensus soit trouvé. Cette méthode, qui remonte à plus de 50 ans, est reconnue comme l'un des meilleurs outils de prévision à long terme et est largement utilisée pour l'élaboration de politiques publiques dans un certain nombre de pays.

Lors de la première phase, les questions sont envoyées à un groupe de spécialistes du secteur des télécommunications. Ces experts sont largement issus d'opérateurs nationaux, d'équipementiers, d'établissements universitaires, de centres de recherche, de presse spécialisée, d'associations du secteur et d'autorités de régulation.

Les réponses de la première phase sont ensuite regroupées et analysées. Les questions pour lesquelles les divergences observées sont les plus importantes (entre la moyenne et la médiane des réponses obtenues) sont choisies pour la deuxième phase. Dans cette phase, la médiane et la réponse données lors de la première phase sont présentées à chacun des experts qui en font la demande s'ils souhaitent conserver leur réponse originale ou la modifier.

Après la deuxième phase, les résultats sont regroupés et, pour chaque question, l'indicateur de tendance central à utiliser dans la projection de la demande est choisi (moyenne ou médiane). Pour chaque question, l'indicateur choisi, le critère de sélection et les résultats obtenus sont détaillés. Si les résultats continuent à différer, de nouvelles phases peuvent être lancées. L'objectif est de réduire l'éventail des réponses et de parvenir à un consensus proche de celui des experts.

Le questionnaire posera peut-être des questions sur la télédensité, l'utilisation et la consommation d'un nouveau service ou d'une nouvelle technologie, ainsi que sur l'évolution attendue des technologies de nouvelle génération. Dans le questionnaire, les valeurs peuvent être estimées tous les cinq ou dix ans, par exemple pour 2020, 2025, 2030, 2040 et 2050.

Tableau 2: Exemples de questions posées dans le cadre du questionnaire relatif à la méthode Delphi

| Question | Observés | | | | Estimés | | | |
|---|----------|------|------|------|---------|------|------|------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2020 | 2025 | 2030 | 2050 |
| 1) Abonnements à la téléphonie mobile pour 100 habitants | 44% | 50% | 55% | 65% | | | | |
| 2) Internet des objets (IoT)/les communications de machine à machine (M2M) pour 100 habitants | | | 0,02 | 0,03 | | | | |
| 3) Procès-verbal d'utilisation (MoU) par abonné mobile | 82 | 91 | 86 | 109 | 115 | | | |
| 4) Utilisation des données mobiles par abonnement au large bande mobile | | | 15 | 35 | 59 | | | |
| 5) Évolution des générations de technologies mobiles: | 2G | 99% | 94% | 90% | | | | |
| | 3G | 1% | 6% | 10% | | | | |
| | 4G | 0% | 0% | 0% | | | | |
| | 5G | 0% | 0% | 0% | | | | |

Tableau 2: Exemples de questions posées dans le cadre du questionnaire relatif à la méthode Delphi (suite)

| Question | Observés | | | | Estimés | | | |
|--|----------|------|------|------|---------|------|------|------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2020 | 2025 | 2030 | 2050 |
| 6) Abonnements à une connexion à Internet à haut débit fixe pour 100 habitants | | | | | | | | |
| 7) Participation de la fibre optique à l'ensemble des technologies d'accès fixe résidentielles | <1% | <1% | <1% | <1% | | | | |
| 8) Participation de la fibre optique à l'ensemble des technologies d'accès fixe non résidentielles | <1% | <1% | <1% | <1% | | | | |
| 9) Débit moyen (en Mbit/s) par accès large bande | | | 170% | 180% | | | | |

Source: UIT.

À partir des résultats de synthèse obtenus pour chacune des années estimées, on peut estimer les années restantes par interpolation ou courbe en S.

Cette méthode vise à utiliser efficacement le jugement intuitif et éclairé pour la prévision à long terme et est idéale pour l'estimation de la demande à long terme et de la demande de nouveaux services et de nouvelles technologies.

2.3 Décomposition de la demande en différents segments

Après avoir évalué la demande globale, l'étape suivante consiste à subdiviser la demande totale en ses principaux éléments afin de procéder à une analyse séparée. On peut aussi utiliser la méthode de Delphi pour faciliter cette décomposition.

Il existe deux critères à prendre en compte lors du choix des segments de marché, qui rendent chaque catégorie suffisamment petite et homogène pour que les facteurs de demande s'appliquent systématiquement à tous ses éléments, tout en les rendant suffisamment importants pour que l'analyse soit justifiée.

Pour prendre cette décision, il peut être utile d'imaginer d'autres segmentations, fondées par exemple sur l'utilisation finale de groupes de clients (par exemple résidentiels ou non résidentiels) ou sur le type d'achat (par exemple abonnement à prépaiement ou à postpaiement). L'étape suivante consiste à émettre une hypothèse concernant les principaux moteurs de la demande pour chaque segment et à estimer l'importance des détails pour rendre compte de la situation réelle. Alors que l'évaluation se poursuit, cette étape peut être réévaluée et réexaminée, afin de déterminer si les décisions initiales restent inchangées.

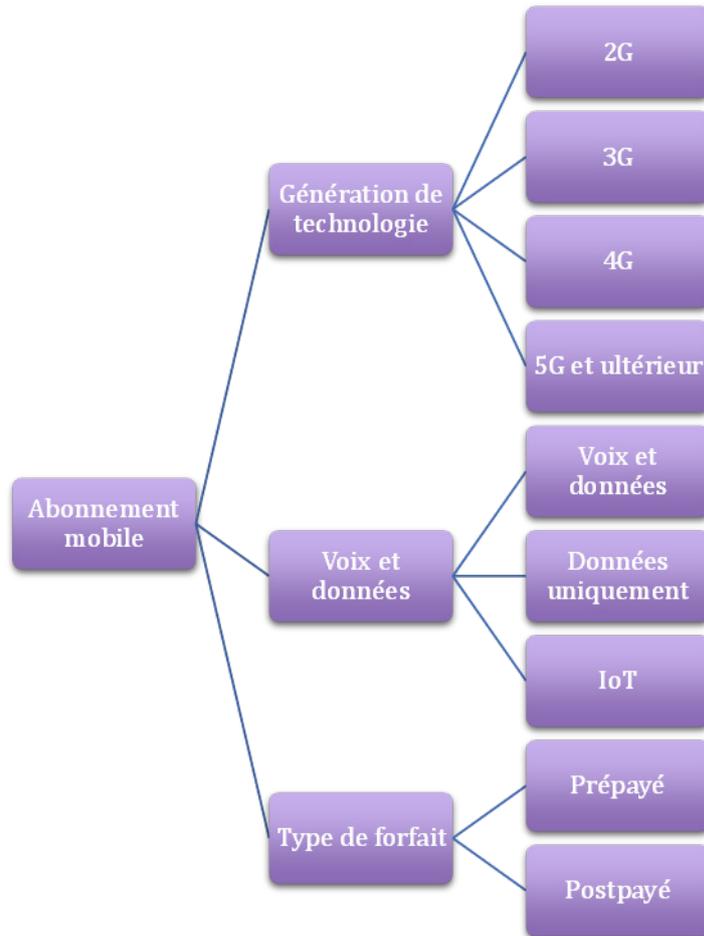
Pour ce qui est du niveau de la segmentation de la demande, il est nécessaire de décider d'utiliser les données existantes sur la taille des segments ou de procéder à de nouvelles recherches pour obtenir une estimation indépendante. Un large éventail d'informations publiques sur les niveaux de demande historique par segment est disponible pour de nombreux pays via le DataHub de l'UIT¹⁸. Certains régulateurs nationaux fournissent également un large éventail de statistiques et d'indicateurs sur leur secteur des télécommunications, qui peuvent également être utilisés.

¹⁸ Le DataHub de l'UIT est disponible à l'adresse: <https://datahub.itu.int/>.

Même avec de bonnes sources de données, les informations disponibles peuvent ne pas être subdivisées en catégories optimales permettant de faciliter une analyse approfondie. En pareil cas, il importe de décider si les prévisions doivent être établies à partir des données historiques disponibles ou s'il faut entreprendre un nouvel ensemble de jugements d'experts, ce qui peut prendre du temps et être coûteux.

À titre d'exemple, la décomposition de la demande agrégée mobile pourrait suivre la structure présentée dans la Figure 3.

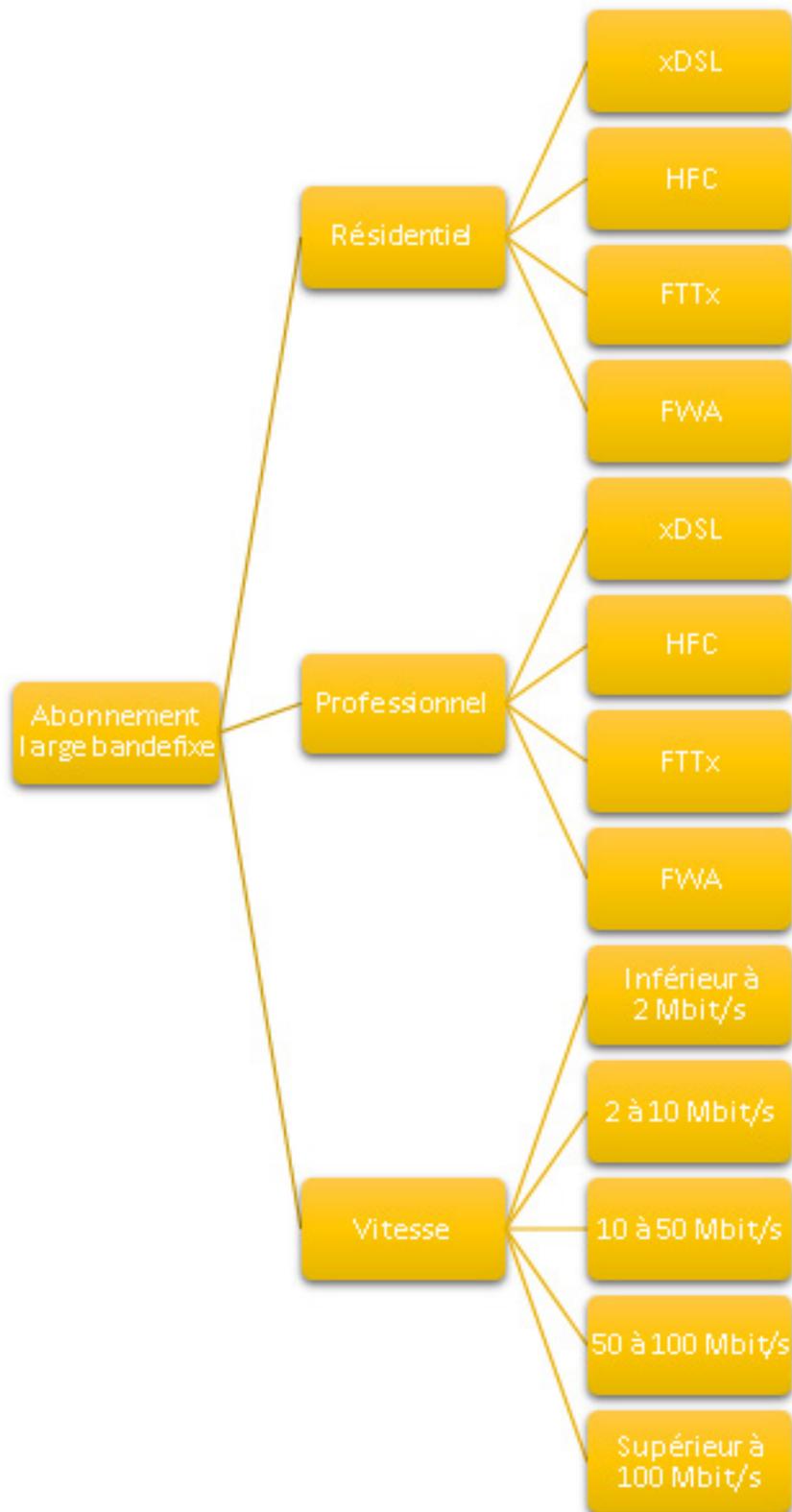
Figure 3: Exemple de décomposition de la demande large bande mobile



Source: Élaboration fondée sur Fields et Kumar (2002)

La décomposition de la demande globale large bande fixe pourrait suivre la structure de la Figure 4.

Figure 4: Exemple de décomposition de la demande large bande mobile



Source: Élaboration fondée sur Fields et Kumar (2002)

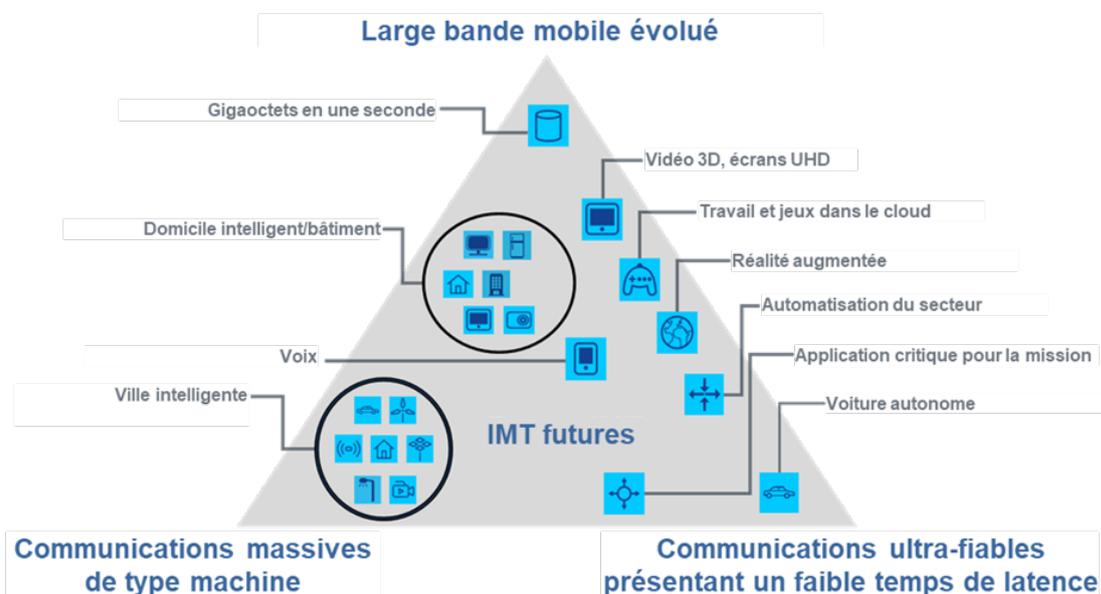
Lors de la décomposition de la demande globale, il est important que les décideurs tiennent compte de l'objectif de la politique publique qu'ils cherchent à atteindre, afin d'avoir la meilleure spécification pour le plan d'activité, compte tenu de la disponibilité des données.

2.4 Estimation de la demande de services 5G

La Figure 5 montre que les réseaux IMT-2020 (5G) entraîneront d'importantes perturbations des modèles économiques des télécommunications traditionnels, étant donné qu'ils permettront la fourniture de services selon trois scénarios:

- large bande mobile évolué (eMBB);
- communications ultra-fiables présentant un faible temps de latence (URLLC);
- et les communications massives de type machine (mMTC).

Figure 5: Scénarios pour les IMT-2020



Source: Rec. UIT-R M.2083 - Vision pour les IMT - Cadre et objectifs généraux du développement futur des IMT à l'horizon 2020 et au-delà¹⁹

L'estimation de la demande associée à la fourniture de services large bande mobiles évolués (eMBB) devrait suivre les mêmes principes que ceux utilisés pour estimer la demande de services mobiles. Avec le lancement de la technologie 5G, les fournisseurs de services offriront la téléphonie, des services et des applications mobiles large bande, avec des gains de débit, de largeur de bande et de temps de latence.

En outre, et pour chaque marché, il est possible d'observer les profils de croissance et de décroissance (les pentes des courbes) des différentes technologies ainsi que les délais d'adoption pour établir les courbes de projection de chaque technologie. La demande du cycle technologique de la 5G devra être évaluée sur chaque marché et, dans l'hypothèse où le cycle de la 5G suivra les courbes de la demande des technologies mobiles précédentes, il faudra appliquer des profils de croissance similaires à chaque marché. Il est également important de noter qu'au début de l'adoption de la nouvelle technologie, le pourcentage d'abonnements

¹⁹ ITU-R Rec. M.2083 <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083>.

dépasse les courbes des technologies précédentes. Cette période est connue sous le nom de "temps d'adoption de la technologie". La tendance montre également qu'après chaque augmentation, le pourcentage d'abonnements à la nouvelle technologie se stabilisera jusqu'à ce qu'une nouvelle technologie soit lancée.

Les services large bande fixes par accès hertzien fixe (FWA) sont le deuxième type de service assuré par les réseaux 5G. Cela est rendu possible grâce à la disponibilité de ressources de réseau mobile pour fournir des services eMBB. Il est également possible d'envisager un modèle dans lequel l'eMBB et l'accès hertzien fixe seront lancés simultanément. Outre la capacité multiservices de la 5G, les débits élevés types de la nouvelle technologie justifient ce type de conditions, étant donné qu'il n'est pas nécessaire d'investir dans un réseau d'accès (fibre optique) pour connecter les utilisateurs.

Pour estimer la demande liée à la fourniture de services FWA, il est nécessaire de se pencher sur le marché du large bande fixe. Étant donné que les services FWA ont des caractéristiques analogues à celles d'un service à large bande fixe, la demande FWA fera partie de la demande totale estimée de services à large bande fixes.

Étant donné qu'il s'agit là d'une modalité d'exploration récente parmi les fournisseurs de services mobiles, au lieu d'estimer la demande dans ce secteur, les études et les évaluations prospectives menées par le secteur des télécommunications ont fait apparaître une estimation directe des recettes pour le secteur de la 5G (voir la Section 3.3).

En résumé, la demande visant à encourager les investissements pour le lancement de la 5G sera stimulée par la projection de trois secteurs d'activité distincts que l'infrastructure de la nouvelle génération de communications mobiles fournira: les services mobiles, les services fixes large bande et les applications basés sur URLLC et mMTC.

2.5 Estimation de la part de marché du nouvel opérateur potentiel

Une fois la demande de services définie, il faut ensuite modéliser la façon dont le marché sera divisé par rapport à un nouveau venu potentiel ou à une entreprise déjà établie qui mettra en œuvre les objectifs des politiques publiques dans le contexte concurrentiel actuel.

La modélisation du marché devrait toujours être prise en compte dans les règles et les critères réglementaires existants pour l'octroi de services, le plafonnement du spectre, la disposition des canaux dans la ou les bandes de fréquences et le comportement du marché actuel.

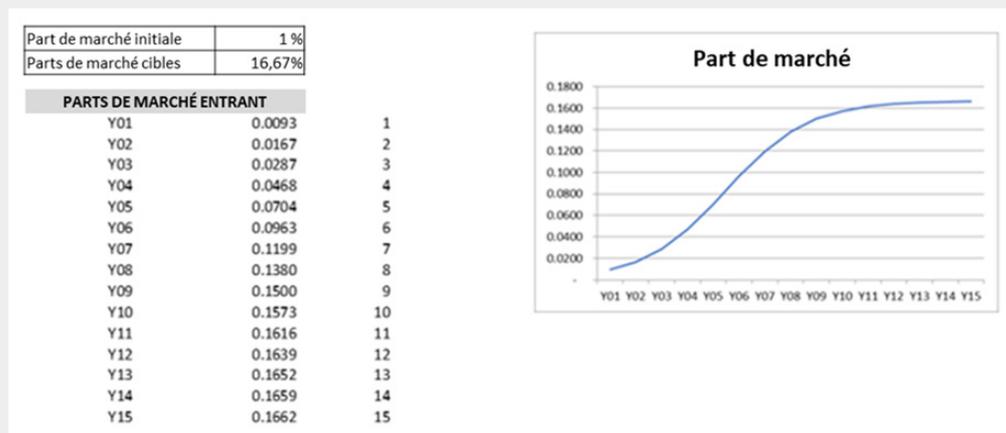
Lors de l'estimation de la part de marché d'un opérateur potentiel du large bande fixe, il convient de prendre en considération le statu quo des acteurs actuels du marché et de déterminer s'il existe des dispositions réglementaires visant à promouvoir la concurrence qui pourraient avoir une incidence sur le scénario concurrentiel actuel à moyen terme. Si le statu quo semble être maintenu, il est possible de se contenter de reproduire la part de marché actuelle des opérateurs en place avec de petites variations jusqu'à la fin du projet.

À l'inverse, si l'on s'attend à une amélioration du scénario concurrentiel à long terme, on devrait s'attendre à ce que la part de marché des opérateurs en place varie avec le temps et que les nouveaux concurrents acquièrent une part de marché. Une courbe en S pour le modèle peut alors être utilisée pour prévoir l'évolution de la part de marché jusqu'à la fin du projet.

Lors de l'estimation de la part de marché d'un opérateur potentiel du large bande mobile, outre les considérations ci-dessus, il est nécessaire de tenir compte des règles de plafonnement du spectre ainsi que de toute disposition réglementaire relative aux opérateurs de réseaux mobiles virtuels ou au partage des réseaux d'accès radioélectrique. Grâce à ces informations, il est alors possible de modéliser la façon dont le scénario concurrentiel pourrait évoluer pendant le projet et d'estimer la part de marché de l'opérateur qui le mettra en œuvre, en utilisant à nouveau des modèles fondés sur la courbe en S²⁰.

Estimation de la part de marché du nouvel opérateur potentiel

Un projet de large bande fixe sur quinze ans qui sera déployé par un nouvel acteur. Dans ce domaine, l'Autorité de régulation des télécommunications encourage plusieurs mesures axées sur la concurrence visant à atteindre un niveau de concurrence à long terme qui verrait les opérateurs diviser le marché pratiquement à égalité. Le marché du large bande fixe compte déjà cinq opérateurs; le nouvel acteur sera le sixième. Sa courbe de part de marché commencera près de zéro, mais pendant le projet, la part de marché évoluera jusqu'à atteindre le niveau de part de marché visé par le régulateur. Les courbes en S peuvent être utilisées pour modéliser le comportement de ce nouvel arrivant pendant toute la durée du projet.



Source: UIT.
Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

²⁰ Des modèles de courbe en S peuvent être utilisés dans le secteur des télécommunications/TIC pour décrire le comportement d'un nouveau service sur le marché. Le modèle de la courbe en S est caractérisé par un démarrage peu coûteux, dans lequel seuls les premiers utilisateurs et les marchés de niche utilisent le service. La courbe augmente ensuite fortement à mesure que le nouveau service connaît une croissance rapide et gagne en position dominante sur le marché. Après cette période de forte croissance, le service maintient un niveau de performance élevé, mais avec peu de croissance, ce qui se traduit souvent par une maturité mais une saturation du marché.

3 Estimation des recettes provenant de la fourniture de services large bande.

Cette étape consiste à estimer les recettes associées à la demande prévue. La méthode la plus simple pour estimer les recettes nettes consiste à calculer le revenu moyen par utilisateur (ARPU) pour les services ou segments de services qui seront fournis dans le cadre du plan d'affaires.

Une fois obtenu l'ARPU, il est multiplié par la demande estimée afin d'obtenir le revenu net, comme le montre la Figure 6.

Figure 6: Estimation des recettes nettes



Source: UIT.

Toutefois, il n'est pas toujours possible d'obtenir l'ARPU pour le service concerné qui sera lancé, de sorte qu'il faudra peut-être apporter quelques ajustements, par exemple utiliser l'ARPU d'un service analogue. En outre, il est rare que les recettes moyennes par utilisateur restent constantes dans l'ensemble du projet, de sorte qu'il sera nécessaire de faire certaines hypothèses pour prévoir comment cela pourrait évoluer pendant le projet.

Certaines des options qui peuvent être utilisées pour évaluer les revenus des projets de large bande sont expliquées ci-après, ainsi qu'une proposition de méthode pour estimer la manière dont les recettes peuvent évoluer pendant le projet.

3.1 Estimation des revenus pour les projets de large bande mobile

Tout d'abord, il convient de noter que si le projet à mettre en œuvre est un réseau d'accès mobile large bande, du point de vue de l'utilisateur final, il s'agit de fournir efficacement des communications mobiles, c'est-à-dire un service vocal mobile et un service de données mobiles. Il est donc suggéré que l'estimation des recettes moyennes par utilisateur pour le projet soit fondée sur les recettes moyennes par utilisateur des services mobiles qui seront lancés.

En outre, il ressort d'une analyse qu'en dépit de l'évolution des technologies mobiles (2G, 3G, 4G, 5G), les recettes moyennes par utilisateur (ARPU) liées à ces nouvelles générations de technologies n'ont guère changé. En général, la valeur des plans de service destinés aux utilisateurs finals est restée pratiquement la même; autrement dit, bien que le service ait été amélioré en termes de volume de données et de qualité, la valeur payée par l'utilisateur n'a pas changé de façon significative. En bref, au fil des ans, pour les mêmes prix, les utilisateurs bénéficient d'un plus grand nombre d'appels et de messages et d'une plus grande utilisation des données, à des débits plus élevés, voire avec des services à valeur ajoutée. Aux fins de modélisation, ceci signifie que les données historiques des recettes moyennes par utilisateur du service mobile peuvent être utilisées pour estimer les recettes des nouveaux services mobiles large bande.

Si les données sont disponibles et qu'il est possible de segmenter la demande, la segmentation des recettes moyennes par utilisateur en abonnements prépayés et postpayés peut donner plus de précision sur les projections.

3.2 Estimation des revenus pour les projets de large bande fixe

Pour estimer les recettes des projets relatifs au large bande fixe, il est recommandé d'utiliser les recettes moyennes par utilisateur pour les services large bande fixes. D'une manière générale, les fournisseurs de services sur le marché du large bande fixe offrent au moins deux grandes offres, à savoir un profil à bas débit et un profil à haut débit. Aujourd'hui, un profil à bas débit correspond à des plans allant jusqu'à 20-25 Mbit/s, tandis qu'un profil à haut débit couvre des plans d'environ 25 Mbit/s ou plus.

Une fois encore, si des données sont disponibles et qu'il est possible de segmenter la demande, la segmentation de l'ARPU en plans à bas et à haut débit tend à conférer plus de précision aux projections.

Estimation des revenus pour les projets de large bande fixe

Supposons qu'un projet de large bande fixe sur dix ans soit déployé dans le pays W. Les opérateurs du pays W proposent en général deux types principaux d'offre de large bande, à savoir une offre à bas débit et une offre à haut débit.

Dans le pays W, l'ARPU est:

- offre à bas débit de 22 USD;
- offre à haut débit de 48 USD;

Au cours des cinq dernières années, le revenu moyen par utilisateur a enregistré une baisse régulière de 0,5% par an. Cette tendance devrait se poursuivre au cours des dix années couvertes par le projet. Une fois que l'on estime le montant total des recettes moyennes par utilisateur pour toutes les années affectées au projet, on peut estimer le montant total des recettes en multipliant la demande sur une année par le montant total des recettes moyennes par utilisateur pour la même année.

Il est à noter que pendant la première année d'exploitation, il est recommandé de n'examiner les recettes que pendant une période de six mois, étant donné qu'il faut prévoir un laps de temps entre le déploiement du réseau et la commercialisation des services.

| Évolution des recettes moyennes par utilisateur pour le large bande fixe | | | | | |
|--|--------------------|------------|---------------------|-------------|--------------------|
| | Offres à bas débit | | Offres à haut débit | | |
| Y01 | \$ | 22,00 | \$ | 48,00 | |
| Y02 | \$ | 21,89 | \$ | 47,76 | |
| Y03 | \$ | 21,78 | \$ | 47,52 | |
| Y04 | \$ | 21,67 | \$ | 47,28 | |
| Y05 | \$ | 21,56 | \$ | 47,05 | |
| Y06 | \$ | 21,46 | \$ | 46,81 | |
| Y07 | \$ | 21,35 | \$ | 46,58 | |
| Y08 | \$ | 21,24 | \$ | 46,34 | |
| Y09 | \$ | 21,14 | \$ | 46,11 | |
| Y10 | \$ | 21,03 | \$ | 45,88 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Estimation de la demande de large bande par réseau fixe | | | | | |
| | Offres à bas débit | | Offres à haut débit | | |
| Y01 | | 25 650 | | 1 350 | |
| Y02 | | 43 200 | | 4 800 | |
| Y03 | | 90 100 | | 15 900 | |
| Y04 | | 132 000 | | 33 000 | |
| Y05 | | 133 000 | | 61 000 | |
| Y05 | | 221 900 | | 95 100 | |
| Y07 | | 248 950 | | 134 050 | |
| Y08 | | 283 200 | | 188 800 | |
| Y09 | | 319 000 | | 261 000 | |
| Y10 | | 368 500 | | 368 500 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Total des produits | | | | | |
| | Offres à bas débit | | Offres à haut débit | | TOTAL DES PRODUITS |
| Y01 | \$ | 3 335,800 | \$ | 388 800 | \$ 3 774 600 |
| Y02 | \$ | 11 347 776 | \$ | 2 750 976 | \$ 14 098 752 |
| Y03 | \$ | 23 549 131 | \$ | 9 067 045 | \$ 32 616 176 |
| Y04 | \$ | 34 327 889 | \$ | 18 724 303 | \$ 53 052 192 |
| Y05 | \$ | 47 352 983 | \$ | 34 438 533 | \$ 81 791 516 |
| Y06 | \$ | 57 131 632 | \$ | 53 421 786 | \$ 110 553 418 |
| Y07 | \$ | 63 775 598 | \$ | 74 925 178 | \$ 138 700 777 |
| Y08 | \$ | 72 186 958 | \$ | 104 999 212 | \$ 177 186,170 |
| Y09 | \$ | 80 905 725 | \$ | 144 426 749 | \$ 225 332 475 |
| Y10 | \$ | 92 992 762 | \$ | 202 893 298 | \$ 295 886 060 |

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

3.3 Estimation des recettes des nouvelles entreprises liées à la 5G (URLLC et mMTC)

Les nouvelles opportunités commerciales sans précédent offertes par les réseaux 5G représentent le plus grand défi à relever pour modéliser la projection des recettes, sans qu'aucun cas stables efficace n'ait été rencontré dans les pays ayant déjà lancé la technologie 5G.

Il semble qu'il n'y ait que peu, voire pas, de consensus sur la demande d'utilisation des ressources offertes par la technologie 5G dans les secteurs d'activité verticaux.²¹ Compte tenu du potentiel des secteurs verticaux, il est entendu qu'il s'agit de solutions EEL et B2C de bout en bout qui utilisent l'infrastructure et les caractéristiques de la 5G comme support, mais qui vont au-delà des limites du modèle de marché des télécommunications traditionnel. Étant

²¹ Les secteurs verticaux bénéficiant du secteur des TIC sont notamment les secteurs de l'agroalimentaire, de l'exploration, du transport et de la logistique et de la fabrication.

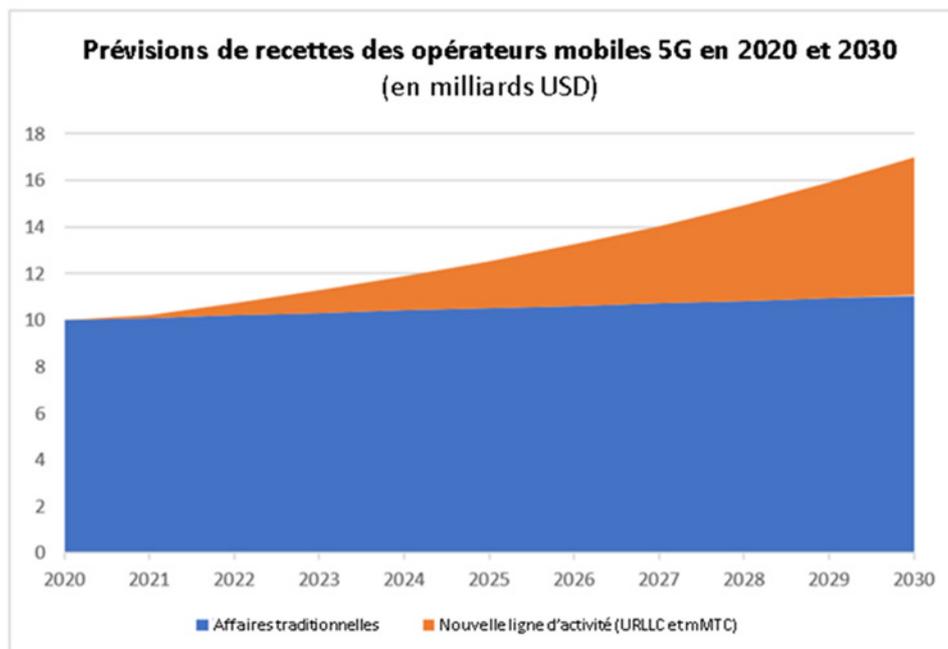
donné que les opérateurs de réseaux qui déploient la 5G offriront des services qui transcendent le concept de services de télécommunication, cette nouvelle ligne d'activité commerciale peut être considérée comme une offre d'entreprise, liée à la fourniture d'infrastructures et de connectivité.

Pour mesurer les recettes, on tend à quantifier l'impact des secteurs verticaux sur le marché des télécommunications, en prenant pour référence un pourcentage du revenu des communications mobiles avec la 5G sur les segments les plus connus, à savoir les segments commerciaux eMBB et FWA. Par exemple, Ericsson (2019) a déclaré que "la prise en compte de ces opportunités pourrait permettre aux fournisseurs de services de débloquer des flux de recettes supplémentaires pouvant atteindre 35%, en plus du champ d'activité actuel d'ici à 2030". En outre, un rapport publié par Huawei (2019) indique que les solutions fondées sur la 5G devraient augmenter d'environ 1,4 milliard USD le PIB mondial d'ici à 2030. En outre, la GSMA (2018) suggère que les nouvelles possibilités de recettes supplémentaires dans le secteur de la 5G proviendront du secteur entreprise/industrie, et de nombreux autres rapports appuient cette orientation.

Pour estimer les recettes liées à cette nouvelle branche d'activité, il est nécessaire d'évaluer à la fois l'impact des secteurs verticaux dans le modèle commercial 5G et les principales caractéristiques du marché local afin d'estimer une courbe des secteurs d'activité URLLC et mMTC en pourcentage du total des activités 5G.

La Figure 7 utilise la projection d'Ericsson (2019) pour montrer qu'à l'horizon 2030, 35% des recettes totales des opérateurs de réseaux mobiles proviendront de la nouvelle branche d'activité liée à la technologie 5G (URLLC et mMTC).

Figure 7: Prévisions de recettes des opérateurs mobiles 5G en 2020 et 2030



Source: référence Ericsson (2019)

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

3.4 Estimation des revenus pour les projets de large bande fixe

Tant que les projets de réseaux de transport sont étroitement liés aux services de télécommunication de gros, pour estimer les recettes nettes de ces projets, il est souhaitable d'utiliser comme référence l'offre de services de lignes publiques louées de l'opérateur historique (ou du fournisseur de services en position de force sur le marché).

Dans les cas où le pays en question ne dispose d'aucune offre publique liée à ce type de service de gros, une autre solution pourrait consister à consulter les sites web d'autres autorités de régulation afin de parvenir à une référence de base fiable à utiliser en ce qui concerne les lignes louées et la connectivité. Cela pourrait ensuite faire l'objet d'un indice de parité de pouvoir d'achat afin d'éliminer toute différence de niveau de prix entre les taux de change. Les prix utilisés comme référence doivent exclure les taxes et les dispositions relatives à l'inflation.

3.5 Comportement des recettes tout au long du projet

La valeur de l'ARPU initiale pour le projet devrait refléter les valeurs calculées les plus récentes. L'évolution des recettes moyennes par utilisateur au cours du plan d'affaires pourra être estimée sur la base d'une évolution récente des recettes moyennes par utilisateur. Dans les cas où l'on ne dispose pas d'informations sur les recettes moyennes par utilisateur, il est également possible d'utiliser comme approximation les recettes moyennes par utilisateur d'un pays ayant un profil socio-économique analogue. Ces informations peuvent être obtenues, par exemple, sur les sites web d'autres autorités nationales de régulation des télécommunications ou de banques d'investissement.

Une autre stratégie intéressante consiste à utiliser le panier de prix des TIC (IPB)²² de l'UIT pour estimer les recettes nettes. Cette base de données complète contient des sous-paniers du large bande, fixe et mobile pour quelque 165 pays. Il est important de ne pas perdre de vue les effets fiscaux de l'estimation nette des recettes. Lorsqu'on analyse les tendances historiques des recettes moyennes par utilisateur, il convient également d'éliminer les effets inflationnistes de l'estimation pour s'assurer que le plan d'affaires traite dans tous les cas des valeurs réelles.

Après avoir estimé les projections des recettes moyennes par utilisateur et avoir déjà estimé la demande prévue, on obtient les recettes prévues par an en fonction du service particulier qui sera associé au réseau qui sera mis en œuvre.

Il est à noter que pendant la première année d'exploitation, il est recommandé de n'examiner les recettes que pendant une période de six mois, étant donné qu'il faut prévoir un laps de temps entre le déploiement du réseau et la commercialisation des services.

²² Le panier de prix pour les TIC est disponible sur le DataHub de l'UIT (Abordabilité - Prix pour les TIC: <https://datahub.itu.int/indicators/>).

4 Estimation des besoins en investissements dans les réseaux large bande – dépenses d'équipement (capex).

L'un des défis majeurs auxquels sont confrontés les gouvernements pour mettre en place des politiques publiques économiquement viables visant à stimuler les investissements dans l'expansion des réseaux large bande est d'estimer correctement le niveau des dépenses d'équipement (capex) nécessaires pour remédier aux disparités en matière d'infrastructure de réseau d'un pays donné.

Il est indispensable de disposer d'informations sur le niveau d'investissement requis pour permettre aux décideurs d'élaborer un plan cohérent, crédible et fiable permettant d'évaluer l'attrait et la durabilité à long terme d'une exploitation hypothétique des télécommunications dans des régions géographiques non desservies.

En outre, dans le contexte des réseaux 5G, la plus grande variété de cas d'utilisation pour prendre en charge des applications à temps de latence ultra-faible, comme les véhicules autonomes, les drones et l'automatisation des usines industrielles, a fait peser davantage d'incertitude sur les exigences en matière de dépenses d'équipement.

Les principales données d'entrée pour l'estimation du capex sont les suivantes:

- la demande prévue de services large bande mobiles et fixes, ainsi que des informations détaillées sur les lacunes actuelles dans les infrastructures, par exemple une liste des municipalités non desservies par les réseaux de transport optiques;
- la demande prévue (en nombre d'utilisateurs, de trafic ou en Mbit/s) de municipalité en réseaux large bande fixes et mobiles pour les années à venir; ces informations sont importantes pour les décisions de conception de réseau et pour l'estimation des investissements.

En se basant sur ces contributions, la capacité requise pour remédier à un manque identifié d'infrastructure dépendra du service et de la technologie choisis. Par exemple, les décideurs qui cherchent à remédier rapidement à l'absence d'offres large bande dans une région donnée peuvent choisir de modéliser le déploiement de réseaux d'accès large bande mobiles rentables et rapidement déployés (3G, 4G, 5G, 5G FWA, etc.), tandis que ceux qui planifient à long terme préfèrent la modélisation du déploiement des réseaux d'accès FTTH (fibre jusqu'au domicile). Même pour déployer des réseaux de transport dorsaux/d'acheminement, le choix de modéliser des réseaux de faisceaux hertziens courants ou des réseaux à fibres optiques de nouvelle génération dépend des objectifs de la politique publique et de la demande de trafic prévue de chaque municipalité ou région et peut avoir une incidence directe sur le niveau d'investissement requis.

Afin de fournir des orientations utiles sur la façon d'estimer l'investissement d'équipement requis pour répondre aux besoins en infrastructures large bande et de tenir compte de l'asymétrie des informations qui est inévitable dans toute analyse menée par les décideurs, les parties suivantes de ce kit pratique donnent des exemples d'approches fiables que peuvent suivre les gouvernements pour encourager le déploiement de réseaux hertziens large bande 4G et 5G, de réseaux FTTH large bande fixes et de réseaux de faisceaux hertziens et à fibres optiques large bande, qui sont les technologies les plus courantes actuellement retenues pour le développement des réseaux large bande.

4.1 Réseaux d'accès large bande mobiles 4G

L'objectif de ce modèle est d'estimer l'infrastructure de réseau nécessaire pour satisfaire à la fois les demandes de couverture et de capacité (Mbit/s) des utilisateurs potentiels du large bande mobile LTE 4G dans les municipalités ou les régions qui ne sont pas encore desservies, afin d'évaluer la viabilité économique de ces investissements.

Pour effectuer ce calcul, un opérateur modélisé est proposé. Ce dernier ne dispose que d'un seul bloc de fréquences radioélectriques destiné à être utilisé dans les e-Node B LTE 4G traditionnels (désignés ci-après par le terme de *macrocellules*), et qui dispose d'une solution moins coûteuse pour les *petites cellules*, mieux adaptée pour répondre à la demande croissante de capacité de transmission de données à mettre en œuvre dans les municipalités où la demande de capacité dépasse la capacité offerte par les macrocellules.

Cette solution simplifiée à petites cellules est constituée d'un système d'antenne sectoriel et d'un point d'accès WiFi, utilisé pour décharger le trafic directement vers le réseau de transport fixe. La Figure 6 illustre la topologie du réseau d'accès large bande mobile envisagée.

Figure 8: Réseau LTE hétérogène



Il est intéressant de noter que les gains de capacité obtenus grâce à cette approche sont considérables et réduisent la nécessité d'une expansion future du réseau uniquement en raison des besoins de capacité, c'est-à-dire que les opérateurs peuvent réduire les investissements nécessaires sur de courtes périodes et mieux monétiser leurs infrastructures. En effet, la solution modélisée pour le déploiement d'une infrastructure hybride de macrocellules + petites cellules + points d'accès WiFi constitue une tendance mondiale pour les réseaux hertziens large bande LTE 4G hétérogènes, à la lumière de la nécessité de réduire les dépenses d'investissement d'équipement nécessaires pour répondre à une demande exponentielle en large bande mobile²³. Cette stratégie hybride présente un triple avantage: elle permet de satisfaire le besoin de couverture, d'assurer la mobilité des utilisateurs et de répondre à la demande de capacité, offrant une affectation de l'investissement améliorée et supplémentaire sur des années d'exploitation.

²³ Source: Cisco Visual Networking Index Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.

Calcul des investissements pour le déploiement du site de couverture (macrocellule)

Pour calculer le nombre de macrocellules nécessaires pour couvrir chaque municipalité non desservie, la zone cible à couvrir est divisée par la zone maximale couverte par un eNode B type, selon l'équation suivante:

$$N_{macrocells} = \frac{A_t}{A_{eNb_{avg}}}$$

où:

$N_{macrocells}$ est le nombre de macrocellules à estimer;

A_t est la surface totale, en km², de la zone cible à couvrir;

$A_{eNb_{avg}}$ est la surface maximale couverte par un eNode B typique.

Pour estimer $A_{eNb_{avg}}$, on peut prendre comme référence le rayon de couverture moyen des sites de réseau large bande hertzien LTE 4G déployés dans les municipalités déjà desservies par des réseaux LTE 4G utilisant les mêmes bandes de fréquences. Des références internationales obtenues à partir du déploiement de réseaux large bande hertziens 4G LTE dans d'autres pays peuvent également être utilisées.

Une fois calculé le nombre d'emplacements de couverture nécessaires, il est nécessaire d'obtenir le coût unitaire de chaque emplacement afin qu'il soit possible d'estimer l'investissement requis. Le coût unitaire pouvant varier considérablement d'un pays à l'autre, ce coût devrait être obtenu dans un souci de précision auprès des opérateurs large bande mobiles locaux en place et des fournisseurs de réseaux locaux.

Enfin, un déploiement 4G rentable doit tirer parti des infrastructures passives (pylônes, etc.) disponibles pour le partage, puisque le partage permettra de réaliser d'importantes économies dans le déploiement de macrocellules.

Macrocellules

L'exemple suivant illustre l'estimation du nombre d'éléments d'infrastructures passives et actives nécessaires pour le déploiement de macrocellules.

Estimation des macrocellules 4G

Ville – Exemple 1

Pylônes en partage = 7 (2G, 3G, etc.)

$A_t = 137 \text{ Km}^2$

$A_{eNb_{avg}} = 7.5 \text{ Km}^2$

$N_{macrocells} = 19$

$$N_{macrocells} = \frac{A_t}{A_{eNb_{avg}}}$$

Infrastructure passive (pylônes, etc.) = $19 - 7 = 12$

Infrastructure active (eNode B, etc.) = 19

Source: UIT.

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

Calcul des investissements dans le déploiement de petites cellules et des points d'accès WiFi

Une fois que les besoins d'infrastructure pour les sites de couverture (macrocellules) auront été déterminés, il est temps d'évaluer la meilleure stratégie pour résoudre le problème que pose la construction d'un réseau de capacité suffisante (Mbit/s) pour répondre à la demande de trafic du réseau hertzien LTE 4G avec le capex le plus optimisé possible.

La première étape consiste à prévoir la demande de trafic attendue dans chaque municipalité pour les années à venir²⁴, en fonction de la demande des utilisateurs du réseau hertzien LTE 4G qui utilisent différents profils, tels que les utilisateurs de téléphonie et de données à prépaiement ou à postpaiement, les utilisateurs de modem qui génèrent uniquement du trafic de données, etc.

Pour convertir la demande des utilisateurs en capacité de trafic de pointe requise (Mbit/s) d'une manière qui soit la plus utile pour la planification des réseaux, il faut élaborer une matrice de débits pour chaque profil d'utilisateur, en tenant compte de l'évolution au fil des ans, compte tenu de l'augmentation progressive habituelle de l'efficacité spectrale (bit/s/Hz) des réseaux LTE commerciaux.

Sur la base de cette méthodologie et fort des estimations de la demande par municipalité d'utilisateurs du réseau hertzien LTE 4G par type de profil d'utilisateur ainsi que de la matrice estimée de débits à offrir dans les plans de données du réseau hertzien LTE 4G, il est possible

²⁴ Le nombre d'années dépend du calendrier défini pour le calcul de la valeur VAN. Par exemple, le Brésil a utilisé une prévision de la demande sur 10 ans pour calculer la valeur actuelle nette (VAN) d'un projet de large bande fixe.

d'obtenir une estimation de la capacité de trafic qui doit être prise en charge par le réseau d'accès hertzien LTE 4G déployé dans chaque municipalité desservie.

Une fois que cette demande de trafic (Mbit/s) est connue et que la demande supplémentaire à satisfaire au cours de chaque année d'exploitation est identifiée, on peut calculer le nombre de petites cellules et de points d'accès WiFi qui devront être déployés chaque année pour répondre à la demande dépassant la capacité déjà desservie par les macrocellules. Le nombre de petites cellules nécessaires pour chaque année de fourniture de service dans chaque municipalité peut être calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$N_{small\ cells} = \frac{\max\{[D_{TA} \cdot (1 - F_{off-load}) \cdot F_s] - (N_{macrocells} \cdot C_{macrocell}); 0\}}{C_{smallcell}}$$

où:

D_{TA} est la demande de trafic (Mbit/s) de tous les utilisateurs de la municipalité pendant une année A;

F_s est le facteur de partage du réseau, appelé généralement *taux de conflit*;

$C_{macrocell}$ et $C_{smallcell}$ sont la capacité (en Mbit/s) fournie par chaque macrocellule (classique eNode B à 3 secteurs) ou par les petites cellules (1 secteur seulement). Cette capacité est calculée en multipliant la quantité de spectre (MHz) disponible pour les réseaux LTE 4G dans la municipalité sur l'année A (B_A), l'efficacité spectrale (bit/s/Hz) des réseaux LTE 4G commerciaux sur l'année A (λ) et le nombre de secteurs par site de réseau LTE 4G (S);

$F_{off-load}$ est le facteur de décharge du trafic LTE 4G sur les réseaux WiFi, c'est-à-dire le pourcentage de trafic desservi par une petite cellule qui est délestée vers le point d'accès WiFi.

Une fois que l'équation utilisée pour calculer le nombre de petites cellules + points d'accès WiFi à installer dans chaque municipalité pendant une année donnée est présentée, les hypothèses utilisées pour définir les valeurs de chacune des variables qui constituent l'équation seront examinées.

Comme indiqué plus haut, la valeur D_{TA} est la demande sur l'année A, c'est-à-dire la demande de trafic (Mbit/s) existant au cours de l'année A dans une municipalité donnée. Le paragraphe ci-dessous sur les petites cellules illustre l'application de cette formule.

L'utilisation du facteur de décharge $F_{off-load}$ repose sur l'hypothèse que, compte tenu de la croissance rapide du trafic avec la popularisation des terminaux de réseaux mobiles LTE 4G, la tendance mondiale est à l'utilisation de réseaux WiFi pour délester une partie de ce trafic²⁵, en particulier dans les zones urbaines très denses. De plus, le facteur de délestage est une recherche d'efficacité dans le déploiement du réseau, étant donné que certaines zones (par exemple microcentres urbains, centres urbains, aéroports, etc.) où la demande est fortement concentrée peuvent être largement desservies par des points d'accès WiFi.

²⁵ Voir le document: <http://docplayer.net/13989507-Smartphone-use-transforming-with-the-rise-of-4g-and-wi-fi.html>. Smartphone use transforming with the rise of 4G and Wi-Fi, 2014 Informa UK Ltd.

Selon des estimations récentes²⁶, jusqu'à 63% du trafic mobile large bande passera par les réseaux WiFi, réduisant ainsi les exigences en matière de demande qui doivent être prises en compte dans le dimensionnement d'un réseau mobile utilisant des fréquences autorisées. De plus, ce principe permet d'optimiser de manière significative les dépenses d'équipement.

Le facteur de partage de réseau F_s , également appelé taux de conflit dans l'écosystème des télécommunications, est un paramètre couramment pris en compte dans la conception des réseaux à commutation par paquets, comme les réseaux de données hertziens LTE 4G. Dans les équations de dimensionnement de réseau, ce paramètre est utilisé pour tenir compte du fait que, dans la plupart des cas, les utilisateurs ont besoin de ressources de réseau (émission et réception de paquets de données) à des moments différents. Étant donné que les utilisateurs ne tirent pas tous parti de la capacité mobile du réseau exactement en même temps, il ne serait pas efficace qu'un réseau puisse acheminer le trafic maximal de données prévu, car cela ne se produirait jamais. Le facteur de partage du réseau (taux de conflit) est utilisé pour exprimer le nombre d'utilisateurs que le réseau doit pouvoir prendre en charge simultanément. Ce facteur peut varier d'un pays à l'autre et est parfois défini dans le cadre réglementaire national en matière de qualité de service. Une valeur type prise en considération pour le dimensionnement d'un réseau large bande (fixe ou mobile) est de 1:20 (5%), c'est-à-dire que pour chaque capacité de 20 Mbit/s contractuelle, le réseau ne doit fournir qu'un Mbit/s, puisque dans des conditions normales, seuls 5% des utilisateurs utiliseront le réseau simultanément.²⁷

L'efficacité spectrale η_A , en bits/s/Hz, des réseaux LTE commerciaux sur l'année A peut être obtenue auprès des opérateurs locaux et des fournisseurs de réseaux; généralement, 4 bit/s/Hz est le point de référence pour les réseaux utilisant la modulation MAQ-256. Par ailleurs, on peut faire des prévisions de l'évolution de l'efficacité spectrale en analysant le comportement historique de la courbe de l'accroissement de l'efficacité spectrale des technologies de transmission de données dans les réseaux mobiles, depuis l'arrivée des technologies de troisième génération (AMRC large bande - accès multiple par répartition en code à large bande - HSPA - accès rapide en mode paquet, etc.) jusqu'à l'émergence des réseaux LTE et les mises à niveau ultérieures (*versions*) par le Forum 3GPP. Sur cette base, une courbe d'efficacité spectrale croissante est prévisible au cours des prochaines années, jusqu'à ce que les réseaux LTE soient au point et que les technologies de réseau mobile évoluées (par exemple la 5G) soient lancées.

La variable finale est la quantité de spectre (MHz) disponible pour les réseaux LTE B_A dans chaque municipalité pendant une année A, ce qui dépend du pays et constitue une valeur habituellement connue des régulateurs.

En comprenant toutes les variables utilisées pour calculer le nombre de petites cellules nécessaires chaque année A pour répondre à la demande de trafic de données dans chaque municipalité, il est possible d'obtenir la quantité d'infrastructure à déployer, non seulement pour résoudre les problèmes de couverture mais aussi pour garantir une capacité suffisante pour prendre en charge la demande large bande mobile.

²⁶ Source: Cisco Visual Networking Index Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.

²⁷ Voir le site: <http://businessdocbox.com/Logistics/66514074-Lte-network-design-from-a-techno-economic-perspective.html>. Conception de réseau LTE du point de vue technique et économique.

Petites cellules

Le tableau suivant illustre l'estimation annuelle du nombre de petites cellules nécessaires pour un déploiement donné de la technologie LTE 4G, compte tenu du scénario suivant:

- i) 19 macrocellules sont nécessaires pour assurer la couverture;
- ii) les prévisions de la demande globale vont de 100 Gbit/s pour la première année à 520 Gbit/s pour la dixième année d'exploitation;
- iii) le délestage WiFi est de 67%;
- iv) le taux de conflit est de 5%;
- v) l'efficacité spectrale du réseau LTE 4G est constante à 3 bit/s/Hz par petite cellule.

Estimation des petites cellules 4G

| Capacité à être desservi par le réseau | | | | | Capacité desservie par les macrocellules | | | | | | |
|--|-----------|----------------------|-------|---|--|-----------------|---------|------------|-----|-----------------|-------------------------------------|
| Année | D_{T_e} | $(1 - F_{eff-load})$ | F_e | $[D_{T_e}(1 - F_{eff-load}) \cdot F_e]$ | Année | $N_{macrocell}$ | B_{A} | η_{A} | S | $C_{macrocell}$ | $N_{macrocell} \cdot C_{macrocell}$ |
| 1 | 100 Gbps | 37% | 5% | 1.85 Gbps | 1 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 2 | 120 Gbps | 37% | 5% | 2.22 Gbps | 2 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 3 | 150 Gbps | 37% | 5% | 2.78 Gbps | 3 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 4 | 175 Gbps | 37% | 5% | 3.24 Gbps | 4 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 5 | 210 Gbps | 37% | 5% | 3.89 Gbps | 5 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 6 | 250 Gbps | 37% | 5% | 4.65 Gbps | 6 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 7 | 300 Gbps | 37% | 5% | 5.55 Gbps | 7 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 8 | 360 Gbps | 37% | 5% | 6.66 Gbps | 8 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 9 | 450 Gbps | 37% | 5% | 7.95 Gbps | 9 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |
| 10 | 520 Gbps | 37% | 5% | 9.62 Gbps | 10 | 19 | 20 MHz | 3 bps/Hz | 3 | 0.18 Gbps | 3.42 Gbps |

| Capacité à être desservi par des petites cellules | | Capacité des petites cellules | |
|---|--|-------------------------------|-----------------|
| Année | $\max([D_{T_e}(1 - F_{eff-load}) \cdot F_e] - (N_{macrocell} \cdot C_{macrocell}), 0)$ | Année | $C_{smallcell}$ |
| 1 | 0 | 1 | 0.06 Gbps |
| 2 | 0 | 2 | 0.06 Gbps |
| 3 | 0 | 3 | 0.06 Gbps |
| 4 | 0 | 4 | 0.06 Gbps |
| 5 | 0.47 Gbps | 5 | 0.06 Gbps |
| 6 | 1.21 Gbps | 6 | 0.06 Gbps |
| 7 | 2.13 Gbps | 7 | 0.06 Gbps |
| 8 | 3.24 Gbps | 8 | 0.06 Gbps |
| 9 | 4.54 Gbps | 9 | 0.06 Gbps |
| 10 | 6.2 Gbps | 10 | 0.06 Gbps |

| Nombre de petites cellules | |
|----------------------------|--|
| Année | $\frac{\max([D_{T_e}(1 - F_{eff-load}) \cdot F_e] - (N_{macrocell} \cdot C_{macrocell}), 0)}{C_{smallcell}}$ |
| 1 | 0 |
| 2 | 0 |
| 3 | 0 |
| 4 | 0 |
| 5 | 8 |
| 6 | 21 |
| 7 | 36 |
| 8 | 54 |
| 9 | 76 |
| 10 | 104 |

Dans ce scénario, une capacité accrue du réseau hertzien ne serait nécessaire que pour la cinquième année. À la fin du projet, 104 petites cellules au total seraient déployées.

Source: UIT.

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

Coûts unitaires d'infrastructure

Après avoir défini le nombre de sites de réseau large bande hertzien LTE 4G à déployer, l'étape suivante de l'estimation des dépenses d'équipement consiste à obtenir les coûts unitaires liés au déploiement de chacun de ces sites.

Afin de mieux comprendre la méthode de tarification des macrocellules, les éléments de réseau sont classés en trois catégories:

- i) infrastructure passive (pylônes, etc.) dont le coût peut être réduit (parfois très important) par le partage des structures déjà installées;

- ii) les eNode B LTE, qui comprennent l'ensemble des équipements constituant le contrôleur, l'émetteur et le système radioélectrique;
- iii) les réseaux de transport de données en amont, constitués des éléments de transport (généralement optiques) du site LTE vers le réseau de l'opérateur. Les coûts unitaires de chacun de ces éléments de réseau peuvent être obtenus auprès des opérateurs et des fournisseurs de réseaux locaux.

Une fois les prix des macrocellules obtenus, ces valeurs peuvent servir de référence pour l'estimation du coût de la méthode des petites cellules. D'après des études de marché²⁸, le coût d'une petite cellule type + site de points d'accès WiFi représentait 21% du coût de la macrocellule. Ce pourcentage sert de guide pratique, mais les informations actuelles sur les prix obtenues auprès des opérateurs et des fournisseurs de réseaux locaux doivent toujours être utilisées à des fins de planification réelle.

Résultats de l'estimation des dépenses d'équipement

Une fois que le nombre total de sites de réseau large bande hertzien 4G LTE (macrocellules et petites cellules + points d'accès WiFi) à installer chaque année dans chacune des municipalités à desservir a été estimé, et que les coûts unitaires des éléments de l'infrastructure du réseau d'accès ont été obtenus, on peut calculer le montant total des investissements (capex) requis chaque année²⁹.

Cette matrice des dépenses d'équipement définira la valeur actuelle nette de l'activité commerciale du réseau large bande hertzien 4G LTE et sera l'un des facteurs déterminants d'une évaluation de la prise en compte des zones mal desservies dans les politiques publiques visant à encourager la construction d'infrastructures large bande mobiles.

4.2 Réseaux d'accès large bande mobile et fixe 5G

La technologie 5G offre six options de déploiement, qui couvrent des scénarios de migration des réseaux mobiles 4G vers les réseaux mobiles 5G et envisage la possibilité de déployer des réseaux 5G parallèles aux réseaux actuels, également appelés respectivement réseaux non autonomes (NSA) et réseaux autonomes (SA). L'option SA permet d'intégrer directement de nouvelles fonctionnalités liées à la 5G, par exemple un faible temps de latence et des contrôles de qualité de service (QoS) qui sont supérieurs à d'autres scénarios des NSA. L'estimation des dépenses d'équipement effectuée dans le présent paragraphe, tient compte de la stratégie SA, car il est tout à fait justifié pour un nouvel opérateur de travailler dans les zones urbaines afin de fournir des services à forte capacité et à faible latence et d'offrir un accès hertzien fixe (AHF) dans les zones suburbaines ou rurales. Étant donné que l'on part du principe que l'opérateur à modéliser fait tout juste son entrée sur le marché, il ne devrait pas disposer de réseaux LTE 4G, de sorte qu'un scénario de migration de la technologie LTE 4G vers la 5G n'est pas applicable.

Si l'on suit cette hypothèse, un nouvel opérateur doit fournir le large bande mobile haut débit à la population (smartphones) ainsi que des services spécialisés pour les marchés de niche (par exemple, industrie automobile, usines industrielles, agriculture de précision) pour être compétitif.

²⁸ Source: Paolini, M. (2012), The Economics of petites cellules and Wi-Fi offload, Senza Fili Consulting, page 2.

²⁹ Le besoin d'investissement dans le matériel de base du réseau hertzien LTE 4G n'a pas été estimé ici, car on a supposé que le modèle d'exploitation exploitait déjà la technologie LTE 4G dans les régions les plus intéressantes sur le plan économique du pays et dispose déjà de ces équipements.

Les investissements dans les réseaux peuvent être divisés en deux catégories, à savoir les réseaux d'infrastructure et les réseaux d'accès. Les réseaux d'infrastructure sont chargés de plusieurs fonctions au sein du réseau, telles que le contrôle de la mobilité et des sessions d'utilisateur, le transport du trafic de données entre le réseau d'accès radioélectrique et les points d'interface entre le réseau 5G et d'autres réseaux externes, assurant la qualité de service, le stockage et la gestion des profils d'utilisateur, ainsi que l'authentification et la facturation. Le réseau d'accès radioélectrique (RAN), ou simplement le réseau d'accès, constitue la plus grande partie du capex 5G et assure des fonctions telles que la modulation et la démodulation des signaux, le contrôle des moyens d'accès (spectre des fréquences radioélectriques), l'attribution de ressources et réseaux aux utilisateurs et la mobilité.

Par conséquent, pour construire un réseau large bande 5G, le nouvel opérateur doit investir dans le réseau d'infrastructure et les éléments d'accès.

4.2.1 Dépenses d'équipement du réseau d'infrastructure 5G

L'estimation des dépenses d'équipement du réseau d'infrastructure est plus complexe que celle du réseau d'accès, étant donné que les éléments de réseau nécessaires varient considérablement en fonction des spécifications de conception et des caractéristiques que chaque opérateur choisit pour son réseau, en plus du nombre d'utilisateurs et des cas d'utilisation que le réseau devrait prendre en charge. En outre, dans le cas de la 5G, certains éléments essentiels ont tendance à être rapprochés des stations de base du réseau d'accès pour assurer des communications à très faible temps de latence, d'environ 1 à 4 ms dans le cas du large bande 5G.

Dans les réseaux 2G, 3G et 4G, l'infrastructure est généralement centralisée géographiquement. Certains opérateurs déploient des infrastructures de réseau régionales et créent des redondances pour optimiser les coûts de gestion du réseau. Dans la 5G, bien que cette possibilité persiste, les opérateurs devront organiser différemment l'architecture de leur réseau d'infrastructure, et cette architecture pourra varier d'un opérateur à l'autre en fonction de leurs décisions stratégiques et de leur portefeuille de services.

Toutefois, il est impossible, du point de vue de la modélisation, de s'intéresser aux spécifications du réseau d'infrastructure, étant donné que chaque fabricant dispose d'un profil de mise en œuvre de base différent, ce qui implique des chiffres de dépenses d'équipement différents. Une approche plus réalisable consiste à estimer les dépenses d'équipement du réseau d'infrastructure sur la base d'un proxy de dépenses d'équipement du réseau d'accès, ce qui représente en moyenne 10% des dépenses d'équipement totales.³⁰ En outre, les coûts associés à l'infrastructure du réseau d'infrastructure ont été estimés à environ 10% des dépenses d'infrastructure totales, même en tenant compte de différentes configurations d'implantation.³¹

Ainsi, les coûts d'infrastructure d'accès sont exprimés en pourcentage des coûts d'investissement dans le réseau d'infrastructure, lesquels englobent déjà les coûts d'exploitation, de transport de données et d'équipements radioélectriques de réseau. Une fois que les dépenses d'équipement

³⁰ Voir Zahid Ghadialy "Comprendre le TCO d'un réseau mobile" (<https://blog.3g4g.co.uk/2020/10/understanding-tco-of-mobile-network.html>).

³¹ Un rapport récent de la GSMA corrobore cette étude comparative intitulée "5G-era Mobile Network Cost Evolution study": https://www.gsma-com.translate.goog/futurenetworks/wiki/5g-era-mobile-network-cost-evolution/? x tr sl=pt& x tr tl=en& x tr hl=pt-BR& x tr_pto=nui.

du réseau d'infrastructure ont été calculées, les dépenses d'équipement du réseau d'accès peuvent être calculées au moyen de l'équation suivante:

$$CAPEX\ Core = [CAPEX\ Access / (1 - p)] \times p$$

où:

CAPEX Core = dépense d'équipement du réseau d'infrastructure;

CAPEX Access = dépense d'équipement du réseau d'accès;

p = pourcentage de dépense d'équipement du réseau d'infrastructure, estimé à 10%.

4.2.2 Dépenses d'équipement du réseau d'accès 5G

Les réseaux d'accès 5G suivent une infrastructure hétérogène de macrocellules et de petites cellules, très semblable à l'approche utilisée pour les réseaux mobiles 4G (voir la Section 4,1). Cette approche hétérogène est considérée comme essentielle par le secteur pour la mise en œuvre des réseaux 5G, étant donné qu'avec la 5G, il est nécessaire de réduire les dépenses d'investissement excessives nécessaires pour répondre à une demande explosive de capacité et de connectivité de millions de dispositifs.

De plus, étant donné que les bandes de fréquences utilisées pour le déploiement de la 5G ont généralement une propagation limitée (par exemple 3,5 GHz et zones en ondes millimétriques), il est possible que la couverture assurée par les macrocellules soit atténuée par des zones d'ombre, en particulier dans les centres urbains denses et les régions où les ondes radioélectriques doivent dépasser des bâtiments en béton, ce qui rend essentiel la mise en place de petites cellules pour remédier à ces disparités. Ainsi, pour satisfaire le besoin de couverture afin de prendre en charge la mobilité des utilisateurs, ainsi que la demande de capacité, une stratégie hétérogène est recherchée pour obtenir un investissement plus progressif et mieux réparti (moyennant des étapes plus petites du point de vue des dépenses d'équipement).

Dans une telle approche, le réseau d'accès 5G est composé de deux principaux types d'éléments de réseau, qui doivent être dimensionnés afin d'estimer les dépenses d'équipement nécessaires pour satisfaire aux exigences de couverture et de demande:

- Macrocellules: il s'agit de grandes stations de base radioélectriques qui propagent les ondes électromagnétiques à forte puissance et qui sont généralement utilisées pour répondre aux exigences en matière de couverture et de demande de trafic, en particulier dans les zones à faible densité de population.
- Petites/demi cellules: il s'agit de stations de base radio qui fonctionnent dans des environnements très encombrés où le trafic des utilisateurs est important et la couverture médiocre (parfois à l'intérieur des bâtiments). Les petites cellules ont des niveaux d'émission de puissance nettement inférieurs à ceux des macrocellules; elles permettent de répondre à la demande de trafic de données et de renforcer la connectivité de régions spécifiques, telles que les zones urbaines à forte densité de population, les centres commerciaux, les terminaux de bus, les bureaux et les hôpitaux.³²

³² On trouvera davantage de précisions sur les caractéristiques des petites cellules et leur utilisation dans le déploiement d'un réseau 5G dans l'article intitulé "The Backbone of 5G Networks: A Guide to Small Cell Technology".

Dans ce scénario, pour répondre aux exigences en matière de couverture et de demande de trafic liées au déploiement du réseau 5G, il convient de mettre en œuvre la stratégie suivante.

Premièrement, on calcule le nombre total de macrocellules 5G nécessaires pour la couverture en divisant la zone en macrocellules 5G types, comme pour la stratégie utilisée pour les macrocellules 4G (voir le § 4,1). Dans les pays où le réseau 4G est déjà largement répandu, une démarche incrémentielle peut être suivie. Les zones urbaines denses peuvent d'abord être couvertes, suivies par les zones suburbaines, les villages ruraux et les autoroutes. Les décideurs devraient utiliser différents scénarios d'expansion de la couverture (par exemple rapide, rationnelle et lente) et évaluer l'impact de chaque scénario sur les dépenses d'équipement pour chaque année du projet et sur la VAN totale.

En général, la portée des macrocellules 5G n'est pas supérieure à 1 km dans les zones urbaines denses, en fonction de la bande de fréquences utilisée. Étant donné que les déploiements de la 5G utilisant des bandes de fréquences basses orientées couverture (700 MHz, 3,5 GHz, etc.) sont très récents, les décideurs devraient obtenir des données récentes sur les réseaux 5G déployés dans leur région afin de définir des scénarios raisonnables de taille de cellules pour les macrocellules 5G.

Puis, pour chaque année du projet, les décideurs devraient vérifier que la capacité de trafic prévue des macrocellules en fonction des exigences de couverture est suffisante pour répondre à la demande des utilisateurs finals. On peut utiliser de petites ou demi-cellules pour répondre à la demande de trafic non desservie par les macrocellules. Pour cette analyse, on peut calculer la demande totale de trafic de la même manière que pour les réseaux 4G, mais englober la demande de trafic des réseaux mobiles 5G, les utilisateurs de smartphones et les utilisateurs du large bande fixe 5G-FWA.

Le nombre prévu d'utilisateurs du réseau devrait être converti en une demande de trafic (Mbit/s), selon différents profils d'utilisation (par exemple, plans pour les données mobiles et plans pour les données fixes) à partir d'informations de référence concernant d'autres réseaux 5G, ou en fonction des tendances historiques des réseaux 4G au moyen de facteurs de correction pour le scénario 5G.³³

La dernière étape consiste à calculer le nombre de sites nécessaires pour répondre à la demande de trafic, de manière analogue à l'approche utilisée pour les réseaux 4G, bien qu'il existe d'autres méthodes qui nécessitent généralement davantage d'informations sur les données géographiques du trafic actuel et sur la répartition dans le temps³⁴. Pour calculer la capacité de trafic fournie par chaque microcellule ou petite cellule 5G, on utilise généralement les paramètres techniques suivants:

- a) trois secteurs par station pour les macrocellules et deux secteurs par station pour les petites cellules;
- b) le taux des ressources radioélectriques est généralement de 3:1, avec 75% de liaison descendante et 25% de liaison montante;
- c) une efficacité spectrale de 4 bit/s/Hz, avec des augmentations annuelles.

³³ Il ressort d'un article publié par OpenSignal qu'en septembre 2020, les utilisateurs de la 5G consomment en moyenne 2,7 fois plus de données que les utilisateurs de la 4G.

³⁴ Pour un exemple de méthode différente, voir le Livre blanc "Mobile broadband with HSPA and LTE - capacity and cost aspects", disponible à l'adresse <https://docplayer.net/11419069-White-paper-mobile-broadband-with-hspa-and-lte-capacity-and-cost-aspects.html>.

Une fois que le nombre total de sites est connu, on peut déterminer la dépense d'équipement totale associée à un réseau d'accès 5G en multipliant ces quantités projetées par les coûts unitaires d'un site 5G type (microcellules ou petites/demi cellules).

4.2.3 Dépense d'équipement liée à l'offre de services spécialisés 5G pour les marchés de niche

La technologie 5G devrait permettre de fournir des services spécialisés pour les marchés de niche, comme l'industrie automobile, les usines industrielles, l'agriculture de précision, etc. Toutefois, dans les pays qui ont déjà lancé la technologie 5G, ces nouveaux secteurs d'activité pour les opérateurs de réseaux 5G ne sont pas encore stables.

Par ailleurs, du point de vue de la dépense d'équipement nécessaire pour explorer ce secteur d'activité, il n'est pas raisonnable d'estimer cette dernière sur la base des mêmes approches techniques utilisées pour le réseau d'infrastructure et le réseau d'accès. En effet, la demande de services spécialisés présente une caractéristique intrinsèquement adaptée à l'application - tant géographiquement qu'en termes d'équipement et d'exigences de qualité de service - qui dépendent non pas nécessairement de la couverture et de la capacité de trafic, mais de la latence, de la gigue et de la protection de la vie privée.

Il est donc nécessaire d'estimer la dépense d'équipement nécessaire pour explorer ce type d'activité par une approche financière, qui s'inscrit dans l'estimation des recettes pour ces services spécialisés. Par exemple, une approche raisonnable consiste à calculer le rapport dépense d'équipement/recettes pour l'exploitation de la 5G, sans tenir compte des recettes provenant de la fourniture de services spécialisés, et à appliquer ce rapport à l'estimation des recettes avec l'offre de services spécialisés. Par ailleurs, dans les années à venir, il faudrait que les décideurs et les régulateurs fassent davantage référence à des cas réels de mise en œuvre qui pourraient être utilisés pour élaborer des plans d'affaires pour les réseaux 5G.

4.3 Réseaux d'accès large bande fixe

La modélisation utilisée par les régulateurs pour estimer les investissements nécessaires à la construction de réseaux FTTH peut reposer sur des références reconnues au niveau international concernant l'architecture et les techniques de réseau pour l'estimation des équipements et des fibres optiques. Une fois calculé le nombre d'équipements et le câblage requis et leur coût unitaire déterminé, on peut obtenir la dépense d'équipement totale nécessaire pour déployer le réseau.

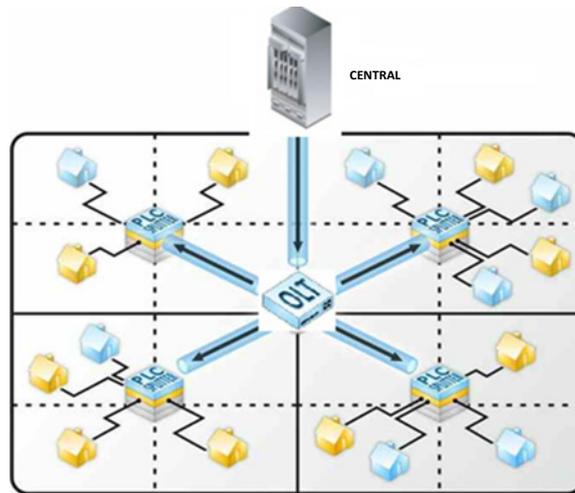
La première étape est le choix de la technologie de réseau FTTH à utiliser comme référence pour le dimensionnement du réseau. Après avoir évalué les diverses technologies disponibles sur le marché, on a retenu pour cet exercice la technologie GPON (réseau optique passif gigabinaire, série de Recommandations UIT-T G.984,1-G.984,6), qui a été largement déployée dans le monde entier.

Les réseaux GPON, conformes à la Recommandation UIT-T G.984.1³⁵, sont caractérisés par des systèmes de terminaison de ligne optique et des terminaisons de réseau optique, avec un réseau de distribution optique passif formé de séparateurs interconnectant les terminaux de ligne optique et les terminaux de réseau optique.

³⁵ <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>.

Dans notre cas, l'approche la plus simple consistera à modéliser la construction de l'infrastructure de réseau en utilisant la topologie la plus classique pour les réseaux FTTH, la topologie en étoile. Le dimensionnement du réseau pour ce faire suppose donc l'existence d'un bureau central FTTH local dans chaque municipalité, avec les terminaux de ligne optique et les séparateurs installés en fonction du nombre souhaité de "foyers desservis" dans chaque municipalité. La Figure 9 décrit la topologie de réseau proposée.

Figure 9: Topologie de réseau FTTH



Source: UIT.

Sur la base de cette topologie, le prochain défi à relever consiste à estimer le nombre de terminaisons de ligne optique, de répartiteurs, de terminaisons de réseaux optiques et de kilomètres de câbles à fibres optiques dans les couches agrégation³⁶ et accès³⁷ nécessaires pour mettre en œuvre la technologie FTTH et fournir des services à bande ultralarge.

Terminaison de ligne optique (OLT)

Pour le dimensionnement du nombre de terminaisons OLT nécessaires, il est important de tenir compte de la Recommandation UIT-T G.984,1 "Réseaux optiques passifs de l'ordre du gigabit (GPON, gigabit-capable passive optical network): caractéristiques générales", qui désigne le débit de répartition optique maximal de 1:128. Cela signifie qu'un maximum de 128 utilisateurs peuvent être connectés à chaque accès optique d'une terminaison OLT. La décision concernant la capacité de la terminaison OLT (en termes de nombre de ports) est un choix de conception, étant donné qu'en général les terminaisons OLT à 16 ports sont facilement disponibles sur le marché. Compte tenu du taux de répartition optique maximal et de la capacité maximale de la terminaison OLT, il est donc possible de connecter jusqu'à 2048 utilisateurs par terminaison OLT. Ainsi, en général, le nombre de terminaisons OLT devant être installées dans un réseau FTTH peut être calculé comme suit:

$$N_{OLT-p} = \frac{N_{hp}}{K_{OLT} \times S_R}$$

³⁶ La couche agrégation comprend le réseau entre le central local FTTH et les répartiteurs au niveau de la rue.

³⁷ La couche d'accès comprend le réseau entre les répartiteurs au niveau de la rue et les foyers abonnés.

où:

N_{OLT_p} est le nombre de terminaisons OLT à évaluer sur la base du nombre de ports nécessaires

N_{hp} est le nombre de foyers desservis souhaité;

K_{OLT} est le nombre de ports de la terminaison OLT choisie;

S_r est le taux de répartition optique utilisé.

Toutefois, étant donné que la capacité type des flux de trafic globale d'une terminaison OLT est généralement limitée à 10 Gbit/s, plus le nombre de ports (et, par conséquent, le nombre d'utilisateurs connectés à la même terminaison OLT) est élevé, plus la possibilité d'offrir des connexions large bande à haut débit est faible.

Par exemple, une terminaison OLT avec un nombre maximal d'utilisateurs connectés, une capacité de trafic cumulée de 10 Gbit/s et un facteur type de partage de réseau de 5% (1:20) pourraient offrir des débits allant (environ) jusqu'à 100 Mbit/s à l'utilisateur final. Cependant, pour augmenter le débit offert au-delà de cette valeur, il faudrait augmenter le nombre de terminaisons OLT pour répondre à la demande émanant du même nombre d'utilisateurs. L'équation ci-dessous donne la formule permettant de calculer la quantité de terminaisons OLT en fonction de la vitesse de connexion offerte:

$$N_{OLT_s} = \frac{N_{hp} \times Tx_u \times F_s}{C_{OLT}}$$

où:

N_{OLT_s} est le nombre de terminaisons OLT à évaluer en fonction de la vitesse de connexion à proposer aux abonnés;

N_{hp} est le nombre de foyers desservis souhaité;

Tx_u est le débit de connexion offert à un abonné; FTTH type en Mbit/s;

F_s est le facteur de partage du réseau

C_{OLT} est la capacité de transmission de données d'un OLT en Mbit/s.

Comme précédemment, le facteur de partage de réseau F_s (taux de conflit) dans le calcul est un paramètre normalement pris en compte dans la conception de réseaux à commutation par paquets tels que les réseaux fixes à large bande. Comme nous l'avons souligné ici et dans la Section 6, cet élément intègre l'équation du dimensionnement du réseau, à savoir le fait que les abonnés n'accèdent pas tous simultanément à l'Internet, ce qui améliore l'efficacité en éliminant la surfourniture de capacité. Comme pour les réseaux large bande mobiles abordés précédemment, la valeur type pour les réseaux large bande fixes est de 1:20 ($F_s = 5\%$).

Terminaisons de ligne optique

Compte tenu des deux méthodes de calcul du nombre de terminaisons de ligne optique (OLT) nécessaires dans le réseau FTTH à déployer, la première reposant sur le nombre de ports physiques nécessaires pour connecter tous les foyers desservis et la seconde reposant sur la vitesse à offrir aux abonnés, on obtient le calcul final du nombre de terminaisons OLT en prenant le plus grand nombre issu des deux approches, comme illustré dans l'exemple suivant.

Évaluation de la terminaison de ligne optique

| | |
|--|---|
| $N_{OLT,p} = \frac{N_{hp}}{K_{OLT} \cdot S_R}$ <p>$N_{hp} = 50\,000$ foyers desservis</p> <p>$K_{OLT} = 16$ Ports</p> <p>$S_R = 128$</p> <p style="text-align: center;">$N_{OLT,p} = 25$</p> | $N_{OLT,s} = \frac{N_{hp} \cdot Tx_u \cdot F_S}{C_{OLT}}$ <p>$N_{hp} = 50\,000$ foyers desservis</p> <p>$Tx_u = 80$ Mbit/s</p> <p>$F_S = 5\%$</p> <p>$C_{OLT} = 10,000$ Mbit/s</p> <p style="text-align: center;">$N_{OLT,s} = 20$</p> |
| <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 5px 15px;"> $N_{OLT} = \max(N_{OLT,p}; N_{OLT,s}) = 25$ </div> | |

Source: UIT.

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

Répartiteurs

Le dimensionnement de la quantité de répartiteurs à installer dans chaque municipalité pour couvrir le nombre souhaité de foyers desservis relève en grande partie de la conception et dépend des caractéristiques de la zone urbaine à desservir et de la demande attendue des utilisateurs. Compte tenu de la nécessité de connecter jusqu'à 128 utilisateurs par port d'une terminaison OLT type, on peut choisir plusieurs configurations de répartiteur, par exemple 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, etc. Si l'on considère le déploiement d'une seule couche de répartiteurs 1:16, il faudrait prévoir huit répartiteurs pour connecter chaque accès OLT à 128 utilisateurs. En général, la formule permettant de calculer le nombre de répartiteurs nécessaires dans un réseau ne comportant qu'une seule couche de répartiteurs est la suivante:

$$N_{splitter} = \frac{N_{hp}}{K_{splitter}}$$

où:

$N_{splitter}$ est le nombre de répartiteurs requis à travers le réseau;

N_{hp} est le nombre de foyers desservis souhaité;

$K_{splitter}$ est le nombre d'accès disponibles selon le type de répartiteur choisi, c'est-à-dire le nombre maximal d'utilisateurs par répartiteur.

Calcul de la fibre optique (couche répartiteur)

L'exemple suivant illustre l'estimation du nombre de répartiteurs nécessaires dans un déploiement FTTH donné.

Estimation des répartiteurs

$$N_{splitter} = \frac{N_{hp}}{K_{splitter}}$$

$N_{hp} = 50\,000$ foyers desservis

$K_{splitter} = 16$ ports

$N_{splitter} = 3,125$ répartiteurs

Source: UIT.

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

Modélisation mathématique du dimensionnement des câbles à fibres optiques

Une fois calculé le nombre de répartiteurs et de terminaisons OLT nécessaires pour atteindre le nombre souhaité de foyers desservis, l'étape suivante de la modélisation de l'investissement nécessaire est le calcul du nombre de kilomètres de fibre optique nécessaires pour interconnecter tous les éléments de la hiérarchie en étoile au central FTTH. Après avoir évalué les méthodes les plus utilisées pour évaluer le kilomètre de fibres optiques nécessaire à la mise en place de réseaux FTTH, deux approches - spatiale et géométrique - se démarquent.

La **méthode spatiale** repose sur l'existence de données géospatiales pour la zone urbaine à desservir et sur des informations relatives au profil de distribution des ménages, des réseaux routiers, à la géolocalisation des éléments de télécommunication existants, etc. Sur la base de ces informations détaillées, la position géographique du central FTTH local, des répartiteurs et des terminaisons OLT est définie de façon optimale pour tenir compte du nombre souhaité de foyers desservis tout en minimisant le nombre de kilomètres de câble nécessaires pour interconnecter l'équipement requis. Bien que précis, l'inconvénient de ce modèle réside précisément dans la nécessité de disposer d'informations géospatiales complètes qui, dans la plupart des cas, ne sont simplement pas disponibles.

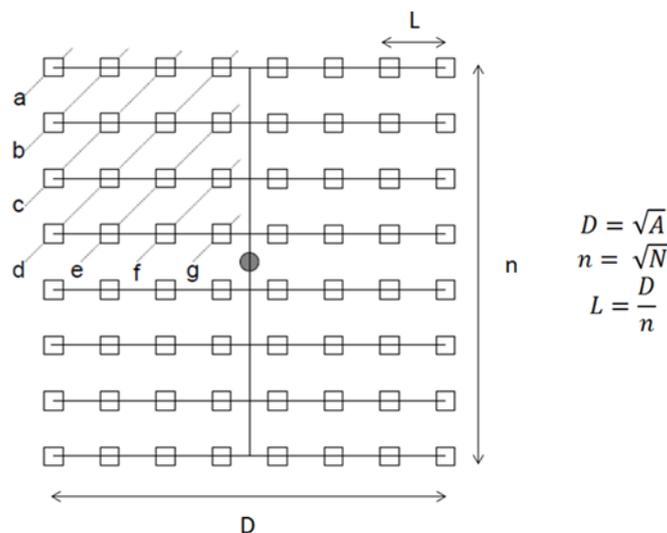
Par ailleurs, l'approche géométrique utilise des modèles mathématiques pour calculer la quantité de fibre optique nécessaire en fonction des simplifications des conditions géospatiales, des reliefs géographiques, des réseaux routiers et de la répartition au domicile. Bien que moins précise que la méthode spatiale, elle peut fournir une bonne estimation de la quantité de fibre optique nécessaire, même en l'absence d'informations géospatiales, et représenter un moyen rapide et suffisamment précis de dimensionnement du réseau.

Les modèles géométriques ou géographiques d'estimation d'un déploiement FTTH (*Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment*)³⁸ permettent d'effectuer une analyse comparative d'un modèle de calcul spatial et de deux modèles de calcul géométriques, le modèle triangulaire (TM) et le modèle simplifié de longueur de rue (SSL). Le résultat de cette analyse comparative montre que le modèle géométrique SSL donne des résultats plus précis que le modèle triangulaire, mais qu'il est néanmoins beaucoup moins précis que le modèle spatial. De plus, il est suggéré que les principales sources d'inexactitude entre les modèles géométriques et le modèle spatial sont essentiellement dues à des imperfections non prises en compte dans le relief géographique et la répartition des maisons dans l'espace. Des facteurs de correction à appliquer aux résultats du modèle géométrique sont proposés afin d'améliorer la précision.

Cela étant, dans les cas où l'absence de données géospatiales pour les municipalités à desservir empêche d'utiliser le modèle spatial, il est suggéré d'utiliser le modèle géométrique SSL corrigé décrit dans le document cité pour calculer la quantité de câble à fibres optiques nécessaire pour interconnecter les divers éléments du réseau optique.

Le modèle SSL repose sur le principe de base d'une distribution uniforme des éléments à connecter par fibre optique dans une zone de forme carrée où l'élément de couche supérieure, auquel tous les autres éléments sont interconnectés, est situé au centre de ce carré, comme le montre le schéma de la Figure 10.

Figure 10: Modèle géométrique SSL



Source: UIT.

³⁸ Un document universitaire publié par l'IEEE en 2013: <https://biblio.ugent.be/publication/4402261>.

où:

A est le carré de l'aire en km²;

D est la longueur, en kilomètres, d'un côté du carré;

L est la distance en kilomètres entre chaque élément;

N est le nombre d'éléments compris dans le carré;

n est le nombre d'éléments placés d'un côté du carré.

Dans ce scénario, compte tenu de la restriction commune à la pose de fibres optiques le long des rues et des trajets existants (arrondi au modèle SSL en lignes horizontales et verticales), la difficulté réside dans le calcul de la distance entre chaque élément et le centre du carré, distance qui dépend intrinsèquement de la distance entre les éléments uniformément répartis et de la quantité de ces éléments dans le carré. En outre, l'existence d'au moins deux éléments empilés à la même position est un autre élément à prendre en compte dans le calcul. Cet effet est pris en compte par la variable K, qui est le nombre moyen d'éléments occupant la même position dans le carré en question.

Un point important à observer dans cette représentation géométrique est que, si l'on divise le carré en question en quatre quadrants de même taille et si l'on classe les éléments appartenant à la même diagonale d'un quadrant, tous les éléments de la même catégorie seront éloignés du centre du carré d'origine. Par exemple, si l'on classe les éléments en catégories de a à g, comme dans la Figure 10 ci-dessus, la distance de chaque élément au centre du carré sera a = (n-1) .L; b = (n-2) .L; c = (n-3) .L; ...; g = L.

Ainsi, en multipliant la distance d'un élément type de chaque catégorie par le nombre d'éléments de cette catégorie, on obtient la distance totale de tous les éléments de chaque catégorie jusqu'au centre du carré le plus grand. En ajoutant les distances totales de toutes les catégories, on obtient la distance totale ajoutée de tous les éléments d'un quadrant au centre du carré le plus grand. À partir de là, pour calculer la distance totale de tous les éléments contenus dans le carré, il suffit de multiplier par quatre la distance ajoutée à un quadrant (étant donné qu'il y a quatre quadrants) et, enfin, de multiplier cette valeur par le facteur K, puisque chaque élément doit avoir une fibre optique interconnectée au centre du carré, même s'il est empilé sur un autre élément.

La formule ci-dessous résume le calcul de la quantité de fibre optique (L_{fo}) nécessaire pour interconnecter tous les éléments au centre du carré.

$$L_{fo} = 4xKxLx \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) x (n-i)]$$

L'étape suivante consiste ici à définir les valeurs des variables K, L et n pour chaque municipalité et pour chaque couche réseau, valeurs qui seront abordées sous peu.

Calcul de la fibre optique

Pour calculer le nombre de kilomètres de fibre optique au moyen du modèle géométrique SSL, il est nécessaire de définir les éléments de réseau et les valeurs des variables de modèle A, D, L, N, n et K. Étant donné qu'il existe un central FTTH local, des terminaisons OLT, des répartiteurs

et des résidences qui seront reliées par fibre dans chaque municipalité, nous devons effectuer ce calcul par une série d'étapes.

Dans un premier temps, la quantité de fibre optique requise est calculée pour connecter les terminaisons OLT de chaque municipalité au central FTTH local. Pour cette étape, la valeur de la zone urbaine à couvrir est attribuée à la variable A et le nombre de terminaisons OLT à installer est attribué à la variable N . À partir de ces deux variables, on calcule les valeurs de n , D et L et en considérant $K = 1$ (distribution uniforme des terminaisons OLT dans toute la zone urbaine couverte), il est possible d'estimer la quantité de fibre optique nécessaire pour interconnecter toutes les terminaisons OLT au central FTTH local au moyen de la formule du modèle géométrique SSL.

Une fois que le nombre de kilomètres de câble à fibres optiques nécessaires pour connecter les terminaisons OLT au central FTTH local de chaque municipalité a été calculé au moyen du modèle SSL, le résultat est ensuite divisé par le facteur de correction de 55,5% mentionné ci-dessus pour compenser toute sous-estimation résultant du modèle géométrique SSL.

Dans la deuxième étape, on calcule le nombre de kilomètres de fibre optique requis pour connecter les premiers répartiteurs de couche aux terminaisons OLT. À cet effet, le calcul est effectué pour chaque terminaison OLT et ses répartiteurs, puis le résultat est multiplié par la quantité de terminaisons OLT à installer.

Dans cette deuxième étape, la valeur de la même zone urbaine prise en compte lors de la première étape est attribuée à la variable A , mais divisée par le nombre de terminaisons OLT afin de s'appliquer à la zone urbaine correspondant à une seule terminaison OLT. Le nombre de répartiteurs par terminaison OLT à installer est affecté à la variable N . À partir de ces deux variables, on calcule les valeurs de n , D et L , ainsi que $K = 1$ (distribution uniforme des répartiteurs dans la zone urbaine d'une terminaison OLT), la quantité de fibre optique nécessaire pour interconnecter tous les répartiteurs à la terminaison OLT correspondante est estimée en appliquant l'équation du modèle SSL et le même facteur de correction de 55,5% à son résultat. Si plusieurs couches de répartiteurs sont prévues entre les terminaisons OLT et les abonnés, le même calcul est répété pour les autres couches de répartiteurs modélisés.

Enfin, il faut calculer le nombre de kilomètres de fibre optique nécessaires pour connecter les abonnés aux répartiteurs dans chaque municipalité. À cette fin, le calcul est effectué pour un seul répartiteur et ses abonnés respectifs, puis les résultats sont multipliés par le nombre de répartiteurs à installer.

La valeur de la même zone urbaine prise en compte pendant la première étape, mais divisée par le nombre de répartiteurs à installer, est attribuée à la variable A . Le nombre de foyers desservis par répartiteur est affecté à la variable N . À partir de ces deux variables, on peut calculer les valeurs de n , D et L et en considérant $K = 1$ (distribution uniforme³⁹ des résidences couvertes par chaque répartiteur) la quantité de fibre optique nécessaire pour relier tous les foyers contournés à leur répartiteur respectif en appliquant l'équation du modèle SSL et en divisant son résultat par un facteur de correction, ce qui correspond à 67%⁴⁰, dans toute la

³⁹ Cette simplification est utilisée en raison de l'indisponibilité habituelle des informations sur le niveau de verticalisation à domicile.

⁴⁰ Pourcentage moyen de sous-estimations dans la couche d'accès dans les zones denses; voir "Modèles géométriques ou géographiques pour l'estimation d'un déploiement FTTH", Volume 54, Systèmes de télécommunication, page 21.

zone urbaine couverte par chaque répartiteur, afin de corriger la sous-estimation résultant de l'utilisation du modèle géométrique simplifié.

Jusqu'à présent, tout va bien. Toutefois, tous les foyers desservis disponibles ne seront pas connectés. Le nombre de foyers connectés doit donc varier entre 0 et le nombre de foyers desservis disponibles, seuls les foyers connectés étant pris en compte dans le calcul de la fibre optique. Pour tenir compte de ce fait, étant donné qu'on ne sait pas quel foyer desservi deviendra par la suite un foyer connecté (par exemple, les foyers les plus proches ou les plus éloignés du répartiteur), une bonne approximation consisterait à calculer le nombre moyen de kilomètres de fibre optique pour relier un foyer à son répartiteur respectif dans chaque municipalité, et à multiplier cette valeur par le nombre total de nouveaux foyers connectés sur une année estimée. Ce calcul permettra de déterminer la quantité totale de câbles à fibres optiques nécessaires pour connecter chaque année toutes les foyers connectés dans chaque municipalité.

Un point important à prendre en considération pour calculer le nombre total de foyers connectés est l'effet de *désabonnement* sur le parc d'abonnés. Le désabonnement est la mesure du remplacement du parc d'abonnés d'un opérateur; dans la pratique, le taux de désabonnement représente le pourcentage de clients qui résilient leur abonnement à un service particulier sur une période donnée.

De ce fait, le nombre de nouvelles installations effectuées chaque année est supérieur au changement net dans le parc d'abonnés d'un opérateur. En d'autres termes, si un opérateur donné compte un parc de 1 000 abonnés et que ce parc passe à 1 100 pour l'année suivante, l'effet de désabonnement signifie que le nombre de nouveaux services contractés pendant cette période est supérieur à 100. L'explication est simple: si le taux de désabonnement a été mesuré à 5% au cours de cette année, sur les 1 000 abonnés initiaux, 50 auront annulé leur contrat et 150 nouveaux abonnés auront souscrit un contrat pour porter le nombre total d'abonnés à 1 100.

Cet effet du renouvellement progressif du parc d'abonnés a des conséquences considérables sur la dépense d'équipement d'un projet de réseau FTTH. Il faut tenir compte de la nécessité d'installer chaque année le changement net de la demande auquel s'ajoute le pourcentage de *désabonnement* multiplié par le nombre total d'abonnés à la fin de l'année précédente. Il est donc nécessaire de disposer d'un plus grand nombre de packs de câbles à fibres optiques et d'équipement des locaux d'abonné, y compris le routeur d'utilisateur final (CPE) et le terminal de réseau optique (ONT) à installer chez l'abonné. Bien entendu, la plupart des équipements CPE et des terminaisons ONT précédemment installés chez les abonnés qui ont annulé leur contrat peuvent et devraient, si possible, être réutilisés chez de nouveaux abonnés – le pourcentage de réutilisation dépendant des questions de stockage logistique et de transport.

Les formules permettant de calculer le nombre de kilomètres de câble à fibres optiques nécessaires pour connecter les foyers à leurs répartiteurs respectifs, ainsi que pour calculer le nombre de packs CPE nécessaires, sont présentées ci-après:

$$Fiber_HC_{total_t} = Fiber_HC_{avg} \cdot [N_{hct} - N_{hct-1} \cdot (1 - churn)]$$

$$N_{Pct_CPE_t} = N_{hct} - N_{hct-1} [1 - churn \cdot (1 - F_r)]$$

où:

$Fiber_HC_{total_t}$ est la fibre optique totale (en km) à installer au cours d'une année t pour connecter les foyers à leurs répartiteurs respectifs;

$Fiber_HC_{avg}$ est la moyenne totale de la fibre optique (en km) nécessaire pour connecter un foyer desservi à son répartiteur respectif;

N_{hct} est le nombre d'abonnés (foyers connectés) au cours d'une année t ;

N_{hct-1} est le nombre d'abonnés (foyers connectés) au cours d'une année $t-1$;

$churn$ le *désabonnement* est le pourcentage d'abonnés présents pendant l'année $t-1$ qui ont quitté le parc d'abonnés pendant l'année t ;

$N_{Pct_CPE_t}$ est le nombre de packs CPE à installer au cours d'une année t donnée;

F_r est le pourcentage de réutilisations de terminaisons ONT retirées du domicile des abonnés qui ont annulé leur abonnement pendant l'année t .

Il est à noter que le désabonnement et les taux de réutilisation des équipements CPE et les terminaisons ONT peuvent varier considérablement d'un pays à l'autre, de sorte qu'il est vivement conseillé aux régulateurs d'obtenir des chiffres précis auprès des opérateurs locaux. Toutefois, lorsqu'il s'avère impossible d'obtenir de telles informations, un taux de désabonnement de 5% par an et un facteur de réutilisation de 80% sont généralement considérés comme raisonnables pour le dimensionnement du réseau.

Calcul de la fibre optique (foyers desservis)

Première phase:

| Calcul des fibres optiques – Couche OLT | | |
|---|----------------------------------|--|
| $A = 100 \text{ km}^2$ | $K = 1$ | $L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$ |
| $N = 25 \text{ OLTs}$ | $n = \sqrt{N} = 5$ | $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \sum_{i=1}^4 [\min(i, 5-i) \cdot (5-i)]$ |
| $D = \sqrt{A} = 10 \text{ km}$ | $L = \frac{D}{n} = 2 \text{ km}$ | $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot [(1 \cdot 4) + (2 \cdot 3) + (2 \cdot 3) + (1 \cdot 1)]$ |
| | | $L_{fo} = 136 \text{ km}$ |
| | | $L_{fo_corrige} = \frac{136}{0.555} \cong 245 \text{ km}$ |

Deuxième phase pour une couche de répartiteurs:

| Calcul des fibres optiques - Couche répartiteurs | | |
|---|---|--|
| $A = \frac{100 \text{ km}^2}{25 \text{ OLTs}} = 4 \text{ km}^2/\text{OLT}$ | | $L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$ |
| $N = \frac{3,125 \text{ Répartiteurs}}{25 \text{ OLTs}} = 125 \text{ Répartiteurs/OLT}$ | | $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0.18 \cdot \sum_{i=1}^{10} [\min(i, 11-i) \cdot (11-i)]$ |
| $n = \sqrt{N} \cong 11$ | $K = 1$ | L_{fo} |
| $D = \sqrt{A} = 2 \text{ km}$ | $L = \frac{D}{n} \cong 0.18 \text{ km}$ | $= 4 \cdot 1 \cdot 0.18 \cdot [10 + 18 + 24 + 28 + 30 + 25]$ |
| | | $L_{fo} = 118.8 \text{ km par terminaison OLT}$ |
| | | $L_{fo_corrige} = \frac{118.8}{0.555} \cong 214 \text{ km par terminaison OLT}$ |

Calcul du nombre total de fibres optiques (en kilomètres) à installer au cours d'une année donnée $t = 1$ pour raccorder les foyers connectés à leurs répartiteurs respectifs ainsi que le nombre total de packs d'équipement CPE à installer au cours de la même année dans une ville donnée.

Calcul des fibres optiques - Couche de foyer desservi (HP)

| | |
|---|--|
| $A = \frac{4 \text{ km}^2 / \text{OLT}}{125 \text{ Répartiteurs} / \text{OLT}} = 0,032 \text{ km}^2 / \text{répartiteurs}$ $N = \frac{50,000 \text{ HP}}{3 \cdot 125 \text{ répartiteurs}} = 16 \text{ HP} / \text{répartiteurs}$ $n = \sqrt{N} \cong 4 \qquad K = 1$ $D = \sqrt{A} \cong 0.18 \text{ km} \qquad L = \frac{D}{n} \cong 0.045 \text{ km}$ | $L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0.045 \cdot \sum_{i=1}^3 [\min(i, 4-i) \cdot (4-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0.045 \cdot [(1 \cdot 3) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 1)]$ $L_{fo} = 1.44 \text{ km par répartiteurs}$ |
| $L_{fo, \text{corrigé}} = \frac{1.44}{0.67} \cong 2.15 \text{ km par répartiteurs}$ $\text{Fiber_HC}_{\text{avg}} = \frac{2.15 \text{ km} / \text{répartiteurs}}{16 \text{ HP} / \text{répartiteurs}} = 0.135 \text{ km/HP}$ | |
| <p>Étant donné :</p> $N_{hc_1} = 10,000 \quad N_{hc_0} = 1,000 \quad \text{désabonnement} = 5\% \quad F_r = 80\%$ <p>et :</p> $\text{Fiber_HC}_{\text{total}, t} = \text{Fiber_HC}_{\text{avg}} \cdot [N_{hc_t} - N_{hc_{t-1}} \cdot (1 - \text{churn})]$ $N_{\text{Pct_CPE}, t} = N_{hc_t} - N_{hc_{t-1}} \cdot [1 - \text{churn} \cdot (1 - F_r)]$ | |
| <p>Nous obtenons :</p> $\text{Fiber_HC}_{\text{total}, 1} = 0.135 \cdot (10,000 - 1,000 \cdot (1 - 0.05)) = 0.135 \cdot 9,050 \cong 1,222 \text{ km}$ $N_{\text{Pct_CPE}, 1} = 10,000 - 1,000 \cdot [1 - 0.05 \cdot (1 - 0.8)] = 10,000 - 990 = 9,010 \text{ Pct_CPE}$ | |

Source: UIT.

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

Coûts unitaires du réseau FTTH

Le modèle de réseau FTTH présenté à ce jour comprend des bureaux centraux FTTH locaux qui acheminent le trafic local vers le réseau dorsal de l'opérateur, les terminaux OLT, les répartiteurs et, enfin, les câbles à fibres optiques et les packs d'équipement CPE. Il convient de noter que des câbles à fibres optiques de plus faible capacité (moins coûteux) peuvent être utilisés pour raccorder les répartiteurs et les foyers connectés, tandis qu'une fibre optique de plus grande capacité (plus coûteuse) peut être réservée aux répartiteurs d'interconnexion, aux terminaisons OLT et au central FTTH local.

Comme auparavant, les coûts unitaires de chacun de ces éléments de réseau peuvent être obtenus auprès des opérateurs et des fournisseurs de réseaux locaux.

Résultats de l'estimation des dépenses d'équipement

Une fois calculé le nombre de bureaux centraux FTTH locaux, de terminaux OLT, de répartiteurs, de packs CPE et de kilomètres de fibre optique nécessaires au déploiement du réseau FTTH dans chacune des municipalités, ainsi que les coûts unitaires de cet équipement, on peut obtenir le total des investissements (dépenses d'équipement) requis chaque année.⁴¹

⁴¹ Il n'a pas été tenu compte des dépenses d'équipement nécessaires pour acheminer le trafic de données des municipalités (en amont du centre FTTH du commutateur local) dans l'hypothèse d'un réseau dorsal national préexistant interconnectant toutes les municipalités à inclure dans le projet FTTH.

Il est important de souligner à ce stade que l'incidence de l'estimation des investissements sur le flux de trésorerie de l'exploitation modélisée dépendra des conditions définies pour l'installation de l'infrastructure – en général les premières années d'exploitation. Pour les années suivantes, il n'y aura que des dépenses d'équipement liées à la pose des câbles à fibres optiques nécessaires pour interconnecter les nouveaux abonnés aux répartiteurs et au coût d'acquisition et de distribution de l'ensemble des équipements privés d'abonnés – besoins d'infrastructure qui varieront en fonction de l'évolution de la demande des abonnés FTTH au fil des années.

4.4 Réseaux de transport

Du fait de la demande croissante de réseaux d'accès à très large bande, de nombreux pays souffrent d'une infrastructure de réseau de transport insuffisante capable d'acheminer tout le trafic de données entrant ou sortant entre les municipalités ou les régions et le réseau dorsal de l'opérateur.

Les décideurs sont aujourd'hui souvent confrontés au défi de stimuler le déploiement de réseaux de transport optiques grâce à l'adoption de politiques publiques offrant des conditions favorables susceptibles d'attirer les investissements privés pour réduire l'écart en matière d'infrastructure. Dans ce contexte, une estimation des dépenses d'équipement pour le déploiement des réseaux de transport à fibres optiques est souvent utile pour élaborer ou évaluer des projets de déploiement des infrastructures économiquement viables.

Afin de simplifier l'estimation du projet et des dépenses d'équipement, un réseau de transport à fibres optiques peut être considéré, aux fins de cet exercice, comme un ensemble de liaisons à fibres optiques avec des émetteurs et des amplificateurs de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) à leurs extrémités, connectés par des câbles à fibres optiques enterrés, certains répéteurs à fibres optiques étant placés le long des câbles. En outre, des éléments de réseau tels que des multiplexeurs optiques reconfigurables à multiplexage en longueur d'onde (DWDM ROADM) et des répartiteurs optiques (ODF) sont nécessaires pour intégrer le trafic de données dans le réseau de base national.

Le nombre d'éléments de réseau nécessaires et leur capacité requise dépendent grandement du débit minimal requis (demande de trafic agrégé au niveau régional ou municipal) et de la distance entre la municipalité ou la région et l'abandon du réseau dorsal de l'opérateur le plus proche. Lorsque ces deux éléments d'information essentiels sont connus pour toutes les liaisons de transport nécessaires, on peut estimer la dépense d'équipement totale.

Dans le cas des équipements de réseau d'extrémité, plus précisément des émetteurs, le nombre d'éléments nécessaires dépend de la demande de chaque municipalité. Autrement dit, on étudie l'utilisation d'équipements ayant une capacité de transmission de données spécifique (Mbit/s) et, en fonction de la demande de données, on évalue la quantité nécessaire d'équipements.

Toutefois, les équipements du réseau dorsal représentent les ajustements possibles du réseau nécessaires pour répondre à la demande d'une municipalité particulière. En effet, le raccordement d'une nouvelle municipalité au réseau dorsal peut nécessiter un élargissement de la capacité de certains éléments de réseau. Dans ce cas, pour chaque municipalité, il est nécessaire d'améliorer la quantification des éléments du réseau dorsal.

Le dernier groupe d'éléments de réseau est lié à la longueur totale du réseau. Dans un réseau à fibres optiques, la quantité de fibres optiques et le nombre de conduits et de tranchées nécessaires dépendent directement de la longueur du réseau, des répéteurs étant insérés à des distances données, selon leur portée. La portée des répéteurs à fibres optiques dépend du fournisseur du réseau et devrait également évoluer dans le temps; toutefois, en règle générale, l'inclusion de répéteurs tous les 70 km est relativement courante pour la conception des réseaux de transport à fibres optiques.

Pour calculer le coût de cet ensemble d'éléments de réseau, il faut définir la longueur de chaque liaison de réseau à construire. Pour ce faire, on peut utiliser, à titre de référence, la route ayant la plus faible entre la municipalité à connecter et le réseau dorsal national à fibres optiques, étant donné que la pose de fibres optiques le long des autoroutes intermunicipales et des routes permet généralement de réduire les coûts et les délais de déploiement.

À noter que cette stratégie de calcul est fondée sur le déploiement du réseau dans une topologie en étoile (connexion point à point sans optimisation). Toutefois, étant donné que plusieurs municipalités peuvent être connectées au même point du réseau dorsal national, il convient d'évaluer la possibilité d'implémenter certaines parties du réseau dans une topologie en anneau, dans laquelle les municipalités sont connectées les unes aux autres et ont un point commun de flux de trafic vers le réseau dorsal national. Cette méthode hybride réduit sensiblement le nombre de kilomètres de fibre optique nécessaires, mais impose aux régulateurs de définir d'abord la topologie physique du réseau à déployer.

Enfin, après calcul du volume des équipements et des câbles à fibres optiques nécessaires, le résultat est multiplié par le coût unitaire de ces équipements, obtenu de préférence directement auprès des fabricants et des fournisseurs qui opèrent déjà dans le pays concerné. Le résultat final de tous ces calculs donne l'estimation totale des dépenses d'équipement du projet.

5 Estimation des dépenses d'exploitation (OPEX) pour la fourniture de services large bande

Cette section traite de l'estimation des coûts et des dépenses courantes (opex) d'un projet de large bande afin d'estimer avec précision les flux de trésorerie pour l'élaboration du plan d'affaires. Nous envisagerons trois approches principales pour estimer les OPEX:

- en utilisant des modèles de coûts;
- en utilisant les charges et les dépenses passées;
- en utilisant des critères de référence.

Pour les décideurs, la décision à adopter dépendra de la disponibilité des données.

5.1 Utilisation de modèles de coûts pour évaluer les dépenses d'exploitation

La projection de la valeur des charges dans le calcul de la VAN du projet peut être déduite des informations extraites du modèle de coûts dans les cas où les organismes de régulation des télécommunications ont pour obligation réglementaire la séparation comptable et la présentation des modèles de coûts en vue de réglementer les tarifs de gros.

Bien que ces obligations réglementaires soient liées à l'estimation des coûts des produits de gros, les données associées à la comptabilité analytique fournissent des éléments précieux qui peuvent être utilisés pour estimer les dépenses d'exploitation des projets large bande.

Une méthode intéressante consiste à utiliser des données sur les coûts intégralement répartis (FAC), méthode descendante⁴² permettant d'estimer les coûts opérationnels liés à la fourniture de services large bande. Dans cette approche, le coût total d'un service offert par l'opérateur comprend tous les coûts comptables supportés par l'entreprise pour fournir ce service - y compris les frais de constitution. Le coût total d'un produit peut donc être représenté par les équations suivantes:

$$\text{Coût total du produit (TC)} = \text{charges} + \text{coût du capital}$$

$$\text{Coût du capital (CC)} = \text{capital utilisé dans le produit} \times \text{WACC}$$

où:

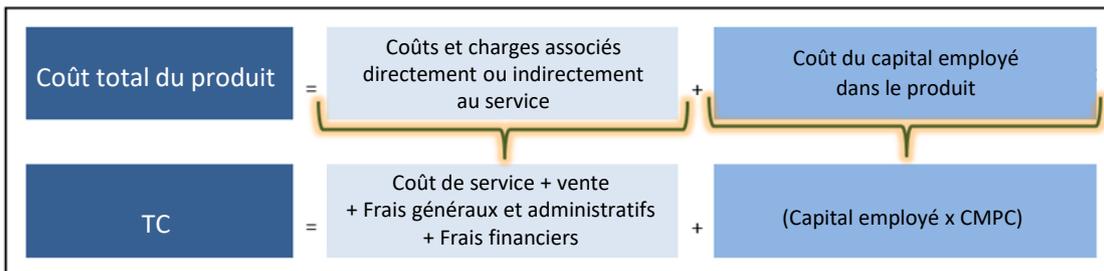
On entend par *charges* la somme des coûts des services, des ventes, des charges générales et administratives et des charges financières associées directement ou indirectement à la production du produit;

Le *coût du capital* (CC) est la rémunération hypothétique que le fournisseur devrait obtenir pour le maintien du capital investi dans ses actifs;

et WACC est le coût moyen pondéré du capital.

⁴² Dans une telle approche, le calcul commence par les informations comptables réelles des opérateurs et est attribué à chaque service d'une manière spécifique.

Figure 11: Composition totale des coûts



Source: UIT

Il convient également de noter que divers services de télécommunication offerts par les opérateurs eux-mêmes utilisent d'autres services produits en interne, de sorte que le coût total du produit doit couvrir les dépenses liées à ces transferts internes, le cas échéant.

Les transferts internes peuvent être évalués de deux manières:

- i) si le produit est commercialisé à l'extérieur, le prix de transfert interne doit être le même que celui facturé aux autres fournisseurs de services de télécommunication;
- ii) s'il n'y a pas de commercialisation externe, le prix de transfert interne est fondé sur le coût total du produit, calculé à l'aide de l'équation (Figure 12) sur le coût total du produit (TC).

Sur la base des informations fournies par les fournisseurs dans leurs dispositions relatives à la séparation comptable et de la méthode élaborée par l'organisme de réglementation selon le modèle des coûts descendant, on peut déterminer la composition du coût total de chacun des services offerts.

La projection des dépenses d'exploitation nécessaire pour calculer la VAN du projet de large bande peut être fondée sur le quotient de la somme des dépenses encourues pour la fourniture d'un ensemble de services offerts par un fournisseur ou un groupe de fournisseurs, et de la somme des recettes nettes d'exploitation de ce même ensemble de services.

Figure 12: Rapport charges/recettes nettes



Source: UIT

Le rapport entre les coûts totaux et les charges/recettes nettes qui en résulte devrait être appliqué aux produits estimés chaque année dans le plan d'affaires et aboutir à l'estimation d'une partie des dépenses d'exploitation.

Lorsqu'on analyse le groupe d'attribution de dépenses qui comprend la catégorie des "coûts des services", il est possible de les classer (en fonction de leurs caractéristiques) en deux sous-catégories distinctes: a) coûts d'exploitation et de maintenance; et b) une compensation versée à d'autres prêteurs (par exemple, interconnexion, location de réseaux et autres dépenses).

À ce stade, il ne reste qu'à estimer la part des dépenses liées aux coûts d'exploitation et de maintenance (dépenses d'exploitation, exploitation et maintenance) qui a été exclue des calculs des coûts de service, car ils dépendent intrinsèquement des dépenses d'équipement du projet. Pour estimer cette part des dépenses d'exploitation, on peut utiliser les informations annuelles sur les dépenses d'exploitation pour chacun des éléments de réseau nécessaires à la construction du réseau.

Tableau 3: Coûts d'exploitation et d'entretien

| Éléments du réseau | CAPEX | OPEX |
|--------------------|-------|-----------------------------------|
| Élément 1 | X | % de X |
| Élément 2 | Z | % de Z |
| Élément 3 | Y | % de Y |
| | | Exploitation et maintenance (OAM) |

Étant donné que le calcul des coûts d'exploitation et de maintenance est strictement lié aux dépenses d'équipement qui seront mises en œuvre, les coûts liés à cette sous-catégorie de dépenses peuvent être calculés au moyen d'un pourcentage de la méthode de projection des dépenses d'équipement, au lieu d'utiliser les moyennes obtenues à partir des données historiques du fournisseur de service.

Tableau 4: Estimation de l'OPEX total au moyen d'un modèle de coûts

| | 1 ^{ère} année | 2 ^{ème} année | 3 ^{ème} année | 4 ^{ème} année | ... |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|
| Recettes nettes | X | Z | Y | W | ... |
| Rapport charges/ recettes | r% | r% | r% | r% | r% |
| OPEX 1 | X . r% | Z . r% | Y . r% | X . r% | ... |
| Exploitation et maintenance (OAM) | Dépenses OAM | Dépenses OAM | Dépenses OAM | Dépenses OAM | |
| OPEX totales | (X . r%) + Dépenses OAM | (Z . r%) + Dépenses OAM | (Y . r%) + Dépenses OAM | (Y . r%) + Dépenses OAM | |

Utilisation de modèles de coûts pour évaluer les dépenses d'exploitation

Scénario: un opérateur mobile qui va lancer un projet de réseau large bande hertzien 4G LTE. Afin d'estimer les dépenses d'exploitation du nouveau projet, l'une des approches possibles consiste à utiliser des modèles de coûts déjà élaborés/appliqués par le régulateur pour d'autres services mobiles.

| Modèles de coûts | | | | | | | |
|---|--------------------|--|----------------------------|---------------------|--------|---------------|---------------|
| COÛTS ET RECETTES TOTAUX DES PRODUITS LIÉS AUX SERVICES MOBILES | | | | | | | |
| Produits d'exploitation | | | | | | | 255 432 605 |
| Coûts et charges + coût du capital employé | | | | | | | 127 568 537 |
| Coût des services | | | | | | | 43 845 976 |
| Dépenses commerciales | | | | | | | 51 119 948 |
| Dépenses générales et d'administration | | | | | | | 32 602,613 |
| Rapport (charges/recettes) | | | | | | | 0,50 |
| | TOTAL DES PRODUITS | | Rapport (charges/recettes) | OPEX 1 | VOLUME | OPEX 2 TOTAL | OPEX totales |
| Y01 | \$ 3 774 600 | | 0,50 | \$ 1 885 116 | 100 | \$ 2 249 750 | \$ 4 134,866 |
| Y02 | \$ 14 098 752 | | 0,50 | \$ 7 041 220 | 200 | \$ 4 499 500 | \$ 11 540 720 |
| Y03 | \$ 32 616 176 | | 0,50 | \$ 16 289 220 | 300 | \$ 6 749 250 | \$ 23 038 470 |
| Y04 | \$ 53 052 192 | | 0,50 | \$ 26 495 406 | 400 | \$ 8 999 000 | \$ 35 494 406 |
| Y05 | \$ 81 791 516 | | 0,50 | \$ 40 848 442 | 500 | \$ 11 248 750 | \$ 52 097 192 |
| Éléments du réseau | CAPEX | | % OPEX | OPEX 2 UNITÉ | | | |
| Élément 1 | \$ 23 750 | | 11% | \$ 2 613 | | | |
| Élément 2 | \$ 222 500 | | 7% | \$ 15 575 | | | |
| Élément 3 | \$ 142 500 | | 3% | \$ 4 275 | | | |
| Élément 4 | \$ 3 500 | | 1% | \$ 35 | | | |
| Total | | | | \$ 22 498 | | | |

Source: UIT

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

5.2 Utiliser les coûts et les charges passés pour estimer les dépenses d'exploitation

En l'absence d'un modèle de coûts suffisamment abouti pour estimer les dépenses d'exploitation du produit qui sera lancé, une autre solution pourrait consister à utiliser les données comptables des entreprises déjà établies dans le pays qui fournissent un service équivalent (ou très similaire) à celui proposé dans le plan d'affaires.

L'approche recommandée consiste à évaluer une tendance historique concernant le comportement des frais de fonctionnement en fonction du produit net. Une fois que l'on a déterminé une relation stable entre ces deux variables, ce rapport peut être utilisé pour estimer les dépenses d'exploitation.

Figure 13: Rapport charges/recettes nettes historique



Source: UIT

Lorsqu'il n'est pas possible d'identifier une relation stable entre les produits et les charges, la meilleure stratégie consiste à examiner les comptes analytiques et à supprimer les éventuels biais, afin qu'une estimation stable puisse être utilisée pour obtenir les flux de trésorerie.

Après avoir estimé le rapport entre les charges d'exploitation (y compris le coût du service, des ventes, des charges générales et des charges administratives) et les produits nets, il devrait être appliqué au montant total des produits annuels estimé dans la trésorerie. Le résultat donne les dépenses opérationnelles pour chaque année.

Tableau 5: Estimation des dépenses d'exploitation totales à l'aide des coûts et des charges passés

| | 1ère année | 2ème année | 3ème année | 4ème année | ... |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| Recettes nettes | X | Z | Y | W | ... |
| Rapport charges/ recettes | r% | r% | r% | r% | r% |
| OPEX totales | X . r% | Z . r% | Y . r% | X . r% | ... |

Source: UIT

5.3 Utilisation de critères de référence pour évaluer les dépenses d'exploitation

Lorsqu'un service est relativement nouveau et que son exploitation commerciale n'est pas suffisamment avancée dans le pays concerné, cela permettrait d'évaluer les dépenses d'exploitation sur la base de données de bilan réel, l'utilisation de critères de référence offre une solution raisonnable.

Les points de référence pour la modélisation des dépenses totales d'un plan d'affaires peuvent être facilement trouvés dans des ouvrages spécialisés, notamment l'évaluation du comportement d'une entreprise offrant un service innovant (éventuellement non exploité auparavant). L'un des critères de référence les plus répandus concerne la relation entre le CAPEX et l'OPEX grâce au rapport CAPEX/Coût total de possession⁴³ pour les projets impliquant de nouvelles technologies. Il convient de choisir au moins trois références différentes du marché et, parmi celles-ci, une valeur de référence peut être définie en vue de son application dans le plan d'affaires.

Grâce à cette méthode, l'estimation des dépenses d'exploitation totales est faite sur la base d'une relation directe avec les dépenses d'équipement totales, comme le montre la Figure 14.

⁴³ TCO (coût total de possession) = CAPEX + OPEX.

Figure 14: Rapport CAPEX/OPEX



Source: UIT

Toutefois, étant donné que les coûts et les dépenses actuels sont en général fortement liés au nombre d'utilisateurs actifs du réseau, nous suggérons d'estimer l'OPEX annuel en divisant l'OPEX total (estimé en fonction du CAPEX total) par la somme des utilisateurs au cours de chaque année du plan d'affaires, puis en multipliant ce chiffre par le nombre total d'utilisateurs attendus chaque année, ce qui permettrait de faire évoluer l'OPEX chaque année en fonction de la demande des utilisateurs.

Figure 15: OPEX d'unité



Source: UIT

Tableau 6: Estimation des dépenses d'exploitation totales au moyen d'une référence

| | 1ère année | 2ème année | ... | Année n | TOTAL |
|---------------------------------|------------|------------|-------|---------|----------------|
| Demande | X | Z | ... | W | Demande totale |
| Dépenses d'exploitation d'unité | u | u | u | u | U |
| Dépenses d'exploitation | X . u | Z . u | Y . u | W . u | OPEX totales |

Source: UIT

Utilisation des coûts et des charges passés pour estimer les dépenses d'exploitation

Scénario: un opérateur large bande fixe qui lancera un projet FTTH dans un pays avec d'autres opérateurs qui fournissent déjà ce service. Afin d'estimer les dépenses d'exploitation du nouveau projet, l'une des approches possibles consiste à utiliser les bilans des entreprises déjà établies dans le pays qui fournissent un service équivalent (ou très similaire) à celui qui sera lancé.

Cet exemple illustre un bilan d'un opérateur déjà établi. Pour estimer le rapport dépenses/recettes, il est nécessaire d'éliminer les coûts de dépréciation et d'amortissement, étant donné que le rapport sera calculé directement à partir des dépenses d'équipement. Le taux estimatif sera appliqué aux recettes estimées afin d'estimer les dépenses d'exploitation.

| Bilan | Y03 | Y04 | Y05 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| Produits d'exploitation | 297 912 913 | 325 137 496 | 340 544 845 |
| Coûts et charges d'exploitation | 262 441 526 | 286 267 393 | 307 163 411 |
| <i>Coût des services et produits vendus</i> | <i>151 754 644</i> | <i>159 353 526</i> | <i>165 445 249</i> |
| <i>Dépenses générales, commerciales et d'administration</i> | <i>67 120 319</i> | <i>76 033 705</i> | <i>80 211 477</i> |
| <i>Autres charges</i> | <i>1 661 652</i> | <i>1 371 521</i> | <i>8 115 038</i> |
| <i>Dépréciation et amortissement</i> | <i>41 904 912</i> | <i>49 508 640</i> | <i>53 391 647</i> |
| Rapport (charges/recettes) | 0,74 | 0,73 | 0,75 |

| | TOTAL DES PRODUITS | Rapport (charges/recettes) | OPEX totales |
|-----|---------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Y01 | \$ 3 774 600 | 0,74 | \$ 2 785 209 |
| Y02 | \$ 14 098 752 | 0,74 | \$ 10 403 215 |
| Y03 | \$ 32 616 176 | 0,74 | \$ 24 066 887 |
| Y04 | \$ 53 052 192 | 0,74 | \$ 39 146 256 |
| Y05 | \$ 81 791 516 | 0,74 | \$ 60 352 483 |
| Y06 | \$ 110 553 418 | 0,74 | \$ 81 575 373 |
| Y07 | \$ 138 700 777 | 0,74 | \$ 102 344 801 |
| Y08 | \$ 177 186 170 | 0,74 | \$ 130 742 478 |
| Y09 | \$ 225 332 475 | 0,74 | \$ 166 268 767 |
| Y10 | \$ 295 886 060 | 0,74 | \$ 218 328 985 |

Source: UIT

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

6 Estimation du coût moyen pondéré du capital (CMPC)

La détermination du CMPC constitue une étape fondamentale du processus de tarification des télécommunications, et influe grandement sur les modèles de tarification fondée sur les coûts et de tarification du spectre. Si le CMPC est trop bas, il peut décourager de nouveaux investissements et se traduire par des prix inférieurs aux coûts d'exploitation. En revanche, s'il est trop élevé, il peut encourager des surinvestissements et se traduire par des prix trop élevés.

Pour l'essentiel, le CMPC correspond au taux de pourcentage équivalent à la moyenne pondérée des coûts d'opportunité des sources de financement permanent des fournisseurs de services. Les paramètres de ces calculs sont issus d'une formule tirée du modèle d'équilibre des actifs financiers (CAPM) défini comme suit:

$$WACC_J^{After\ Tax} = K_d (1 - \tau) (D|D + E) + K_e^j (E|D + E)$$

où:

K_d est le coût de la dette;

τ est le taux d'imposition;

$(D|D + E)$ est le pourcentage du capital constitué de dette;

K_e^j est le coût des fonds propres;

$(E|D + E)$ est le pourcentage du capital constitué de fonds propres.

Notez qu'il a été constaté dans certains pays que l'endettement réel des fournisseurs de services de télécommunication était très disparate, en particulier entre les fournisseurs nationaux et ceux dont le siège social est situé à l'étranger et qui peuvent bénéficier de capitalisations extérieures au groupe et d'un financement intragroupe.

Compte tenu de ce large éventail d'endettement potentiel, une autorité de régulation peut choisir de fixer le niveau d'endettement, en se fondant sur le taux moyen d'endettement adopté par les banques d'investissement, les organismes de réglementation de par le monde et les entreprises internationales.

Estimation du coût de la dette

Le coût de la dette est estimé selon l'équation suivante:

$$K_d = rd_f^T (1 + Spread)$$

où:

rd_f^T est l'obligation sans risque;

Spread - La répartition est le taux de risque de crédit, qui correspond à la moyenne de la part de tous les fournisseurs de services de télécommunication sur ce marché.

Estimation du coût des capitaux propres

Le coût des capitaux propres est estimé selon l'équation suivante:

$$K_e^j = (re_f^T + \beta_j MRP + CRP) \times ((1 + \pi_{local}) | (1 + \pi_{US}))$$

où:

re_f^T est le taux sans risque, fondé sur la notion générale de rendement d'une obligation basée sur des actifs présentant un rendement à maturité d'au moins cinq ans;

β_j est le bêta des capitaux propres. Il est possible de le calculer en fonction de la part des fournisseurs de télécommunication; prix par rapport au marché boursier dans son ensemble, ou à la place d'une référence internationale. Ces deux approches doivent reposer sur un coefficient bêta sans facteur d'endettement, qui sera exploité par la structure optimale du capital définie conformément à la structure du capital des opérateurs locaux de télécommunication;

CRP est la prime de risque du pays;

Lorsque le coût des fonds propres est estimé selon l'approche globale, il faut insérer dans l'équation de K_e^j le rapport CRP et la différence entre l'inflation locale et celle des États-Unis d'Amérique.

MRP est la prime de risque du marché.

Évaluation de la prime de risque du marché (MRP)

La prime de risque du marché est estimée selon l'équation suivante:

$$MRP = \frac{1}{P} \sum_{h=1}^p (r_m^{T-h} - re_f^{T-h})$$

où:

re_f^{T-h} est le taux sans risque;

r_m^{T-h} est le rendement de l'indice du marché.

L'échelle de temps des données historiques utilisée pour évaluer la prime de risque du marché doit correspondre à une période d'au moins cinq ans. En outre, il convient de ne pas tenir compte des périodes qui correspondent à des situations anormales sur le marché.

CAPM local ou CAPM global

Il existe deux approches principales pour estimer le coût des fonds propres, à savoir un modèle d'équilibre des actifs financiers (CAPM) mondial ou un CAPM local. Le modèle CAPM mondial est couramment utilisé par les banques, tandis que le modèle CAPM local est plus couramment utilisé par les autorités de régulation (par exemple, l'ANTT, le régulateur des transports du Brésil; ARCEP (France); CMT (Espagne); ComReg (Irlande); Ofcom (Royaume-Uni); et PTS (Suède). Il est possible d'évaluer le modèle CAPM à l'aide de paramètres locaux

en fonction de la disponibilité de données stables. Les deux méthodologies ont des avantages et des inconvénients. Toutefois, il est recommandé d'utiliser le modèle CAPM local lorsque les données sont disponibles, car il est plus transparent et tend à mieux refléter le marché local.

Le modèle CAPM global vise à se confronter à la situation réelle dans le pays en utilisant des données internationales. Cette approche est particulièrement recommandée en cas d'insuffisance des informations relatives au marché national; et/ou d'information sur les actifs de télécommunication cotés en bourse dans le pays concerné.

Une autre façon de déterminer les risques non calculés consisterait à ajouter au modèle CAPM global d'autres facteurs qui pourraient représenter des risques politiques, réglementaires et autres. Toutefois, ces modèles restent actuellement expérimentaux. Une recherche sur Internet révèle rapidement une grande variété de données qui peuvent aider à calculer le modèle CAPM⁴⁴ comme celui présenté dans le Tableau 7.

Tableau 7: Avantages et inconvénients du modèle CAPM local et mondial

| | CAPM local | CAPM global |
|---------------|--|--|
| Avantages | <ul style="list-style-type: none"> - Transparence. - Il reflète le point de vue du marché local. | <ul style="list-style-type: none"> - Il ne dépend pas de bases de données locales. Il utilise des critères de référence. - Il utilise des données économiques matures. |
| Inconvénients | <ul style="list-style-type: none"> - Il dépend de la disponibilité des bases de données. - Il est nécessaire de disposer d'un scénario macroéconomique stable. | <ul style="list-style-type: none"> - Comparabilité des valeurs de référence. - Utilisation des risques pays, avec une grande variabilité. - Mettre à profit et supprimer le processus entre les pays de manière inexacte. |

Source: UIT

Le modèle CAPM local utilise des données internes. Les principaux avantages de l'utilisation du modèle CAPM local sont la transparence conférée par l'acceptation large de cette méthode par les milieux universitaires et le marché, ainsi que l'exactitude de cette approche concernant le marché local. Inversement, les inconvénients peuvent être l'absence de bases de données disponibles et/ou l'absence d'un scénario macroéconomique national stable.

Dans les pays où il existe une stabilité économique à long terme, des indices financiers à long terme et des actifs stables, il est recommandé d'adopter la méthode CAPM locale.

Conversion du CMPC nominal en CMPC réel

Une fois que le CMPC a été évalué en valeurs nominales, la valeur inflationnaire pour la période concernée doit être réduite afin d'obtenir l'indicateur en termes réels, au moyen de l'équation dite de Fisher:

⁴⁴ Une suggestion utile est présentée ici: http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/home.htm.

$$WACC_{Real} = \frac{(1 + WACC_{Nominal})}{(1 + \pi)} - 1$$

où:

$WACC_{Real}$ est le CMPC réel;

$WACC_{Nominal}$ est le CMPC nominal;

π est le taux d'inflation.

La simple soustraction de la valeur inflationnaire du CMPC nominal ne donnera pas le résultat correct, et tendra à surestimer le taux réel – bien que l'erreur soit faible lorsque les taux d'intérêt et l'inflation sont relativement faibles.

Il est recommandé d'utiliser des estimations d'inflation prospective; idéalement, les estimations devraient être faites pour une période égale à la maturité de l'obligation sans risque, bien que cela ne soit pas toujours possible dans la pratique en raison de la perspective temporelle limitée des prévisions d'inflation.

Estimation du CMPC au moyen d'une méthode CAPM globale

| Coût des capitaux propres (Ke) | |
|---|---------------|
| Prime de risque du pays: | 2,63% |
| Taux sans risque: | 2,66% |
| Bêta: | 0,99 |
| Prime de risque du marché (MRP): | 8,49% |
| Estimation du coût des fonds propres (Ke) | 13,92% |
| Coût de la dette (Kd) | |
| Obligation sans risque | 6,40% |
| Étalement | 6,89% |
| Estimation du coût de la dette: | 6,84% |
| Taux d'imposition sur les sociétés | 34% |
| Estimation du coût de la dette "après impôts": | 4,51% |
| D/(D+E) | |
| D/(D+E): | 30% |
| E/(D+E): | 70% |
| TOTAL: | 100% |
| Taux d'inflation | |
| Objectif d'inflation des États-Unis: | 2,0% |
| Objectif d'inflation locale: | 4,0% |
| CMPC | |
| Coût pondéré des capitaux propres: | 9,74% |
| Coût pondéré de la dette: | 1,35% |
| CMPC nominal | 11,10% |
| WACCreal: | 6,82% |

| | | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------------|------------------|--|
| Prime de risque pays: | 2,63% Prime de risque pays de Damodaran | | | | |
| Taux sans risque: | est le rendement de l'obligation américaine à 10 ans. | | | | |
| Bêta: | | | | | |
| | E/(D+E) | D/(D+E) | TOTAL | Fiscalité | Bêta sans facteur d'endettement |
| | 70% | 30% | 100% | 34,0% | 0,768 |
| | | | | | Bêta avec effet de levier |
| | | | | | 0,985 |
| Bêta sans facteur d'endettement: Bêta, Bêta sans facteur d'endettement et autres mesures de risque Les marchés émergents à Damodaran | | | | | |
| Prime de risque du marché (MRP): | Prime de risque sur le marché historique | | | | |
| | | S&P500 | US 10Y | MRP | |
| | 15 ans (2004-2018) | 8,52% | 0,97% | 8,49% | |
| Liaison sans risque: | 6,40% Rendement d'une obligation nationale sans risque à une date précise. | | | | |
| Étalement 28/01/2019 | | | | | |
| Obligations | Volume | Valeur | Étalement individuel | Étalement | |
| Opérateur A | 151 500 | 10 000 | 4,3% | 6,89% | |
| Opérateur B | 110 000 | 10 000 | 4,0% | | |
| Opérateur C | 523 525 | 1 000 | 13,4% | | |
| Opérateur D | 100 000 | 10 000 | 3,2% | | |
| Opérateur A | 1 500 000 | 1 000 | 2,9% | | |
| Opérateur B | 100 000 | 10 000 | 3,9% | | |
| Opérateur C | 2 000 | 10 000 | 40,0% | | |
| Opérateur D | 150 000 | 1 000 | 11,5% | | |
| Opérateur A | 200 000 | 10 000 | 8,3% | | |
| Opérateur B | 2 720 | 234 700 | 26,1% | | |

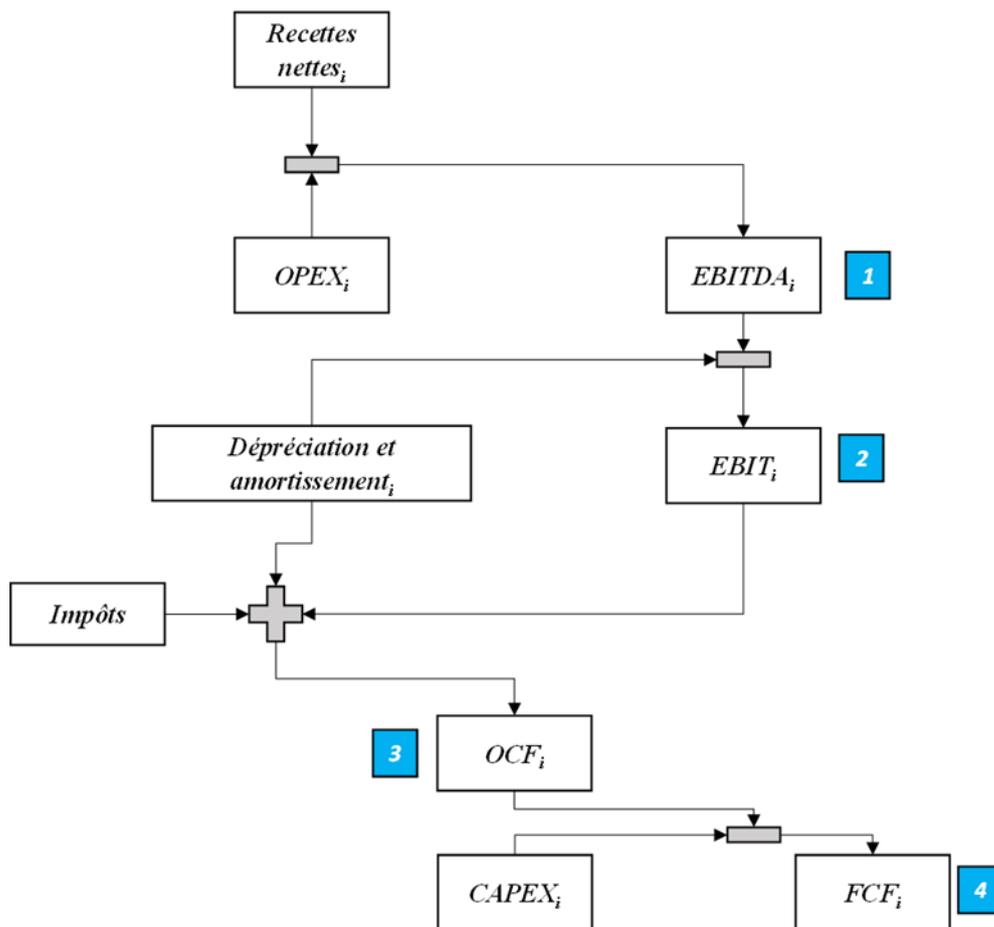
Source: UIT
Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

Estimation de la valeur actuelle nette (VAN) des projets d'infrastructure large bande

Comme indiqué dans la section relative aux principes de planification commerciale, le calcul de la valeur actuelle nette est le résultat le plus important du processus de planification commerciale pour les régulateurs et les décideurs. Il associe l'estimation des dépenses d'équipement, d'investissement et des flux de trésorerie tout au long des années de déploiement du réseau et de fourniture de services dans une équation économique visant à évaluer avec précision la viabilité économique et l'attrait d'un projet d'infrastructure, ainsi qu'à quantifier l'absence d'infrastructure large bande sur le plan national.

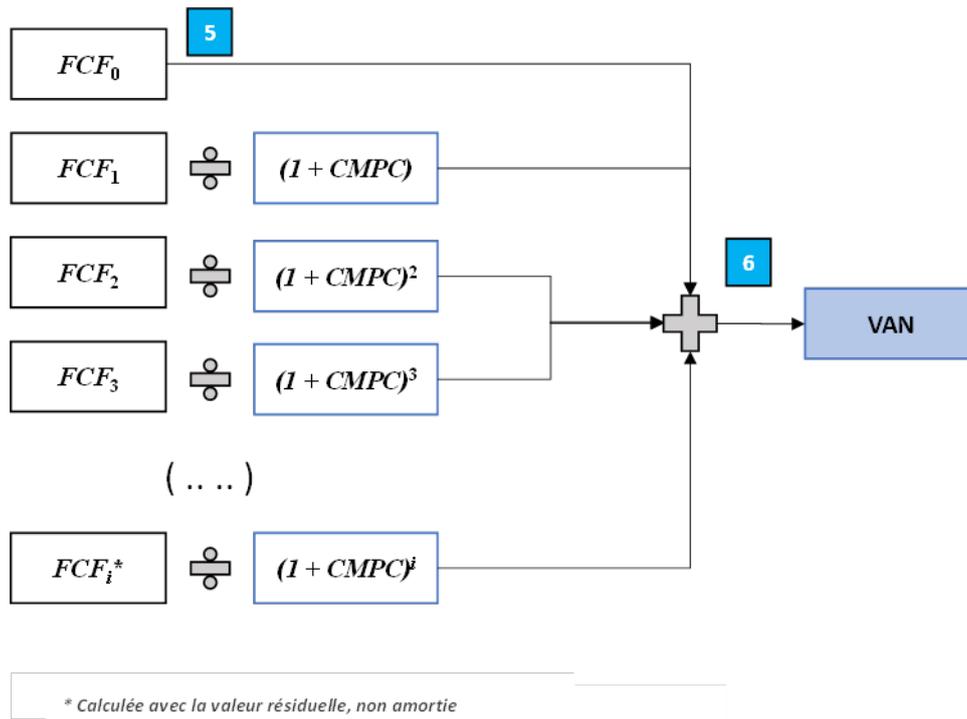
Pour mieux comprendre comment calculer la valeur VAN d'un projet d'infrastructure, les diagrammes présentés sur les Figures 16 et 17 décomposent le calcul en six étapes.

Figure 16: Étapes 1 à 4 du calcul de la valeur VAN



Source: UIT

Figure 17: Étapes 5 et 6 du calcul de la VAN



Source: UIT

La première étape du calcul de la VAN d'un projet d'infrastructure consiste à estimer la marge de bénéfices avant intérêts, impôts et amortissements (EBITDA) avant chaque année d'exploitation. Ce calcul peut se faire simplement en prenant la différence entre les recettes nettes et les dépenses d'exploitation annuelles estimées, conformément aux méthodes déjà présentées dans le présent kit pratique.

L'étape 2 consiste à calculer la marge de bénéfices avant intérêts et impôts (EBIT), ce qui suppose de soustraire de l'EBITDA les estimations de dépréciation et d'amortissement (DA)⁴⁵. Le calcul de DA pour une année i d'exploitation donnée peut être effectué au moyen de la formule suivante:

$$DA_i = \begin{cases} \sum_{k=1}^i \frac{CAPEX_k}{t} & , \text{if } i \leq t \\ \sum_{k=i-t+1}^i \frac{CAPEX_k}{t} & , \text{if } i > t \end{cases}$$

où:

- DA_i est la dépréciation et l'amortissement au cours d'une année i donnée d'exploitation;
- $CAPEX_k$ est la dépense d'équipement estimée pour une année k d'exploitation donnée;
- t est la durée de vie moyenne (en années) des actifs (dépenses d'équipement) ou le nombre d'années d'amortissement établies selon les règles comptables locales;
- i est une année d'exploitation donnée, par exemple les années 1, 2, 3, etc.

⁴⁵ Le pourcentage et la durée de la dépréciation/de l'amortissement peuvent varier d'un pays à l'autre.

La troisième étape du calcul de la valeur VAN consiste à estimer le flux de trésorerie d'exploitation pour chaque année, en prenant la différence entre l'EBITDA et la somme des taxes estimées pour chaque année lorsque l'EBIT est positif. Le calcul de la somme des taxes par année peut être effectué selon la formule suivante:

$$T_i = \text{Max}(0; EBIT_i \times TR_{local})$$

où:

T_i est la somme totale des taxes à prendre en compte dans le FCF d'une année i donnée;

$EBIT_i$ est le bénéfice avant intérêts et taxes pour une année i donnée;

TR_{local} est le taux d'imposition local appliqué aux bénéfices de l'opérateur dont le plan est évalué.

La quatrième étape du calcul de la VAN dans le cadre du projet d'infrastructure consiste à obtenir le résultat du flux de trésorerie disponible pour chaque année d'exploitation, simplement en calculant la différence entre le flux de trésorerie d'exploitation (OCF) et la dépense d'équipement investie pour une année i donnée.

Après avoir obtenu le résultat FCF pour chaque année d'exploitation, les étapes 5 et 6 consistent à calculer la valeur VAN des résultats FCF pour chaque année d'exploitation et, enfin, à les additionner pour obtenir la valeur VAN totale du projet d'infrastructure. Ces deux dernières étapes peuvent être effectuées au moyen de la formule suivante:

$$NPV = \sum_1^z \frac{FCF_i}{(1+WACC)^i}$$

où:

La VAN est la valeur actuelle nette totale du projet d'infrastructure.

FCF_i est le flux de trésorerie disponible pour une année i donnée⁴⁶;

et CMPC est le coût moyen pondéré du capital.

z est le nombre total d'années d'exploitation envisagé dans l'évaluation du projet d'infrastructure.

⁴⁶ Le reste des actifs non amortis doit être ajouté au FCF de la dernière année d'exploitation; cela peut être calculé simplement par la différence entre la somme de la dépense d'équipement et la somme de la dépréciation et des amortissements calculés tout au long de l'année d'exploitation.

Calcul de la valeur actuelle nette (VAN)

L'exemple suivant illustre le calcul de la valeur actuelle nette d'un projet d'infrastructure donné.

| Calcul de la valeur actuelle nette (VAN) | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| Année | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | |
| Récettes nettes | \$ 90 958 | \$ 1 320 680 | \$ 4 347 379 | \$ 7 672 031 | \$ 9 387 107 | \$ 10 152 234 | \$ 10 807 641 | \$ 11 557 279 | \$ 12 356 841 | \$ 13 264 945 | |
| OPEX | \$ 558 799 | \$ 1 269 661 | \$ 3 028 254 | \$ 4 856 718 | \$ 5 943 765 | \$ 6 388 380 | \$ 6 764 155 | \$ 7 182 756 | \$ 7 651 129 | \$ 8 174 287 | |
| CAPEX | \$ 13 626 755 | \$ 991 972 | \$ 2 640 051 | \$ 2 977 650 | \$ 1 688 348 | \$ 936 385 | \$ 867 603 | \$ 948 811 | \$ 1 044 085 | \$ 1 139 274 | |
| EBITDA | \$ -465 841 | \$ 55 018 | \$ 1 321 125 | \$ 2 715 314 | \$ 3 438 343 | \$ 3 763 854 | \$ 4 043 486 | \$ 4 354 523 | \$ 4 703 712 | \$ 5 090 658 | |
| Amortissement (par exemple 5 ans) | \$ 2 725 351 | \$ 2 923 745 | \$ 3 451 756 | \$ 4 047 285 | \$ 4 384 955 | \$ 1 846 881 | \$ 1 822 007 | \$ 1 483 759 | \$ 1 097 046 | \$ 987 232 | |
| EBIT | \$ -3 191 192 | \$ -2 868 727 | \$ -2 130 631 | \$ -1 331 972 | \$ -946 612 | \$ 1 916 973 | \$ 2 221 479 | \$ 2 870 764 | \$ 3 606 666 | \$ 4 103 426 | |
| Impôts (par exemple 25% de l'EBIT) | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ 479 243 | \$ 555 370 | \$ 717 691 | \$ 901 666 | \$ 1 025 857 | |
| DCF | \$ -465 841 | \$ 55 018 | \$ 1 321 125 | \$ 2 715 314 | \$ 3 438 343 | \$ 3 284 611 | \$ 3 488 116 | \$ 3 636 832 | \$ 3 802 046 | \$ 4 064 801 | |
| FCF | \$ -14 092 596 | \$ -936 954 | \$ -1 318 926 | \$ -262 336 | \$ 1 749 995 | \$ 2 348 226 | \$ 2 620 513 | \$ 2 688 021 | \$ 2 757 961 | \$ 2 925 527 | |
| VAN (par exemple CMPC de 5%) | \$ -14 092 596 | \$ -892 337 | \$ -1 196 305 | \$ -226 616 | \$ 1 439 725 | \$ 1 839 896 | \$ 1 955 467 | \$ 1 910 326 | \$ 1 866 696 | \$ 1 885 821 | |
| OPEX totales | (\$ 509 921) | | | | | | | | | | |

Source: UIT

Remarque - Les valeurs utilisées sont données à titre d'illustration.

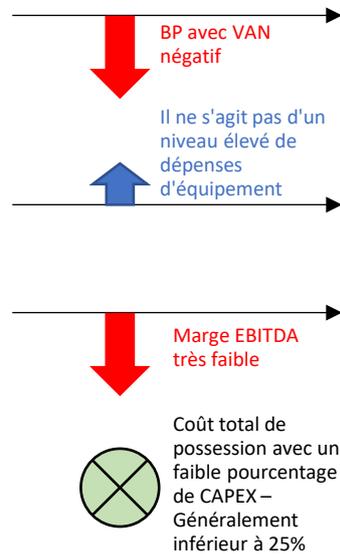
Après avoir mené à bien un plan d'affaires, il est essentiel de savoir comment interpréter les résultats. Il existe quelques variables clés pour ce processus:

- signal VAN, si la valeur VAN est positive ou non;
- les marges EBITDA indiquent généralement les marges bénéficiaires du projet;
- le coût total de possession (TCO), la somme des dépenses d'équipement et des dépenses d'exploitation;
- comparaison entre les valeurs de dépense d'exploitation, dépense d'équipement et VAN;
- autres indicateurs pouvant être appliqués, tels que RDI et RDIC.

Une bonne interprétation dépend de la manière dont la sortie de toutes les variables se déroule. Par exemple, lorsqu'une VAN négative avec une marge EBITDA négative est trouvée avec une dépense d'équipement de niveau inférieur (Figure 18). En général, ce résultat signifie que la principale cause d'inattractivité provient d'un niveau élevé de dépenses d'exploitation. Pour remédier à ce déséquilibre, les politiques publiques liées à la VAN peuvent combler les lacunes liées au projet.

Figure 18: Exemple de valeur VAN 1 et interprétation possible

Exemple



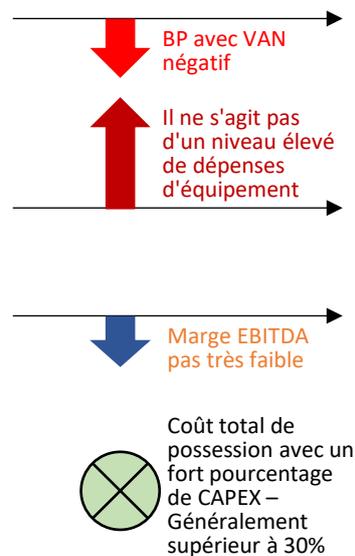
Interprétation possible :

- BP révèle que le projet n'est pas attrayant, mais les dépenses d'équipement sont faibles
- la principale cause d'inattractivité provient d'un niveau élevé de dépenses d'exploitation
- La politique publique relative à la VAN permet probablement de combler ce fossé

Un autre exemple est celui d'une VAN négative avec une marge EBITDA négative et un niveau élevé de dépense d'équipement (Figure 19). En général, ceci signifie que la principale cause d'inattractivité provient d'un niveau élevé de dépenses d'équipement. La politique publique relative à la valeur VAN risque de ne pas combler cette lacune et le projet aura besoin de subventions plus importantes que la valeur VAN.

Figure 19: Exemple de valeur VAN 2 et interprétation possible

Exemple

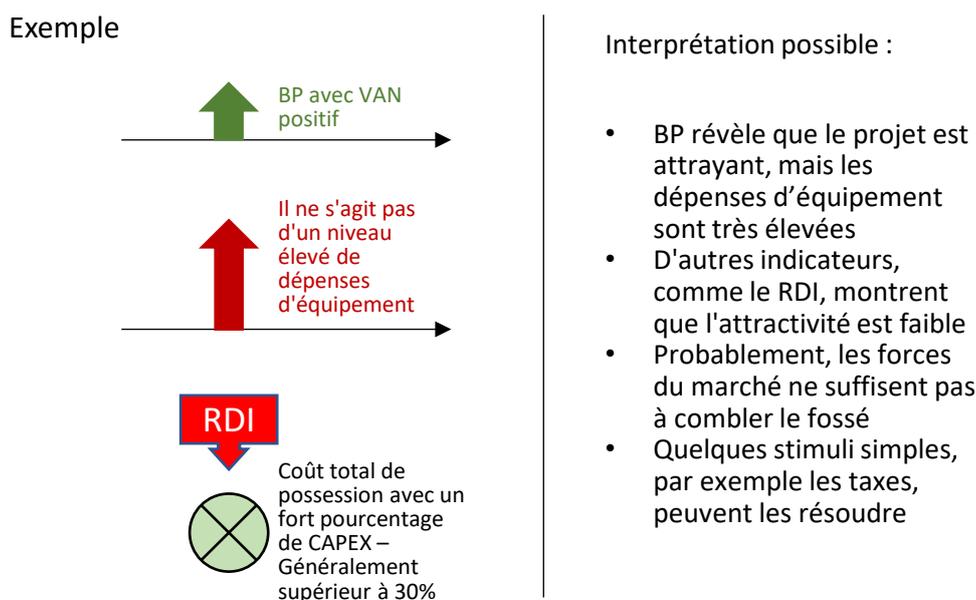


Interprétation possible :

- BP révèle que le projet n'est pas attrayant, mais les dépenses d'équipement sont très élevées
- La principale cause d'inattractivité provient d'un niveau élevé de dépenses d'équipement
- La politique publique relative à la valeur VAN risque de ne pas combler cette lacune et le projet aura besoin de subventions plus importantes que la valeur VAN.

Un troisième exemple est celui où le plan d'affaires fait apparaître un niveau positif de VAN (Figure 20), avec un très haut niveau de dépense d'équipement et un faible niveau de RDI. Le plan d'affaires fait apparaître que le projet présente un intérêt, mais que les forces du marché ne suffisent probablement pas à combler le fossé, car en général, le secteur privé définit les investissements sur la base du RDI. Dans ce cas, un stimulus simple, par exemple des incitations fiscales, peut être une solution.

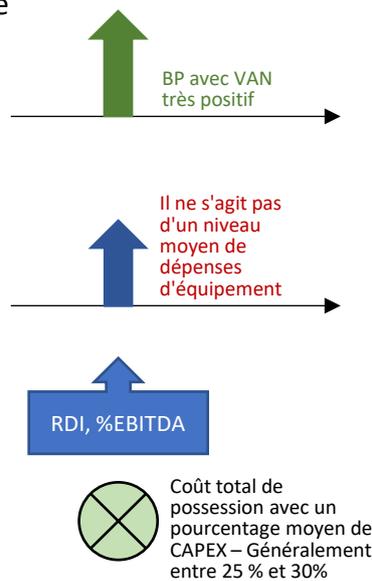
Figure 20: Exemple de valeur VAN 3 et interprétation possible



Le dernier exemple montre un scénario du meilleur cas de figure (voir Figure 21), lorsque toutes les variables sont positives, VAN, EBITDA et RDI. Cette situation se produit lorsque le niveau de dépense d'équipement est raisonnable et que les forces du marché sont suffisantes pour remédier à cet écart. Ce plan d'affaires de projet peut être utilisé dans toute politique publique pour des projets moins attractifs.

Figure 21: Exemple de valeur VAN 4 et interprétation possible

Exemple



Interprétation possible :

- BP révèle que le projet est attrayant
- Aucune politique publique spécifique n'est nécessaire
- Ce projet peut être utilisé dans toute politique publique conjointement avec un projet peu attractif.

7 Mécanismes de financement pour lancer des projets d'infrastructure large bande

Les décideurs qui cherchent à lancer des projets d'infrastructure large bande (ce qui suppose des sommes considérables pour l'élaboration de projets, l'octroi de licences, le déploiement du réseau et les coûts administratifs et d'exploitation) devraient procéder à une étude approfondie des solutions de financement offertes par les pouvoirs publics, de la disponibilité de crédits privés sur le marché intérieur du projet et des conditions nécessaires pour accroître les avantages économiques du projet pour les capitaux étrangers.

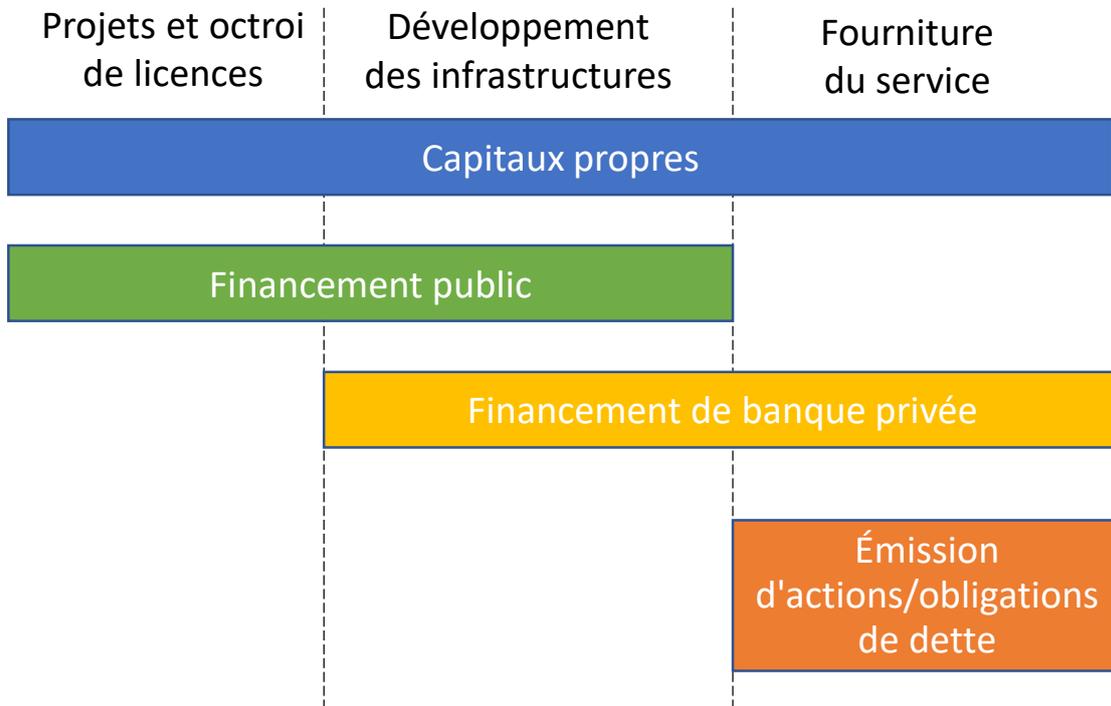
Le fait d'avoir une idée claire des solutions de financement disponibles sera essentiel pour évaluer le succès ou l'échec potentiels d'une politique publique, en particulier dans les cas où une VAN estimée de projet d'infrastructure rend le déploiement du réseau et la fourniture de services moins attrayants dans les zones où le gouvernement a accordé la priorité aux investissements dans les infrastructures de télécommunication.

Afin de mieux comprendre les mécanismes de financement liés aux grands projets d'infrastructure large bande et d'identifier les principaux acteurs ainsi que les conditions d'investissement nécessaires, il est utile de subdiviser un projet type de télécommunication en trois phases de coût:

- i) planification des projets et octroi de licences;
- ii) développement des infrastructures;
- iii) la fourniture du service.

Pour chacune de ces phases, des mécanismes types de financement des projets d'infrastructure seront envisagés, notamment les fonds propres, le financement public et privé et la délivrance des stocks et des dettes.

Figure 22: Répartition des mécanismes types de financement de projets d'infrastructure



Source: UIT

7.1 Mécanismes de financement des projets et des licences

La première phase du calcul des coûts d'un projet d'infrastructure large bande, du point de vue d'une entreprise, comporte des études de marché détaillées, la planification commerciale, la conception et le dimensionnement des réseaux et l'obtention des licences des autorités publiques nécessaires à leur exploitation, ce qui peut impliquer une participation aux adjudications publiques pour obtenir des licences coûteuses (pour accéder au spectre soumis à licence et l'utiliser, par exemple).

Cette phase de détermination des coûts, lorsqu'aucune production de flux de trésorerie ou même aucune infrastructure de réseau n'est déployée, est généralement financée par des fonds propres ou par des fonds publics, en raison de la difficulté d'avoir accès au crédit par les canaux de financement habituels, compte tenu du niveau élevé de risque encouru. Un opérateur potentiel qui souhaite fournir le large bande dans les régions visées par des initiatives de politiques publiques peut réaliser des études de marché pour aider à prendre une décision éclairée sur la viabilité économique d'un projet d'infrastructure proposé par le gouvernement. En effet, le gouvernement peut même sous-traiter ces études et publier les résultats afin de susciter l'intérêt et d'attirer le plus d'opérateurs possible.

Comme on l'a vu sur de nombreux marchés, l'acquisition de licences d'utilisation du spectre pour des réseaux hertziens large bande coûte généralement des millions, voire des milliards de dollars USD. Ces droits de licence devaient être acquittés par fonds propres – mais pour ne pas consacrer des fonds à des investissements dans les infrastructures de réseau, le financement public des redevances de licence (à payer pendant les années d'exploitation avec des taux d'intérêt faibles) constitue une autre solution qui pourrait inciter non seulement les grands

opérateurs déjà établis au niveau national, mais aussi les petites entreprises qui cherchent à entrer sur le marché du large bande mobile.

La disponibilité de ce type de financement public constitue un obstacle moins important à l'engagement et augmente l'attrait économique d'un projet d'infrastructure de télécommunication. En outre, le fait de prévoir un paiement annuel unique des droits de licence couvrant toute l'année d'exploitation peut libérer de la trésorerie pour que les entreprises intéressées investissent davantage dans le déploiement du réseau.

Enfin, malgré le coût de crédit généralement plus élevé de cette première phase de détermination des coûts, les opérateurs déjà établis sur le marché local des télécommunications et fortement liés au marché bancaire privé peuvent obtenir des crédits à des taux d'intérêt raisonnables.

7.2 Mécanismes de financement du déploiement des infrastructures

La phase de déploiement des infrastructures de réseau est la phase ayant le plus fort coefficient de capital dans les projets large bande. C'est la raison pour laquelle une combinaison de mécanismes de financement peut être utilisée pour faciliter le lancement des infrastructures passives et actives dans l'ensemble des municipalités visées par les politiques publiques.

L'utilisation de fonds propres dans cette phase d'établissement des coûts est certainement une option, mais elle est peut-être moins courante que dans d'autres mécanismes de financement. Cela s'explique généralement par le fait que le coût des capitaux propres est plus élevé que les taux d'intérêt des crédits publics et privés axés sur les investissements dans les projets d'infrastructure. Par exemple, la plupart des gouvernements accordent des mesures d'incitation fiscale sous forme de crédit d'impôt pour investissement, ce qui permet au marché bancaire privé d'offrir des crédits d'investissement à des taux d'intérêt inférieurs. Les gouvernements eux-mêmes offrent des crédits d'impôt pour investissement à des taux d'intérêt subventionnés, par le biais de banques de développement qui encouragent la mise en place d'infrastructures nationales.

C'est pourquoi le crédit d'impôt pour investissement offert par le marché bancaire public et privé constitue le mécanisme de financement le plus important pour financer la phase coûteuse du déploiement du réseau, même si ce type de mécanisme de financement favorise inévitablement les projets d'infrastructures durables à long terme sur le plan économique. En effet, l'accès au marché du crédit d'impôt pour investissement privé exige en général une planification commerciale globale et rigoureuse qui prouve la viabilité économique du projet d'infrastructure devant être financé.

Toutefois, de nombreux projets d'infrastructure inclus dans les initiatives de politique publique sont, par nature, peu attractifs sur le plan économique, faute de quoi leur inclusion aurait des phénomènes d'éviction indésirables, autrement dit nuirait aux investissements privés en les remplaçant par des investissements publics. Pour ces projets d'infrastructure économiquement peu attrayants, les subventions publiques peuvent être le mécanisme de financement le plus important proposé. Ces subventions peuvent être appliquées directement ou indirectement sur le marché local des télécommunications afin d'améliorer l'attractivité des projets.

Des subventions directes peuvent être octroyées, par exemple, par le biais de fonds au titre des obligations de service universel créés spécifiquement pour encourager le développement des télécommunications, ou même par le biais d'exonérations fiscales spécifiques appliquées

aux opérateurs qui participent au projet. Des subventions indirectes peuvent être octroyées en réduisant les redevances d'octroi de licences en échange d'un engagement visant à déployer et à fournir des services dans des zones peu attractives, par exemple ou en convertissant le carnet de commande d'opérateurs en obligations de déploiement et de fourniture de services large bande dans des régions peu attractives.

Enfin, certains opérateurs peuvent recourir à leur engagement dans de nouveaux projets large bande pour faire croître les attentes du marché et obtenir des financements à partir de la délivrance d'actions et d'obligations, mais ce mécanisme de financement est plus courant dans la phase d'établissement des coûts pour la fourniture des services, pour les raisons indiquées à la Section 7.3.

7.3 Mécanismes de financement de la fourniture des services

La phase finale et la plus longue du coût d'un projet de large bande commence par l'exploitation du réseau et la fourniture de services. Cette phase se caractérise par une forte production de liquidité et par la nécessité de disposer de fonds de roulement pour financer les coûts administratifs, d'exploitation et de maintenance, ainsi que par des investissements continus dans l'expansion et la modernisation des réseaux.

Étant donné que les fonds de roulement sont généralement onéreux sur les marchés du crédit, le recours aux fonds propres à cette fin est relativement courant. En revanche, le coût d'opportunité de l'attribution des fonds propres à financer les flux de trésorerie d'une opération à long terme tend à augmenter rapidement, de sorte que d'autres mécanismes de financement, tels que la délivrance d'actions et d'obligations, améliorent les solutions de financement à long terme.

De fait, une opération saine générant des revenus solides et en augmentation peut inciter les investisseurs à obtenir une rémunération équitable à long terme à partir des obligations de dette. Ainsi, plus le flux de trésorerie des opérations est sain, plus une entreprise cherchera à obtenir un financement par la délivrance d'actions et d'obligations, puisque la viabilité économique de l'opération se traduira par une valorisation des actions et des taux d'intérêts plus faibles pour les obligations de dette.

Bien qu'il soit généralement coûteux de sécuriser les services bancaires privés pour financer les fonds de roulement nécessaires à cette phase, il est vrai que certains opérateurs multinationaux peuvent avoir accès au marché du crédit international et obtenir des taux d'intérêt moins élevés pour financer la fourniture des services. Toutefois, dans la plupart des cas, il sera difficile d'attirer des capitaux internationaux pour déployer le large bande, compte tenu des nombreux risques encourus, par exemple le risque d'augmentation des coûts financiers, le risque de frustration de la demande et le risque de fluctuation du taux de change.

En effet, il peut être conseillé aux gouvernements qui cherchent à promouvoir le déploiement des réseaux large bande dans les zones mal desservies d'offrir un mécanisme permettant d'atténuer le risque de la demande, par exemple des garanties financières octroyées à l'opérateur pour absorber la baisse des recettes dans le cas d'une baisse de la demande sans défaut, ou un lien entre le montant de la redevance annuelle de licence et la capacité annuelle génératrice de recettes de l'opérateur.

Le risque de fluctuation du taux de change intervient lorsque la devise dans laquelle le financement a été obtenu (qu'il s'agisse des fonds propres de l'opérateur ou des fonds propres d'un tiers) est différente de la devise dans laquelle les coûts de l'entreprise sont à payer. L'un des mécanismes couramment utilisés par les gouvernements pour atténuer ce risque est la passation de contrats pour un centre de change, afin de tenir compte de l'incidence des variations importantes du taux de change sur le plan d'affaires de l'opérateur.

Le risque d'augmentation des coûts financiers durant le projet est dû à l'impact de fortes variations du taux d'intérêt de l'économie sur le taux d'intérêt du financement convenu dans le pays. L'une des façons dont les gouvernements peuvent réduire ce risque consiste à soustraire des échanges de taux d'intérêt, ce qui a pour effet d'accroître l'attrait économique du projet sur le capital étranger.

8 Conclusions

Cette révision du kit pratique sur l'infrastructure des TIC a permis de tenir compte des considérations relatives aux technologies 5G découlant de la série de cours de formation organisés dans différentes régions dans le cadre de l'Académie de l'UIT⁴⁷. La demande émanant des participants à la formation de toutes les régions a mis en évidence la nécessité urgente de prévoir le déploiement de la 5G au niveau national.

Pour tenir compte de chacune des considérations essentielles relatives à la 5G et à tout autre réseau fixe ou hertzien, le kit pratique sur la planification commerciale porte sur les bonnes pratiques en matière de planification; estimation des coûts, de la demande et des recettes; évaluation des options de financement, l'accent étant mis en particulier sur les projets qui desservent des zones économiquement peu attractives.

Il est aujourd'hui très important de comprendre comment identifier et quantifier des projets d'installation et de déploiement liés aux réseaux 5G, car ils sont généralement le principal moteur des politiques publiques en matière de télécommunications/TIC pour les années à venir.

L'élaboration d'un plan d'activité visant à faire en sorte que les réseaux TIC soient accessibles aux zones mal desservies, isolées ou rurales est essentielle pour que les décideurs qui doivent envisager d'installer, d'exploiter, de passer et de pérenniser les infrastructures nationales et transfrontières, ainsi que les coûts relatifs liés à l'installation et au déploiement des réseaux et les stratégies optimales de financement des investissements nécessaires.

Grâce à ce kit pratique, les décideurs et les régulateurs trouveront des techniques de pointe permettant de déterminer avec précision le degré de faisabilité économique d'un projet en calculant sa valeur actuelle nette.

Comme indiqué dans le kit pratique, les concepteurs de réseaux TIC qui cherchent à lancer des projets d'infrastructure large bande nécessitant généralement des capitaux importants, devraient mener une étude approfondie des solutions de financement possibles que les pouvoirs publics pourraient offrir, ainsi que de la disponibilité de crédits privés sur le marché intérieur, afin de comprendre clairement les conditions qui pourraient accroître l'attractivité économique d'un projet aux yeux des investisseurs étrangers. Cela est particulièrement important lorsque les estimations de la VAN montrent que le déploiement du réseau et la fourniture des services ne sont pas attractifs dans les zones que les pouvoirs publics ont considérées comme prioritaires en termes d'accroissement des investissements dans les infrastructures de télécommunication.

⁴⁷ Séances de Formation de l'UIT sur la planification des activités pour le déploiement de l'infrastructure TIC:

- Global (octobre-novembre 2020): Formation de l'UIT sur la planification commerciale pour le développement de l'infrastructure TIC;
- Europe (mars-mai 2021): Formation pour l'Europe sur la planification commerciale pour le développement des infrastructures, Académie de l'UIT;
- Afrique (en) (mai-juin 2021) – Formation pour l'Afrique sur la planification commerciale pour le développement de l'infrastructure des TIC, Académie de l'UIT;
- Afrique (fr) (octobre-décembre 2021): Formation en ligne de l'UIT pour l'Afrique sur la Planification des activités pour le développement des infrastructures TIC (formation des pays francophones d'Afrique sur la planification commerciale pour le développement des infrastructures TIC, Académie de l'UIT).

En résumé, il y a quatre principes que tous les plans d'affaires des politiques publiques devraient suivre:

- 1) Prendre en charge la production, la maintenance et l'utilisation du plus grand nombre possible de données libres.
- 2) Utiliser des études provenant de sources reconnues et fiables sur le plan international.
- 3) Utiliser des outils contrôlables.
- 4) Être prudent lorsqu'on fait des estimations.

Ces recommandations sont essentielles pour conférer la crédibilité et l'exactitude à l'ensemble du processus de planification commerciale.

Compte tenu des insuffisances considérables qui persistent dans l'infrastructure des TIC dans de nombreux pays, l'UIT continuera de fournir un appui pour mettre la connectivité à la portée de tous et contribuer à la réalisation des Objectifs de développement durable (ODD) fixés par les Nations Unies, en fournissant des outils et des formations efficaces pour concevoir des plans d'affaires optimaux concernant l'infrastructure des TIC aux fins du déploiement du réseau, en particulier dans les zones rurales et isolées.

Liste d'abréviations

| | |
|--------|---|
| 3G | Norme de troisième génération |
| 4G | Norme de quatrième génération |
| 5G | Norme de cinquième génération |
| ARPU | Revenu moyen par utilisateur |
| CAA | Imputation générale des coûts |
| CAPEX | Dépense d'équipement |
| CAPM | modèle d'équilibre des actifs financiers |
| CMPC | Coût moyen pondéré du capital |
| CPE | Équipement des locaux de l'abonné |
| CRP | Prime de risque pays |
| DSL | Ligne d'accès numérique |
| EBIT | gains avant intérêts et impôts |
| EBITDA | Recettes avant intérêts, impôts, dépréciation et amortissements |
| EMBB | Large bande mobile évolué |
| FCF | Flux de trésorerie disponible |
| FSU | Fonds de service universel |
| FTTH | Fibre jusqu'au domicile |
| FTTO | fibre jusqu'au bureau |
| FWA | Accès hertzien fixe |
| FWA | Accès hertzien fixe |
| GDPPC | Produit intérieur brut par habitant |
| HC | Foyer connecté |
| HFC | hybride fibre/coaxial |
| HP | Foyer desservi |
| HSPA | Accès rapide en mode paquet |
| IEEE | Institut des ingénieurs en électricité et en électronique |
| IMT | Télécommunications mobiles internationales |
| IoT | Internet des objets |
| IPB | Paniers de prix des TIC UIT |

(suite)

| | |
|-------|--|
| IRR | Taux de rendement interne |
| LTE | Évolution à long terme |
| M2M | Machine à machine |
| MA | Procès-verbal d'utilisation |
| MAQ | Modulation d'amplitude en quadrature |
| mMTC | Communications massives de type machine |
| MRL | Multiplexage en longueur d'onde |
| MRP | Prime de risque du marché |
| NSA | Non-autonome |
| OCDE | Organisation de coopération et de développement économiques |
| OCF | Flux de trésorerie d'exploitation |
| ODN | Réseau de distribution optique |
| OLT | Terminaison de ligne optique |
| ONT | Terminaison de ligne optique |
| OpEx | Dépense d'exploitation |
| PIB | Produit intérieur brut |
| PPA | Partenariat public-privé |
| R&D | Recherche-développement |
| RAN | Réseau d'accès radioélectrique |
| RDI | Rendement de l'investissement |
| RPM | Recettes par minute |
| SDH | Hiérarchie numérique synchrone |
| SMP | Position de force sur le marché |
| SO | Autonome |
| TCO | Coût complet d'un bien |
| TIC | Technologies de l'information et des communications |
| URLLC | Communications ultra-fiables présentant un faible temps de latence |
| VAN | Valeur actuelle nette |
| WMAN | Large bande avec accès multiple par répartition en code |

Bibliographie

Berk, J., DeMarzo, P. & Stangeland, D. (2015) *Corporate Finance* (3rd Canadian ed.), Pearson Canada (Toronto) ISBN 978-0133552683, p. 64.

Blume, M. (1979) *Betas and Their Regression Tendencies: Some Further Evidence*, *Journal of Finance*, Volume 34 Issue 1, 265-67.

Brown, S.J & Warner, J.B. (1980) *Measuring Security Price Performance*, *Journal of Financial Economics*, Volume 8 Issue 3, 205-58.

Brown, S.J & Warner, J.B. (1985) *Using Daily Stock Returns: The Case of Event Studies*, *Journal of Financial Economics*, Volume 14 Issue 1, 3-31.

Bruner, R.F., Eades, K.M., Harris, R.S. & Higgins, R.C. (1998) *Best Practices in Estimating the Cost of Capital: Survey and Synthesis*, *Financial Practice and Education*, Spring/Summer, 13-28.

Cadman, R. and Dineen, C. (2008) *Price and income elasticity of demand for broadband subscriptions: A cross-sectional model of OECD countries*, SPC Network, https://spcnetwork.eu/uploads/Broadband_Price_Elasticity.pdf.

Cardona, M. et al. (2009) *Demand estimation and market definition for broadband Internet services*, *Journal of Regulatory Economics*, Volume 35 Issue 1, 70-95.

Cisco Systems Inc., (2017) *Cisco Visual Networking Index Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021*, white paper, <https://bit.ly/2vu69MQ>.

Copeland, T.E., Koller, T., & Murrin, J. (1999) *Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*, John Wiley and Sons.

Damodaran, A. (2001) *Corporate Finance: Theory and Practice*, (2nd edition) John Wiley and Sons, New York.

Damodaran, A. (1999) *The Dark Side of Valuation: Firms with No Earnings, No History and No Comparables*, NYY Working Paper n° FIN-99-022.

Dimson, E. (1979) *Risk Measurement When Shares are Subject to Infrequent Trading*, *Journal of Financial Economics*, Volume 7 Issue 2, 197-226.

Ericsson (2019) *5G for business a 2030 market compass*, <https://www.ericsson.com/en/5g/5g-for-business/5g-for-business-a-2030-market-compass>.

Fildes, R. & Kumar, V (2002) *Telecommunications demand forecasting - a review*, *International Journal of Forecasting*, Volume 18 Issue 4, 489-522.

Garbacz, C. & Thompson, H. G. (2007) *Demand for telecommunication services in developing countries*, *Telecommunications Policy*, Volume 31 Issue 5, 276-289.

GSMA (2018) *Network Slicing Use Case Requirements*, <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/07/Network-Slicing-Use-Case-Requirements-fixed.pdf>.

ITU *Broadband Maps* (2019) available at: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Pages/InteractiveTransmissionMaps.aspx>.

ITU DataHub is available at <https://datahub.itu.int/>.

ITU Infrastructure Development Portal available at <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/InfrastructurePortal.aspx>.

ITU Key 2005 - 2018 ICT Data, available at https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2018/ITU_Key_2005-2018_ICT_data_with%20LDCs_rev27Nov2018.xls.

ITU-T Recommendations Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks, available at <https://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>.

ITU Recommendation ITU-R M.2083-0 (09/2015) MT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, available at https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!!PDF-E.pdf.

Mitscenkov, A., Kantor, M., Casier, K., Lannoo, B., Wajda, K., Chen, J., & Wosinska, L. (2013) *Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment*, Telecommunication Systems, Volume 54, 113-127, <https://doi.org/10.1007/S11235-013-9720-3>.

Hamada, R.S. (1972) *The Effect of the Firm's Capital Structure on the Systematic Risk of Common Stocks*, Journal of Finance, Volume 27, 435-452.

Hausman, J. A. & Ros, A. J. (2013) *An econometric assessment of telecommunications prices and consumer surplus in Mexico using panel data*, Journal of Regulatory Economics, Volume 43 Issue 3.

Huawei (2019) *\$1.4tn of benefits in 2030: 5G's impact on industry verticals*, <https://carrier.huawei.com/~media/CNGBV2/download/program/Industries-5G/5G-Impact-on-Industry-Verticals.pdf>.

Katz, Raul L. (2009) *Estimating broadband demand and its economic impact in Latin America*, proceedings of the 3rd Acorn-Redecom Conference, Mexico City.

Khan, M.Y. (1993) *Theory & Problems in Financial Management*, McGraw Hill Higher Education, ISBN 978-0-07-463683-1.

Knoll, T. M. (2012) *LTE Network Design from a Techno-Economic Perspective*, <https://bit.ly/2DcitnT>.

Landsburg, S. E. (2001) *Price Theory and Applications*, South-Western, 5ème édition.

Gregory Mankiw, N. (2000) *Principles of Microeconomics*. South-Western, 2ème édition.

Salcedo, A. & Kuhlmann, F. (2016) *A model to estimate the broadband and Internet access demand for typical Mexican rural communities*, Communication Policy Research Latin America, Volume 10.

Scholes, M. & Williams, J.T. (1977) *Estimating Betas from Nonsynchronous Data*, Journal of Financial Economics, Volume 5, Issue 3, 309-27.

Paolini, M. (2012) *The economics of small cells and Wi-Fi offload*, Senza Fili Consulting.

Roberts, M. (2014) *Smartphone use transforming with the rise of 4G and WiFi*, Informa Telecoms & Media.

Sobolewski, M. & Kopczewski, T. (2017) *Estimating demand for fixed-line telecommunication bundles*, Telecommunications Policy, Volume 41 Issue 4, 227-241.

Union internationale des télécommunications (UIT)
Bureau de développement des télécommunications (BDT)
Bureau du Directeur
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse

Courriel: bdtdirector@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

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

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, 3^e 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

Sénégal

Union internationale des télécommunications (UIT)
Bureau de zone
8, Route du Méridien Président
Immeuble Rokhaya, 3^e étage
Boîte postale 29471
Dakar - Yoff
Sénégal

Courriel: itu-dakar@itu.int
Tél.: +221 33 859 7010
Tél.: +221 33 859 7021
Fax: +221 33 868 6386

Zimbabwe

International Telecommunication Union (ITU) Bureau de zone
USAF POTRAZ Building
877 Endeavour Crescent
Mount Pleasant Business Park
Harare
Zimbabwe

Courriel: itu-harare@itu.int
Tél.: +263 242 369015
Tél.: +263 242 369016

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 Brasília - 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
4th floor NBTC Region 1 Building
101 Chaengwattana Road
Laksi,
Bangkok 10210,
Thaïlande

Adresse postale:
P.O. Box 178, Laksi Post Office
Laksi, Bangkok 10210, Thailand

Courriel: itu-ro-asiapacific@itu.int
Tél.: +66 2 574 9326 – 8
+66 2 575 0055

Indonésie

International Telecommunication Union (ITU) Bureau de zone
Sapta Pesona Building
13th floor
Jl. Merdan Merdeka Barat No. 17
Jakarta 10110
Indonésie

Courriel: itu-ro-asiapacific@itu.int
Tél.: +62 21 381 3572
Tél.: +62 21 380 2322/2324
Fax: +62 21 389 5521

Inde

International Telecommunication Union (ITU) Area Office and Innovation Centre
C-DOT Campus
Mandi Road
Chhatarpur, Mehrauli
New Delhi 110030
Inde

Courriel: itu-ro-southasia@itu.int

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: 978-92-61-36512-7



Publié en Suisse
Genève, 2023

Photo credits: Adobe Stock