

Kit pratique pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC

2019



Kit pratique pour la planification des activités dans le domaine des infrastructures TIC

2019

Remerciements

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

ISBN

978-92-61-28872-3 (version papier)

978-92-61-28882-2 (version électronique)

978-92-61-28892-1 (version EPUB)

978-92-61-28902-7 (version mobi)



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

© ITU 2019

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/>.

Notre société est de plus en plus numérique. Elle repose sur un accès haut débit permanent aux services, applications et contenus et dépend d'une infrastructure TIC omniprésente, abordable, moderne et résiliente.

Étendre l'accès Internet large bande aux populations non desservies et mal desservies pour accélérer les progrès en matière de réalisation des Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies est l'un des principaux piliers de la politique publique et de la réglementation en matière de TIC et de télécommunication dans le monde entier.

À la fin de 2018, l'UIT a révélé que, pour la première fois, plus de la moitié de la population mondiale utilise désormais l'Internet. Bien que ce chiffre soit encourageant, nous ne devons pas perdre de vue que si la moitié du monde est connectée, l'autre moitié du monde reste *non connectée*.

Le manque chronique d'infrastructure de réseau est l'une des principales raisons - une pénurie de réseaux de transport, de réseaux d'accès, l'incapacité des utilisateurs finals à acquérir des terminaux et des équipements, voire à payer des services s'ils sont disponibles - et se traduit par un manque de fournisseurs désireux ou même capables d'offrir un accès et des services.

Il est essentiel de mettre en œuvre les bonnes dispositions réglementaires de même que les mesures de connectivité et les outils appropriés pour favoriser le déploiement des infrastructures, en particulier dans les zones rurales et isolées, afin de favoriser l'inclusion numérique complète par l'accès universel à des technologies et services en ligne rapides et fiables.

Ce nouveau kit pratique offre aux régulateurs et aux décideurs une méthodologie claire et pratique pour l'évaluation économique précise des plans proposés en matière d'installation et de déploiement d'infrastructures à large bande. Nous pensons que les conseils d'experts proposés ici faciliteront grandement l'élaboration d'un plan d'activités crédible et cohérent, adaptable à un large éventail de projets de déploiement d'infrastructures à large bande.

J'espère que ce nouveau kit pratique deviendra rapidement un manuel de référence utile à l'intention des régulateurs et des décideurs du monde entier et qu'il les soutiendra dans leurs efforts pour développer des réseaux à large bande et assurer un accès pour tous.



Doreen Bogdan-Martin
Directrice du Bureau de développement des télécommunications de l'UIT

Table des matières

Avant-propos	iii
1 Planification des activités du large bande	1
1.1 Le plan d'activités	4
1.2 Difficultés rencontrées dans l'élaboration d'un plan d'activités	7
1.3 La planification des activités comme outil d'élaboration des politiques publiques	9
2 Estimation de la demande de services large bande	10
2.1 Estimation de la demande à l'aide de méthodes économétriques	12
2.2 Estimation de la demande à l'aide de la méthode de Delphes	14
2.3 Décomposition de la demande en différents segments	16
2.4 Estimation de la part de marché du nouvel opérateur potentiel	18
3 Estimation des recettes tirées de la fourniture des services à large bande	20
3.1 Estimation des recettes dans le cadre de projets large bande mobiles	20
3.2 Estimation des recettes dans le cadre de projets large bande fixes	21
3.3 Estimation des recettes dans le cadre de projets relatifs aux réseaux de transport	21
3.4 Comportement des recettes sur la durée du projet	22
4 Estimation des investissements dans les réseaux large bande (CAPEX)	23
4.1 Réseaux d'accès au large bande mobile	23
4.2 Réseaux d'accès au large bande fixe	29
4.3 Réseaux de transport	39
5 Estimation des dépenses d'exploitation (OPEX) pour la fourniture de services à large bande	40
5.1 Utilisation des modèles de coûts pour estimer les dépenses OPEX	40
5.2 Utilisation des coûts et dépenses passés pour estimer les dépenses OPEX	43
5.3 Utilisation des valeurs de référence pour estimer les dépenses OPEX	44
6 Estimation du coût moyen pondéré du capital (WACC)	46
7 Mécanismes de financement des projets d'infrastructure à large bande	54
7.1 Mécanismes de financement des projets et des licences	55
7.2 Mécanismes de financement du déploiement d'infrastructures	56
7.3 Mécanismes de financement de la fourniture de services	57
8 Conclusions	57
Liste des sigles et acronymes	59
Bibliographie	61

Liste des tableaux, figures et encadrés

Tableaux

Tableau 1: Comparaison de la pénétration du large bande et de la population à portée des connexions par fibre	2
Tableau 2: Exemples de questions pour un questionnaire de Delphes	15
Tableau 3: Coûts d'exploitation et de maintenance	42
Tableau 4: Total des dépenses OPEX	42
Tableau 5: Total des dépenses OPEX	44
Tableau 6: Total des dépenses OPEX	45
Tableau 7: Avantages et inconvénients du CAPM local et du CAPM global	49

Figures

Figure 1: Carte des réseaux de transmission de l'UIT: autoroutes de l'information terrestres (décembre 2018)	2
Figure 2: Courbe de régression (pénétration du large bande x PIB par tête)	13
Figure 3: Exemple de décomposition de la demande de large bande mobile	17
Figure 4: Exemple de décomposition de la demande de large bande fixe	18
Figure 5: Estimation des recettes nettes	20
Figure 6: Réseau LTE hétérogène	24
Figure 7: Topologie de réseau FTTH	30
Figure 8: Modèle géométrique SSL	34
Figure 9: Composition du coût total	41
Figure 10: Ratio dépenses/recettes nettes	42
Figure 11: Ratio dépenses /recettes nettes historiques	44
Figure 12: Ratio CAPEX / OPEX	45
Figure 13: Unité OPEX	45
Figure 14: Étapes 1 à 4 du calcul de la valeur actualisée nette	52
Figure 15: Étapes 5 et 6 du calcul de la valeur actualisée nette	52
Figure 16: Répartition des mécanismes types de financement de projets d'infrastructure	55

Encadrés

Estimation de la part de marché d'un nouvel opérateur potentiel	19
Estimation des recettes dans le cadre de projets large bande fixes	21
Macrocellules	25
Petites cellules	28
Terminaux de ligne optique	32
Calcul des fibres optiques (couche de séparation)	33
Calcul des fibres optiques (foyers raccordables)	37
Utilisation des modèles de coûts pour estimer les dépenses OPEX	43
Utilisation des coûts et dépenses passés pour estimer les dépenses OPEX	46
Estimation du WACC à l'aide d'une méthode CAPM globale	50
Calcul de la valeur actualisée nette (NPV)	54

1 Planification des activités du large bande

Introduction

Le développement et le déploiement de réseaux à large bande nécessitent d'énormes investissements. Compte tenu des environnements physiques et économiques très différents dans lesquels les prestataires de services doivent opérer, une grande partie de cet investissement - de la R&D aux équipements spécialisés capables de fonctionner dans des conditions extrêmes - vise à permettre de déployer et d'exploiter avec succès des infrastructures de réseau TIC dans toute une gamme de marchés à l'échelle mondiale.

Dans les zones économiquement attractives, telles que les villes et les agglomérations, l'infrastructure est mise en œuvre presque naturellement, sachant que les forces du marché sont là pour répondre à la demande. Néanmoins, la situation est souvent différente dans les autres contextes, en particulier dans les zones rurales et isolées, car les barrières économiques, géographiques et/ou démographiques limitent l'accès aux infrastructures de réseau à large bande; un grand nombre de personnes restent de ce fait isolées du monde numérique.

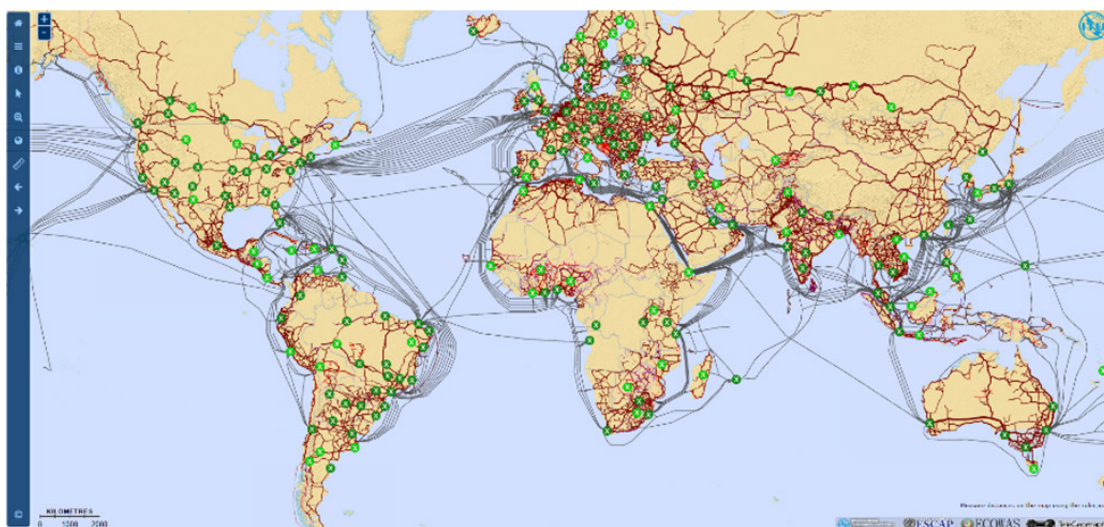
Les régulateurs et les décideurs se sont penchés sur la question de savoir comment étendre les réseaux à large bande au moyen de diverses stratégies telles que les fonds publics, les Fonds de service universel, les partenariats public-privé, la réduction du prix de réserve du spectre des fréquences radioélectriques et autres mécanismes de subvention. Ces réponses sont généralement axées sur la construction et la fourniture de réseaux dans des zones considérées comme ayant une faible attractivité économique et où les forces du marché seules ne sont pas en mesure de fournir des services sans un certain type de subvention pour encourager l'investissement.

Le fossé numérique

Bien qu'il existe des technologies capables d'offrir des services dans des régions éloignées et isolées, et que de nouvelles technologies soient développées spécifiquement pour répondre à ces besoins, connecter la seconde moitié de la population mondiale demeure un problème insoluble, mettant en lumière des défis fondamentaux sous-jacents: la carte interactive des réseaux de transmission de l'UIT de 2018¹ est un exemple parfait du manque persistant de réseaux dorsaux à haut débit dans la majeure partie du monde.

¹ Cartographie des infrastructures TIC de l'UIT pour atteindre les Objectifs de développement durable, disponible à l'adresse: <https://itu.int/go/map-public>.

Figure 1: Carte des réseaux de transmission de l'UIT: autoroutes de l'information terrestres (décembre 2018)²



Source: UIT

En outre, une comparaison de la pénétration du large bande et de la population à portée des connexions par fibre révèle que des milliards de personnes continuent de vivre dans des pays et des régions qui ne sont toujours pas connectés à ce réseau mondial de transmission de Terre.

Tableau 1: Comparaison de la pénétration du large bande et de la population à portée des connexions par fibre

	Afrique	États Arabes	Asie-Pacifique	CIE	Europe	Amériques	Monde
Individus utilisant l'Internet	24,4%	54,7%	47,0%	71,3%	79,6%	69,6%	51,2%
Abonnements au large bande fixe	0,6%	5,1%	13,6%	19,0%	31,3%	20,6%	14,1%
Abonnements au large bande mobile actifs	29,7%	62,7%	68,3%	79,2%	93,6%	97,1%	69,3%
Population à moins de 10 km d'un nœud de fibre optique	23,6%	23,3%	20,0%	35,1%	58,1%	40,6%	27,2%
Population à moins de 25 km d'un nœud de fibre optique	47,5%	53,8%	47,2%	65,9%	87,5%	75,1%	55,4%
Population à moins de 50 km d'un nœud de fibre optique	68,6%	78,3%	70,3%	82,9%	96,9%	90,1%	75,9%

Source: Indicateurs fondamentaux de l'UIT relatifs aux TIC 2005 – 2018

https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2018/ITU_Key_2005-2018 ICT_data_with%20LDCs_rev27Nov2018.xls

Sur la base de sa cartographie extrêmement complète des réseaux de transmission dans le monde, l'UIT estime que, sur une population mondiale estimée à 7,5 milliards³ d'individus, 2 milliards de personnes (27,2%) vivent à moins de 10 km d'un nœud de fibre optique, 4,2 milliards (55,4%) à moins de 25 km, 5,7 milliards (75,9%) à moins de 50 km et 6,8 milliards (90,5%) à moins de 100 km d'un nœud de réseau de fibre optique opérationnel. À l'inverse, 5,5 milliards de personnes vivent à plus

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

³ Données de novembre 2018.

de 10 km, 3,3 milliards à plus de 25 km, 1,8 milliard à plus de 50 km et 710 millions à plus de 100 km d'un nœud de fibre optique en fonctionnement.

La politique publique en matière d'accès aux réseaux à large bande ne doit pas se limiter à identifier les lacunes en matière d'infrastructures et à rendre obligatoire la fourniture de services, elle doit avant tout se concentrer sur la recherche de meilleurs moyens pour identifier les sources de financement possibles et sur l'obtention de stratégies plus efficaces pour encourager et faciliter la fourniture de services.

Bien qu'il y ait eu de nombreuses discussions autour de cette question, de même que plusieurs études, valeurs de référence et suggestions proposées pour de nouvelles analyses des politiques publiques visant à promouvoir le développement du large bande, la meilleure stratégie implique toujours une compréhension approfondie de chaque projet spécifique. Par exemple, quelle serait la meilleure approche pour fournir des services à large bande à une population rurale particulière- infrastructure satellite ou terrestre? Ou, encore, comment déterminer la viabilité économique du déploiement d'un réseau dorsal à fibre optique dans une ville donnée?

Il existe par conséquent un besoin clair 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 la réalisation de cette tâche et ont plutôt tendance à s'appuyer sur des mécanismes qui ne sont pas nécessairement les plus efficaces pour de telles évaluations, aboutissant à des problèmes de pénurie, parfois même de surabondance, dans la construction des infrastructures sur certaines zones.

Planification des activités large bande pour l'installation et le déploiement d'infrastructures

Le présent kit pratique propose aux régulateurs et aux décideurs une méthodologie visant à fournir une évaluation économique précise des projets large bande proposés. Il se veut un outil pratique pour faciliter l'évaluation approfondie des plans d'installation et de déploiement des infrastructures.

Ce kit pratique énonce un ensemble de principes théoriques et fournit des lignes directrices concrètes sur la manière d'estimer la valeur actualisée nette d'un projet. Plus spécifiquement, il passe en revue les mécanismes permettant d'identifier la demande relative à un projet, les coûts d'exploitation et de maintenance y relatifs, les recettes qui en découlent, le montant de l'investissement requis et le coût total du capital investi.

Les concepts économiques et comptables utilisés dans le cadre de cette méthodologie sont largement acceptés et documentés; il n'est donc pas proposé de les passer au crible ni de les soumettre à débat. Ils ont d'ailleurs été utilisés pour créer un guide pratique afin de développer une stratégie visant à déployer une infrastructure large bande et à évaluer les plans d'activités des opérateurs potentiels: Quels types de données utiliser? Comment évaluer des variables comme la demande, les investissements et les coûts d'exploitation? Comment estimer le coût du capital pour les différents éléments du projet?

Pour faciliter la compréhension, le guide fournit des exemples concrets de projets communs, tels que la construction de réseaux dorsaux à fibre optique, de réseaux large bande hertziens 4G LTE (Long Term Evolution) ou encore des projets de réseaux d'accès de la fibre jusqu'au domicile (FTTH).

Par souci de clarté, le guide pratique est divisé en plusieurs sections:

- 1) Les principes régissant la planification des activités large bande.
- 2) L'estimation de la demande de services large bande.
- 3) L'estimation des recettes tirées de la fourniture des services large bande.
- 4) L'estimation des besoins d'investissement dans les réseaux à large bande – dépenses d'équipement (CAPEX).

- 5) L'estimation des dépenses d'exploitation (OPEX) pour la fourniture des services large bande.
- 6) L'estimation du coût moyen pondéré du capital (WACC).
- 7) L'estimation de la valeur actualisée nette (NPV) des projets d'infrastructure à large bande.
- 8) Les mécanismes de financement.

La première section décrit les principes théoriques et la méthodologie pour estimer la valeur actualisée nette d'un projet. Elle présente les fondements de la construction de tout plan d'activités pour la fourniture des services à large bande. Elle explique également dans quelle mesure la méthodologie peut être adoptée par les régulateurs et les décideurs aux fins de l'évaluation économique des différents types de projets à large bande.

La deuxième section aborde les modèles et techniques d'estimation de la demande pour les services à large bande de même que les types de données brutes pouvant être utilisés. Les questions abordées dans cette section comprennent notamment: Comment les décideurs politiques peuvent-ils estimer la demande pour un service? Comment cela pourrait-il évoluer au fil du temps? Comment l'environnement concurrentiel existant pourrait-il satisfaire à cette demande?

La troisième section traite de l'estimation des recettes générées par le projet en question. Cette variable est essentielle, car elle définit quand et comment les ressources sont affectées à un projet d'infrastructure. Elle donne des exemples sur la façon d'estimer les recettes, sur les modalités d'ajustement à la demande estimée et sur les variations possibles dans le temps.

La quatrième section a trait à la modélisation des dépenses d'équipement. Cette variable est cruciale pour l'ensemble de l'écosystème, et c'est là que l'infrastructure du projet en question sera modélisée. Seront abordés les types d'équipements, les bases théoriques et les suggestions pratiques relatives à la modélisation des investissements dans le temps pour différents types de projets.

La cinquième section concerne les dépenses d'exploitation. Quelles sont les variables prises en compte pour la modélisation d'un réseau à large bande? Où obtenir ces informations? Quelle est la meilleure approche que les régulateurs et les décideurs politiques peuvent retenir pour modéliser les coûts opérationnels d'un projet?

Dans la sixième section, nous aborderons le coût moyen pondéré du capital, qui correspond au taux d'actualisation du projet à l'étude. Quelle est la signification de ce taux? Pourquoi est-il si important? Comment peut-il être estimé en l'absence de données concrètes? Cette section donne des orientations pratiques pour calculer cette variable complexe.

La septième section du kit pratique fournit une synthèse qui explique comment combiner toutes les variables en un seul outil pour estimer la valeur actualisée nette du projet.

La huitième et dernière section présente les mécanismes de financement et passe en revue les différentes solutions viables pouvant être adoptées dans le cadre d'une politique publique de large bande.

Le présent kit pratique a pour vocation d'apporter une aide précieuse et utile aux régulateurs et aux décideurs chargés d'élargir le déploiement des réseaux à large bande et l'accès à ces réseaux. Les opérateurs de réseau TIC utiliseront en complémentarité leurs propres outils d'évaluation de projets pour répondre aux besoins spécifiques de la direction et des actionnaires, mais ce kit pratique fournira des informations de base compréhensibles à tout un chacun pour établir un plan d'activités crédible et cohérent, qui puisse être adapté à une grande variété de projets d'infrastructure à large bande.

1.1 Le plan d'activités

Un plan d'activités est un outil de planification présentant de manière organisée les grandes variables qui interviennent dans la création et l'exploitation d'une entreprise. Il n'existe pas de structure unique, rigide

et spécifique pour l'élaboration d'un plan d'activités. Cependant, un plan digne de ce nom doit comporter au minimum certains aspects qui devront être analysés pour mieux appréhender l'activité en question.

Les objectifs qui sous-tendent la mise en œuvre d'un plan d'activités doivent se baser sur une évaluation précise des variables clés propres à l'entreprise. Il convient par conséquent d'envisager et d'étudier l'exclusion de certains éléments tels que les barèmes d'imposition, qui seront définis dans les instruments juridiques pertinents de chaque pays, et certaines variables d'activité telles que la demande, les revenus, l'investissement, les dépenses et le coût du capital, de manière à ce que le résultat final reflète la valeur du projet en question.

Qui plus est, il ne faudra pas négliger l'importance de l'analyse de l'environnement concurrentiel dans lequel se trouve l'entreprise, car cela aura une incidence significative sur des questions telles que la demande et les revenus alloués au projet.

L'approche la plus couramment utilisée pour évaluer la valeur économique d'un actif de télécommunication a trait aux flux de liquidité. Selon ce point de vue, le prix de l'actif (par exemple, les radiofréquences) devrait être proportionnel au résultat économique que l'entreprise créera en utilisant l'actif pendant une période de temps prédéterminée.

La valeur actualisée nette (NPV) du flux de liquidité disponible (FCF) est une mesure utilisée pour évaluer des entreprises et des projets spécifiques. La méthode est communément adoptée par les banques d'investissement, les consultants et les entrepreneurs qui souhaitent calculer la valeur d'une organisation ou de l'une de ses activités, que ce soit à des fins internes, pour l'analyse des investissements ou dans le cadre de fusions et acquisitions.

Selon cette approche, la valeur d'une activité donnée est déterminée par les flux de liquidité actualisés sur la base d'un taux reflétant le risque associé à l'investissement. La méthode NPV intègre trois principes fondamentaux généraux visant à établir un critère de décision d'investissement optimal:

- i) la valorisation de l'investissement est calculée sur la base des flux de liquidité opérationnels;
- ii) le risque est pris en compte dans l'évaluation économique de l'investissement, tout en respectant les préférences de l'investisseur en matière de *conflit risque-rendement*;
- iii) le calcul qui en résulte détermine la valeur actuelle des actifs sur la base du taux d'actualisation approprié pour rémunérer les propriétaires du capital.

En s'appuyant 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 actualisée nette, calculée selon la méthode des flux de liquidité actualisés, reflète le montant obtenu par une entreprise dans un projet donné qui dépasse le coût de l'investissement réalisé, déjà dûment rémunéré par un certain taux de rendement - par le coût d'opportunité du capital. Autrement dit, c'est le profit que l'entrepreneur pourrait obtenir, en actualisant le coût d'opportunité et la rentabilité subséquente que l'entrepreneur aurait pu obtenir en poursuivant d'autres activités.⁴

Le calcul de la NPV tient compte de l'estimation de toutes les recettes et dépenses pour chaque année de l'activité pendant toute la durée du projet, ainsi que de l'investissement total nécessaire pour mettre en œuvre le service.

Autrement formulé:

⁴ Sur le plan financier, il existe d'autres méthodes permettant d'évaluer les activités et les entreprises. Le retour sur investissement, le taux de rendement interne (TRI) ou le retour sur investissement (ROI) sont aussi des indicateurs utilisés par les entreprises qui cherchent à évaluer des projets. Du point de vue de ce kit pratique, conçu comme un guide utile à l'intention des régulateurs et des décideurs, il est important de comprendre que la méthodologie est un concept de base suffisant pour comparer les projets d'infrastructure dans le domaine du large bande.

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

où:

NPV = valeur actualisée nette

FCF_t = flux de liquidité disponible sur la période *t*

r = taux d'actualisation (WACC)

t = nombre de périodes

Un modèle général pour le calcul des flux de liquidité disponibles sur une certaine période est donné par la formule:

$$FCF = \{[(EBIT(1 - tax\ rate))] + De + Am\} - CAPEX$$

et

$$EBIT^5 = recettes - OPEX$$

où:

De = dépréciation

Am = amortissement

taux d'imposition = taux d'impôt appliqués

CAPEX = dépenses d'équipement

OPEX = dépenses d'exploitation

Les sections suivantes fournissent une brève définition de ces variables et présentent une méthode pratique et détaillée d'estimation de ces mêmes variables.

Demande

La variable *Demande* joue un rôle particulièrement important dans tout plan d'activités dans la mesure où elle définit la dimension de marché de l'activité proposée. La détermination d'autres variables telles que l'investissement, les recettes et les dépenses est inextricablement associée à la prévision de la demande.

À ce stade, il est important de souligner que l'évaluation du comportement de la demande intervient sur une période de temps déterminée qui, pour nos besoins, englobe la période du projet. Le régulateur a donc besoin de connaître avec précision l'activité ciblant l'offre de service souhaitée, mais aussi les utilisateurs potentiels du service et la manière dont ce potentiel pourrait évoluer avec le temps.

Il devra, pour élaborer un modèle précis d'estimation de la demande, disposer de données statistiques sur les recettes, la propension à dépenser et les conditions socio-économiques du public cible de l'activité. Ces données sont les sources utilisées par tous ceux qui cherchent à évaluer le potentiel de l'activité; il va sans dire que plus la modélisation sera précise, plus l'évaluation finale sera solide.

Recettes

Pour calculer les revenus commerciaux potentiels, il faut bien connaître les conditions actuelles de prestation de services. L'analyse comparative d'autres marchés et la prise en compte de l'existence

⁵ EBIT: résultat d'exploitation avant intérêts et impôts.

de produits de substitution (c'est-à-dire des produits qui concurrenceront directement ceux de la nouvelle activité proposée) sont essentielles pour toute analyse précise.

L'estimation finale des recettes devrait inclure le portefeuille complet de produits, tels que les services de données, la voix, etc. À ce stade, il est nécessaire de connaître l'historique des revenus moyens par utilisateur (ARPU) pour créer un modèle cohérent, en particulier lorsque le projet propose un service qui est déjà fourni. Toute analyse doit être menée en cohérence avec les conditions socio-économiques de la zone en question; il est donc souhaitable de tenir compte des études démographiques préexistantes relatives aux dépenses.

Dépenses d'exploitation (OPEX)

Cette variable correspond à toutes les charges d'exploitation de l'activité modélisée, dénommées collectivement OPEX. Le calcul de cette variable est difficile pour les régulateurs, car il n'y a généralement pas de données publiques détaillées disponibles qui pourraient favoriser sa mesure.

En l'absence de données, les régulateurs devront recourir à des études spécifiques sur l'activité en question, lesquelles études recensent les principales technologies disponibles pour la mise en œuvre de l'infrastructure projetée ainsi que les bilans des entreprises qui fournissent des services similaires, tels que les opérateurs mobiles dans d'autres bandes de fréquences.

De plus, les régulateurs peuvent utiliser les données comptables reçues des prestataires de services locaux pour compléter l'analyse de la composition de ces dépenses.

Un autre aspect important à considérer est le comportement des dépenses pendant la durée de la période d'autorisation. L'activité proposée n'étant pas encore opérationnelle en théorie, l'étude en question portera sur un nouveau fournisseur dont la demande commence petit et augmente au fil des ans. En conséquence, la courbe des dépenses suivra un comportement proportionnel à la demande estimée.

Cependant, des facteurs tels que les frais de commercialisation ont tendance à se comporter conformément à la courbe d'investissements, compte tenu du fait qu'ils sont liés à la disponibilité de l'activité dans un lieu donné.

Investissements (CAPEX)

Les investissements représentent l'un des principaux piliers de tout plan d'activités de projet. Cette variable, communément appelée CAPEX (dépenses d'investissement), couvre essentiellement les investissements dans toutes les infrastructures réseaux et systèmes nécessaires à la prestation de services. Il est donc important pour le régulateur d'avoir suffisamment de connaissances technologiques pour obtenir des devis des fournisseurs pour les technologies et équipements concernés afin de simuler la construction d'un réseau hypothétique capable de répondre à la demande projetée décrite dans le plan d'activités.

À des fins de modélisation, il convient par ailleurs de noter que l'infrastructure proposée doit répondre à la demande estimée sur la durée, de façon à ce que certains aspects tels que le réinvestissement et la substitution technologique soient pris en compte.

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

La question clé que se posent les régulateurs et les décideurs qui conçoivent un plan d'évaluation de projet selon cette méthodologie est de savoir comment estimer chacune des variables décrites ci-avant. Engager une étude visant à estimer ces variables avec précision n'est pas chose facile, à cause de l'asymétrie des informations et des incertitudes quant au comportement futur des activités.

Compte tenu du nombre de variables impliquées et de leur comportement sur la durée, il peut être extrêmement complexe de modéliser voire impossible d'estimer les coûts de projet avec précision, en l'absence d'une base méthodologique solide et de données ventilées suffisantes.

Comme les régulateurs et les décideurs disposent généralement d'une connaissance partielle de ces variables et données, l'approche classique consiste à fournir une estimation sommaire pour chaque variable, sur la base de méthodes prédictives statistiques et/ou économétriques fiables.

Cela soulève une question fondamentale: quelle est la crédibilité d'une étude prédictive visant à déterminer la faisabilité ou, le cas échéant, d'une politique publique? La réponse réside dans le fait que l'agent d'exécution de cette politique utilisera normalement la même méthode pour réaliser ses propres estimations. Il existe donc des approches capables de concilier les deux aspects. Trois stratégies différentes peuvent être utilisées pour diminuer l'asymétrie des informations entre le régulateur et le secteur privé:

- i) comparer ou recouper les comptes de l'entreprise connus du régulateur (par exemple ARPU, MOU, RPM) avec les comptes de base de l'entreprise;
- ii) utiliser les documents de mise aux enchères publiques, car le régulateur peut définir un prix de référence et le prix final à l'issue de l'offre peut révéler l'asymétrie des informations;
- iii) publier le projet (par exemple lors de consultations publiques) permettant à chacun de contribuer au modèle de prédiction proposé par l'agent public.

Il appartient au régulateur de procéder à une évaluation méthodologique soignée afin de diminuer les asymétries entre les sites contenus dans l'étude, sur lesquels se fonde le plan d'activités de projet.

Une autre question fondamentale concerne le besoin d'*auditabilité*. Les régulateurs et les décideurs sont constamment soumis à la surveillance de diverses autorités, d'associations de consommateurs et de médias. Pour garantir la transparence et l'auditabilité, chaque plan doit être accompagné de données ouvertes et de modèles théoriques suffisamment solides pour éviter toute critique ou attaque basée sur l'adoption perçue comme arbitraire de valeurs discutables pour les variables discrétionnaires.

Il existe une différence entre les agents privés, qui connaissent leurs coûts, leurs objectifs de revenus et leurs projets, et les agents publics. L'agent privé, lorsqu'il élabore un plan, a pleine connaissance des variables en question et peut les utiliser (ou non) pour communiquer avec les actionnaires sans avoir besoin de garantir un niveau donné de fiabilité ou d'auditabilité pour certaines des variables impliquées.

L'agent public, lorsqu'il réalise une estimation des flux de liquidité pour une activité donnée, en plus de disposer d'informations disparates pour estimer le projet, doit se montrer suffisamment neutre et auditable pour garantir les niveaux de fiabilité et de transparence requis par le processus.

De plus, selon le cadre institutionnel et juridique du pays concerné, il arrive fréquemment que les politiques publiques soient soumises, évaluées et contrôlées par des organes de contrôle, tels que les cours des comptes ou des auditeurs externes, y compris dans certains cas le système judiciaire. Cette situation exige que les plans d'activités élaborés par le régulateur/décideur soient suffisamment solides non seulement pour être approuvés, mais aussi pour servir de futurs points de référence au niveau social et juridique.

Il en découle certaines recommandations importantes. Le régulateur/décideur qui effectue l'étude devra:

- **utiliser le plus possible de données ouvertes:** l'utilisation des données ouvertes apporte de la transparence; il est facile de suivre et de comprendre les estimations;
- **baser les études sur des sources reconnues:** chaque plan d'activités repose sur des sources. Cependant, la crédibilité de ces sources est essentielle. Si les informations, données et analyses proviennent d'organisations ou entités internationales ou d'auteurs renommés, les plans gagneront en solidité;

- **utiliser des outils vérifiables:** l'ensemble des interrelations entre toutes les variables qui composent le plan d'activités est très vaste. C'est pourquoi il importe de développer des modèles qui peuvent être tracés de manière à corriger les défauts. Une petite erreur mal indiquée dans le tableau de correspondances peut avoir pour effet de rendre un projet viable irréalisable – et vice-versa;
- **donner des estimations prudentes:** chaque plan d'activités comporte son lot d'incertitudes. Que ce soit à cause de la disparité des informations ou d'un nombre nécessairement élevé de projections futures, les scénarios pour obtenir des résultats ne manquent pas. Il est par conséquent de bon ton d'opérer des choix prudents de manière à ménager une certaine marge d'erreur, sans fondamentalement menacer le projet.

1.3 La planification des activités comme outil d'élaboration des politiques publiques

Lorsqu'un projet a un rendement économique positif (c'est-à-dire une NPV positive), on peut raisonnablement s'attendre à ce qu'il soit exécuté à un moment ou à un autre sans que le gouvernement n'ait besoin d'agir ou d'intervenir par exemple à coup de subventions. Traditionnellement, les régulateurs et les décideurs considèrent qu'il est nécessaire d'avoir des incitations gouvernementales visant à favoriser le déploiement du réseau et la fourniture de services dans une région non desservie donnée à des fins de maximisation du bien-être social. Cette approche est fondée sur le principe de régulation économique selon lequel le régulateur ou le décideur devrait stimuler la prestation de services dans des conditions de rendement économique nul. Autrement dit, une entreprise devrait avoir son capital investi justement rémunéré par le coût moyen du capital sur le marché. Une prestation de services à ce stade maximiserait le bien-être social.

Deux stratégies sont généralement utilisées aux fins de cette maximisation: la promotion de la concurrence et la réglementation des prix. En situation de concurrence, les prix évoluent naturellement vers l'efficacité économique. En l'absence de concurrence, une intervention réglementaire est fréquemment requise en matière de tarification pour tenter de reproduire les résultats d'un environnement concurrentiel.

À l'inverse, nous partons du principe que les projets à rendement économique négatif ne seront pas rentables sur le plan économique. Le degré d'impossibilité détermine généralement le besoin et l'étendue de l'intervention des autorités publiques si le projet est jugé nécessaire par les décideurs politiques.

Les agents privés choisissent habituellement leurs projets en fonction de la promesse de retour économique. Ils priorisent stratégiquement les projets à partir des résultats de leur analyse des plans d'activités proposés et, en général, n'exécutent pas de projets avec une NPV négative, qui génèrent des pertes pour l'activité en général. Les projets à NPV négative ont donc tendance à ne pas être exécutés, et les zones géographiques qui leur sont associées, telles que les zones rurales et isolées, ont tendance à être négligées en raison de l'impossibilité économique et de la non-rentabilité.

C'est dans ce contexte que le présent kit pratique vise à aider les régulateurs et les décideurs à évaluer la valeur globale pour la société de projets qui ne sont pas immédiatement économiquement convaincants. Puisqu'une politique publique n'est ni plus ni moins la matérialisation 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 rentable en soi signifie qu'il est déjà considéré comme un projet d'intérêt public. Partant de ce constat, l'identification de l'*étendue* de la non-viabilité du projet devient une question cruciale, car la réponse peut définir, voire empêcher sa mise en œuvre éventuelle.

À ce stade, de nombreux régulateurs et décideurs entretiennent des idées fausses sur la technique, et il convient de faire la part des choses. Par exemple, il est communément admis que la faisabilité d'investir dans un projet donné ne devrait être basée que sur l'estimation des dépenses d'équipement (CAPEX) impliquées. Autre exemple: si la couverture d'une zone donnée via l'accès à une infrastructure de réseau sans fil 4G LTE est rendue possible par un CAPEX de 10 millions USD, on comprend souvent

qu'il s'agit du montant exact qui devrait être financé par le sponsor politique. D'un point de vue financier, il s'agit d'une erreur monumentale, car:

- i) seule une variable de l'activité est prise en compte, nonobstant toutes autres considérations importantes;
- ii) l'activité n'est pas analysée sur la durée.

Une évaluation juste et précise de la faisabilité d'un investissement devrait tenir compte de toutes les variables du projet. Par exemple, un projet peut être non viable économiquement, parce que les coûts d'investissement sont élevés, mais aussi parce que les revenus projetés sont insuffisants pour récupérer les coûts totaux. Ou, inversement, les revenus peuvent être abondants, mais les coûts d'exploitation et de maintenance récurrents se combinent pour rendre le projet économiquement irréalisable.

À la lumière de ces éléments, la meilleure approche pour mesurer l'étendue de l'impossibilité économique d'un projet consiste à analyser sa valeur actualisée nette, qui mesure avec précision et au fil du temps toutes les variables d'une activité et indique les écarts en termes de rendement économique - donnant ainsi aux régulateurs une image complète des causes de l'impossibilité économique.

Pour pouvoir évaluer avec précision un projet de politique publique en matière d'infrastructures large bande, le plan d'activités devra être élaboré sur un horizon temporel suffisant au regard du développement de l'activité et de l'évaluation de son comportement.

Les sections ci-après abordent plus en détail chaque variable de l'activité.

2 Estimation de la demande de services large bande

Un élément essentiel de tout plan d'activités consiste à estimer la demande pour les services qui seront offerts. S'ils ne disposent pas d'instruments fiables pour estimer cette demande, les décideurs risquent de lancer une politique publique qui sera décorrélée des besoins réels de la population. Ainsi, un gouvernement peut décider d'investir dans un réseau de transport optique dans une municipalité pour répondre à la demande croissante perçue en matière de réseaux d'accès à très haut débit. Cependant, en raison de facteurs socio-économiques, la municipalité peut ne pas estimer la demande suffisante pour justifier 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.

Il est essentiel de comprendre les moteurs de la demande si l'on veut réaliser une estimation correcte. Les méthodes d'estimation sont généralement précises pour la planification des activités à court terme. A plus long terme, la procédure s'avère plus complexe dans la mesure où de nombreux facteurs imprévus influencent inévitablement la demande au fil du temps, en particulier dans le secteur des télécommunications qui connaît de rapides mutations. Par exemple, l'estimation de la demande peut ne pas prendre en compte les services connexes qui émergent avec les nouvelles technologies. La récession économique, les perturbations politiques ou autres problèmes financiers affectent également la demande. Pour prévoir la demande sur le long terme, les décideurs doivent tenir compte de l'histoire sociale, politique et économique de leur pays et avoir une compréhension approfondie de ses moteurs. Ces éléments peuvent parfois faire la différence entre un projet réussi et un projet voué à l'échec.

Bien sûr, une estimation précise de la demande ne peut à elle seule garantir la réussite d'un projet. Mais sans cela, les décisions d'investissement, les coûts d'exploitation, les recettes et autres affectations de ressources peuvent être fondés sur des suppositions cachées et inconscientes - suppositions qui peuvent souvent se révéler fausses. S'efforcer d'estimer avec précision la demande du marché permet de mieux contrôler les principaux facteurs qui affectent le projet. Par ailleurs, le fait de procéder à

une estimation oblige les décideurs à repenser et à analyser l'environnement de marché dans lequel la politique publique sera mise en œuvre et augmente les chances pour que la politique publique réponde le mieux possible 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 tous des méthodes couramment utilisées pour estimer la demande potentielle d'un service.

Sur des marchés stables, la demande peut généralement être estimée à l'aide de modèles économétriques axés sur l'estimation de l'élasticité-prix. Un marché stable, pour un service de télécommunications donné, est un marché dans lequel ce service existe déjà depuis de nombreuses années.

Il existe de nombreuses publications universitaires couvrant l'estimation de la demande de services de télécommunications fixes et mobiles. En général, la demande globale d'un service est estimée sur la base de modèles fondés sur des données de séries chronologiques ou des données de section transversale. Les principaux moteurs utilisés pour estimer la demande sont les suivants:

- le prix;
- le revenu;
- la parité de pouvoir d'achat;
- la télédensité;
- les données démographiques des ménages.

L'estimation de la demande d'accès et d'utilisation des services utilise principalement le prix et le revenu comme moteurs de la demande. Ce type de modèle de demande peut être appliqué pour différents pays tant que les données utilisées sont des données de variables indépendantes du pays en question. L'estimation de l'élasticité-prix dépendra vraisemblablement des revenus, de la structure des échanges et de divers aspects culturels propres au pays. C'est pourquoi l'élasticité-prix estimée est toujours spécifique au pays.

Les bases de données concernant les profils de pays, les indicateurs du développement mondial, le PIB, la parité de pouvoir d'achat et les estimations démographiques peuvent être consultés sur le site Web Open Data de la Banque mondiale⁶. Les indicateurs et les statistiques sur les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont disponibles sur le portail de l'UIT "L'œil sur les TIC"⁷. Ce portail est un guichet unique permettant d'accéder à des indicateurs et des statistiques sur les télécommunications/TIC, ainsi qu'à des informations sur la réglementation et les politiques générales, les politiques nationales de tarification et les pratiques de détermination des coûts appliquées au niveau national. Par ailleurs, l'UIT travaille sur la recherche technique, économique, politique et réglementaire et collecte des données sur l'évolution du développement des infrastructures qu'elle partage dans le monde entier. Ces informations sont disponibles sur le Portail de l'UIT sur le développement de l'infrastructure⁸.

L'estimation de la demande pour les nouveaux services représente un défi encore plus grand. Les nouveaux services sont liés à de nouveaux usages et s'appuient sur de nouveaux équipements et de nouvelles technologies. Bien que, en principe, les prévisions des nouveaux services de télécommunications ne soient pas différentes de celles réalisées dans les autres domaines, le défi d'anticiper un marché inexploré a conduit la plupart des prévisionnistes universitaires à se tenir à l'écart de ce domaine.

⁶ Le site Web Open Data de la Banque mondiale est disponible à l'adresse <https://data.worldbank.org/data-catalog>.

⁷ Le portail de l'UIT "L'œil sur les TIC" est disponible à l'adresse <http://www.itu.int/net4/itu-d/icteye/Default.aspx>.

⁸ Portail de l'UIT sur le développement de l'infrastructure, <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/InfrastructurePortal.aspx>.

Les nouveaux services, que ce soit avant ou après le lancement, font naître deux problèmes majeurs liés aux prévisions: l'estimation du potentiel de marché des différentes générations de services et, tout aussi important, le chemin de diffusion - à savoir le taux et le délai d'adoption du nouveau produit, ce qui favorise les ventes période par période⁹. Pour plusieurs applications, le taux d'utilisation de la nouvelle technologie est également requis. En pré-lancement, le potentiel du marché et les entrants sont des facteurs clés de réussite, mais avec le temps, le taux de perte (décrivant le changement de comportement entre les technologies et les concurrents), le taux d'abandon et le taux d'utilisation prennent le dessus.

Les principaux éléments utilisés pour estimer la demande d'un nouveau service sont les enquêtes dites d'intention, les évaluations des caractéristiques du service, les modèles de choix, les marchés test et/ou l'établissement d'analogies avec d'autres produits voire d'autres pays.

Les données utilisées pour estimer la demande du nouveau service sont collectées soit par des méthodes d'enquête soit (parfois) au travers d'expériences. Il peut être envisagé une gamme de services alternatifs ou la simple question peut être posée de savoir si le répondant a l'intention d'acheter un service particulier. Un questionnaire peut aussi être soumis à un groupe d'experts afin de solliciter une part de jugement professionnel sur le nouveau service. La méthode Delphi est une méthode intéressante qui peut être utilisée dans ce dernier cas¹⁰.

La plupart des services de télécommunications ont des utilisations génériques, de sorte que les nouvelles générations de technologies offrent à la fois un service existant et élargissent la gamme des utilisations possibles. Prenons le cas de la technologie mobile 4G LTE qui offre les mêmes services que la technologie 3G. Dans ce cas de figure, la nouvelle technologie se substitue aux services vocaux de la 3G tout en élargissant la gamme d'utilisation via la prise en charge d'applications de données plus évoluées. Le potentiel de marché peut donc être estimé en combinant l'ancien marché et le nouveau marché gagné suite à l'élargissement de la gamme d'utilisations. Des modèles économétriques peuvent être utilisés pour estimer la demande globale de services tandis que la méthode de Delphes peut être utilisée pour désagréger cette demande selon l'attrait de chaque génération de technologie.

Il est important de noter que les suppositions inexactes ne proviennent pas d'un manque de techniques de prévision. L'analyse de régression, le lissage des tendances historiques, la méthode de Delphes/ l'avis d'expert, les évaluations de fonctionnalités, les marchés de test et autres méthodologies sont des techniques accessibles à tous. La plupart des prévisions inexactes relatives à la demande reposent sur l'hypothèse erronée que les relations complexes qui stimulaient la demande dans le passé resteront inchangées à l'avenir. Les décideurs doivent toujours garder à l'esprit que l'histoire peut être un guide peu fiable à mesure que de nouvelles technologies émergent, que les consommateurs changent leurs préférences, que les industries continuent de se développer et que la réglementation évolue.

2.1 Estimation de la demande à l'aide de méthodes économétriques

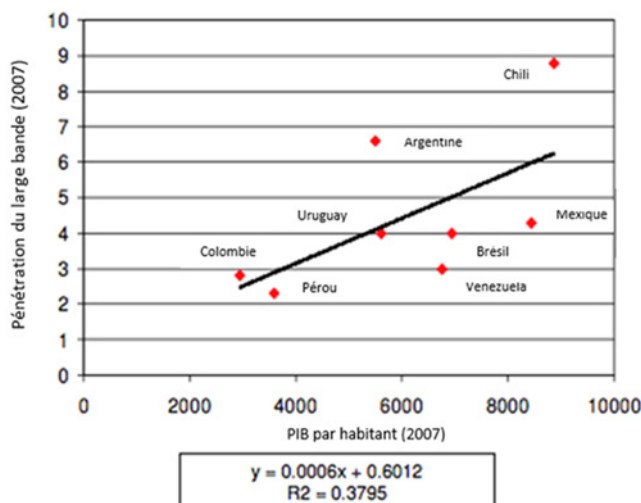
Pour estimer les besoins en matière de large bande dans une région donnée, il est possible d'utiliser un modèle de régression simple (similaire aux modèles de télédensité d'origine) en fonction de la taille de l'économie. Ce modèle de régression simple se fonde sur les niveaux actuels de pénétration du large bande dans un groupe de pays et sur le produit intérieur brut (PIB) de chaque pays.

⁹ Fildes et Kumar (2002).

¹⁰ La méthode de Delphes est une méthode d'estimation qui consiste à consulter un groupe d'experts sur un événement futur au moyen d'un questionnaire qui est transmis à plusieurs reprises jusqu'à ce qu'un consensus soit atteint – voir p. 29 pour plus de détail. Pour en apprendre davantage, voir: Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004) The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications, *Information & management*, volume 42 numéro 1, 15-29.

Ce modèle a été utilisé par Katz (2009)¹¹ pour évaluer la demande de large bande en Amérique latine. Il montre une corrélation positive entre le PIB et la pénétration du large bande: plus les pays ont un PIB par tête élevé, plus une part importante de leur population est abonnée au large bande.

Figure 2: Courbe de régression (pénétration du large bande x PIB par tête)¹²



Source: UIT

Une autre approche facile à utiliser a été développée par l'OCDE et publiée en 2008¹³. Cette approche repose sur un modèle transversal et utilise les données des pays de l'OCDE. Les travaux de l'OCDE ont montré que le meilleur modèle pour estimer la demande de large bande était basé sur les valeurs de pénétration enregistrées, les prix, le PIB par habitant (GDPPC) et le nombre d'années depuis le lancement des services commerciaux d'accès par la ligne d'abonné numérique (DSL).

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

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

Selon le modèle de l'OCDE:

- a) L'élasticité-prix de la demande sur le long terme se situe dans une fourchette inélastique. Le coefficient de -0,43 indique qu'une baisse de 1% des prix entraînerait une augmentation de la demande de 0,43% sur le long terme. La demande ne semble pas être fortement influencée par le prix. Cependant, cette élasticité se situe vers l'extrémité supérieure de l'élasticité-prix type de la demande de location de lignes téléphoniques et d'appels locaux et interurbains dans les pays développés.
- b) L'élasticité-revenu de la demande sur le long terme, mesurée par le PIB par habitant, est légèrement supérieure. Une augmentation de 1% de la richesse entraînerait une augmentation de 0,78% de la demande, toujours sur le long terme. Cela est cohérent avec d'autres études sur l'élasticité-revenu de la demande, qui indiquent que les pays à revenu élevé auraient un coefficient inférieur à 1.

¹¹ Katz, Raul L. (2009) *Estimating broadband demand and its economic impact in Latin America*, in Proceedings of the 3rd ACORN-REDECOM Conference, Mexico City.

¹² Katz (2009).

¹³ Cadman, R. et Dineen, C. (2008) *Price and income elasticity of demand for broadband subscriptions: A cross-sectional model of OECD countries*, SPC Network 19, 03-08.

- c) Le coefficient de YSL et YSL^2 indique que la croissance de la demande de large bande est non linéaire et en phase de forte croissance. Comme prévu, le coefficient de YSL^2 est négatif.

Ce modèle transversal peut être utilisé pour estimer la pénétration du service dans un pays donné ou pour estimer un nouveau modèle tenant compte des spécificités des pays d'une région donnée ou de pays présentant certaines similitudes avec le pays cible (par exemple, indicateurs socio-économiques ou géographiques).

Bien qu'ils aient été développés pour estimer la demande de services large bande fixes, les modèles présentés ci-avant peuvent également être utilisés pour estimer la demande de services large bande mobiles en remplaçant la pénétration du large bande fixe et les prix d'abonnement fixe par la pénétration du large bande mobile et les prix d'abonnement mobile.

Les régulateurs ayant accès aux données pertinentes peuvent aussi estimer la demande de services à l'aide de modèles de données de panel. Hausman et Ros (2013)¹⁴ ont procédé à une estimation des modèles de demande de services de télécommunications fixes et mobiles en utilisant les données de panel de pays similaires au Mexique et en sélectionnant un échantillon de pays comparables sur la base des niveaux de revenu (PIB par habitant). Quand bien même l'étude se fonde sur les taux de change du marché dans les classements, l'échantillon de pays pairs demeure inchangé en cas d'utilisation de l'indice de parité de pouvoir d'achat. L'échantillon comprend les pays situés juste au-dessus et juste en dessous du Mexique dans le classement du PIB par habitant. Les pays sélectionnés sont des pays ayant des niveaux de PIB par habitant similaires à ceux du Mexique et disposant de données de tarification mobile.

Les modèles économétriques de la demande mobile et de la tarification mobile ont estimé les équations de la demande de services mobiles pour 17 échantillons de pays afin de déterminer l'élasticité-prix de la demande et l'élasticité du PIB par habitant de la demande de services mobiles au Mexique. À l'intérieur de ces équations, la variable dépendante à gauche est la pénétration mobile (à savoir que les chercheurs mesurent les variations de la pénétration mobile lorsque d'autres variables, telles que le revenu et le prix, changent).

Une méthode d'estimation avec des effets fixes a été adoptée pour éliminer les estimations biaisées et incohérentes. L'élasticité-prix estimée de la demande d'environ $-0,50$ et l'élasticité-PIB estimée de la demande d'environ $0,45$ sont toutes deux estimées avec précision (elles sont donc statistiquement significatives) et montrent que les variables économiques ont un effet important sur les abonnements mobiles.

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

2.2 Estimation de la demande à l'aide de la méthode de Delphes

La méthode de Delphes est une méthode d'estimation qui consiste à consulter un groupe d'experts sur un événement futur au moyen d'un questionnaire qui est transmis à plusieurs reprises jusqu'à ce qu'un consensus soit atteint. Utilisée depuis plus de 50 ans, cette méthode est reconnue comme l'un des meilleurs outils de prévision à long terme et est largement utilisée pour l'élaboration des politiques publiques dans un grand nombre de pays.

Dans un premier tour, les questions sont envoyées à un groupe choisi d'experts de l'industrie des télécommunications. Ces experts sont pour l'essentiel des opérateurs nationaux, des fournisseurs d'équipements, des établissements universitaires, des centres de recherche, des représentants de la presse professionnelle spécialisée, des associations industrielles et des autorités de régulation.

¹⁴ Hausman J. A. et Ros A. J. (2013) *An econometric assessment of telecommunications prices and consumer surplus in Mexico using panel data*, Journal of Regulatory Economics, volume 43 numéro 3.

Les réponses du premier tour sont ensuite consolidées et analysées. Les questions présentant les plus grands écarts (entre la moyenne et la médiane des réponses obtenues) sont sélectionnées pour le second tour. Lors de ce deuxième tour, la moyenne, la médiane et la réponse donnée au premier tour sont montrées à chacun des experts, lesquels devront se prononcer sur le maintien ou la modification de leur réponse d'origine.

Après le deuxième tour, les résultats sont consolidés et, pour chaque question, on sélectionne un indicateur de tendance centrale à utiliser pour la projection de la demande: la moyenne ou la médiane. L'indicateur choisi, le critère de sélection et les résultats obtenus sont à chaque fois détaillés. Si les résultats continuent de diverger, de nouveaux tours peuvent être organisés. L'objectif est de réduire la fourchette des réponses pour arriver à quelque chose qui se rapproche du consensus d'experts.

Le questionnaire peut aborder des questions telles que la télédensité, l'utilisation et la consommation d'un nouveau service ou d'une nouvelle technologie et l'évolution attendue des nouvelles générations de technologies. Les valeurs peuvent être estimées tous les cinq ou dix ans, par exemple, 2020, 2025, 2030, 2040 et 2050.

Tableau 2: Exemples de questions pour un questionnaire de Delphes

Question	Observation				Estimation			
	2014	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2050
1. Nombre d'abonnements à la téléphonie cellulaire mobile pour 100 habitants	44%	50%	55%	65%				
2. Accès de machine à machine (M2M) pour 100 habitants			0.02	0.03				
3. Minutes d'utilisation par abonné mobile	82	91	86	109	115			
4. Utilisation des données mobiles par abonnement au large bande mobile			15	35	59			
5. Évolution de générations de technologies mobiles	99% 1% 0% 0%	94% 6% 0% 0%	90% 10% 0% 0%					
6. Abonnements au large bande fixe (filaire) pour 100 habitants								
7. Participation de la fibre optique dans toutes les technologies d'accès fixe résidentiel	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%				
8. Participation de la fibre optique dans toutes les technologies d'accès fixe non résidentiel	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%				

Question	Observation				Estimation			
	2014	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2050
9. Vitesse moyenne (en Mbps) par accès large bande			170%	180%				

Source: UIT

Les années restantes peuvent être estimées par interpolation linéaire ou courbe en S sur la base des résultats consolidés pour chacune des années estimées.

Cette méthodologie vise à utiliser efficacement un jugement intuitif éclairé dans les prévisions à long terme et s'avère idéale pour estimer la demande sur le long terme de même que la demande de nouveaux services et de nouvelles technologies.

2.3 Décomposition de la demande en différents segments

La prochaine étape, après avoir estimé la demande globale, consiste à diviser la demande totale en différentes composantes pour une analyse distincte. Les résultats de la méthode de Delphes peuvent également servir à faciliter cette décomposition.

Il y a lieu de combiner deux critères lors du choix des segments de marché: chaque catégorie devra être suffisamment petite et homogène pour que les moteurs de la demande puissent s'appliquer uniformément à ses différents éléments, mais aussi suffisamment grande pour que l'analyse en vaille la peine. Il faudra par conséquent exercer ici son propre jugement.

Pour arriver à cette décision, il peut être utile d'imaginer des segmentations alternatives - telles que des segmentations basées sur les catégories de clients finals (par exemple résidentiels ou non résidentiels) ou sur le type d'achat (par exemple, les cartes prépayées ou les abonnements). La prochaine étape consiste à estimer les principaux moteurs de la demande pour chaque segment et à décider du niveau de détail requis pour appréhender la situation réelle. Au fur et à mesure de l'évaluation, cette étape peut être revisitée et réexaminée pour vérifier que les décisions initiales sont toujours valables.

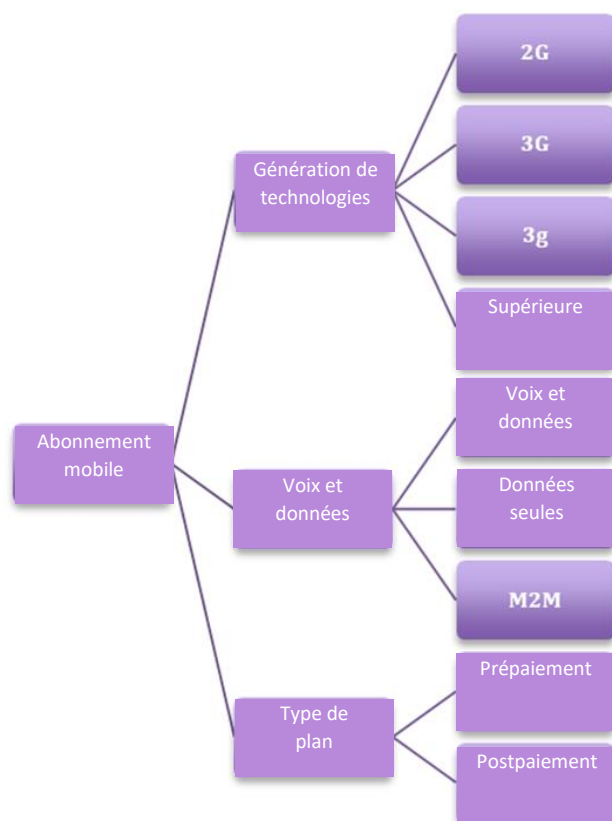
Concernant le niveau de la segmentation de la demande, il est nécessaire de décider s'il faut utiliser les données existantes sur la taille des segments ou entreprendre de nouvelles recherches pour obtenir une estimation indépendante. La base de données de l'UIT "L'œil sur les TIC"¹⁵ fournit un large éventail d'informations publiques sur les niveaux de demande historiques par segment à l'intention de nombreux pays. Certains régulateurs nationaux mettent également à disposition un large éventail de statistiques et d'indicateurs sur leur secteur des télécommunications.

Même avec de bonnes sources de données, il se peut que les informations disponibles ne soient pas segmentées dans les catégories les plus adéquates pour soutenir une analyse lucide. Dans de pareils cas, il est important de décider s'il y a lieu d'élaborer des prévisions sur la base des données historiques disponibles ou d'entreprendre une nouvelle série de jugements d'experts, ce qui peut s'avérer long et coûteux.

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

¹⁵ Le portail de l'UIT "L'œil sur les TIC" est disponible à l'adresse: <https://www.itu.int/ITU-D/icteye/>.

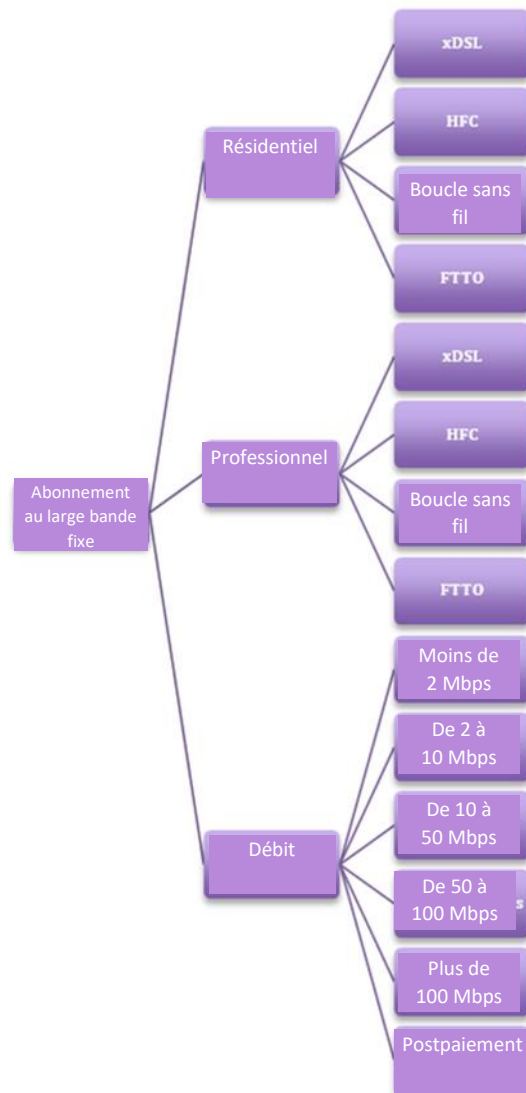
Figure 3: Exemple de décomposition de la demande de large bande mobile



Source: Diagramme fondé sur les données tirées de Fields et Kumar (2002)

La décomposition de la demande globale fixe pourrait suivre la structure présentée dans la Figure 4.

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



Source: Diagramme fondé sur les données tirées de Fields et Kumar (2002)

Lorsqu'ils décomposent la demande globale, les décideurs politiques doivent garder à l'esprit l'objectif de politique publique visé pour trouver le meilleur modèle de plan d'activités, compte tenu de la disponibilité des données.

2.4 Estimation de la part de marché du nouvel opérateur potentiel

Une fois la demande de services définie, l'étape suivante consiste à modéliser la répartition du marché face à un nouvel entrant potentiel ou à une société d'ores et déjà établie, qui mettra en œuvre les objectifs de politique publique dans le contexte concurrentiel actuel.

La modélisation du marché doit toujours tenir compte des règles et critères réglementaires existants pour l'octroi du service, des plafonds en matière de spectre, de la répartition de la / des bande (s) de fréquences et du comportement du marché actuel.

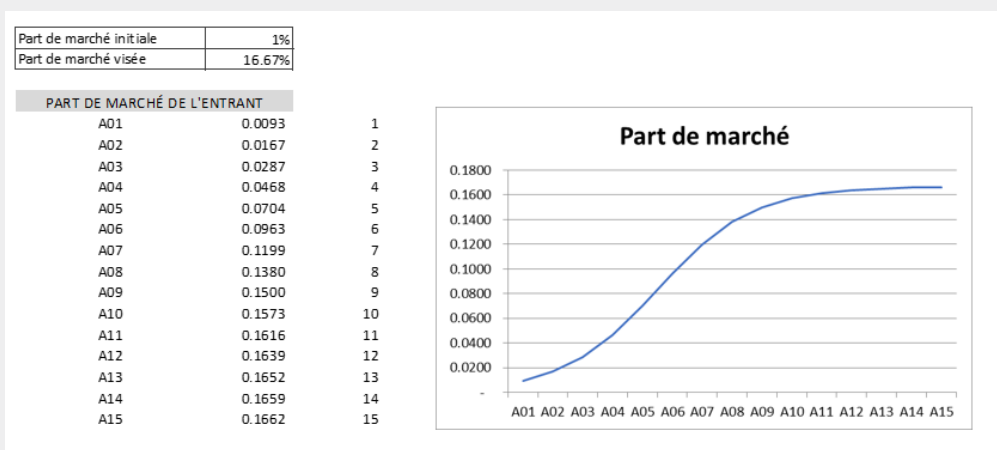
Pour estimer la part de marché d'un opérateur large bande fixe potentiel, nous devons d'abord tenir compte du statu quo des acteurs présents sur le marché et déterminer s'il existe des dispositions réglementaires de promotion de la concurrence susceptibles d'impacter le scénario concurrentiel actuel à moyen terme. Si le statu quo devait être maintenu, il est possible de simplement reproduire la part de marché actuelle des opérateurs établis avec de petites variations jusqu'à la fin du projet.

À l'inverse, si une amélioration du scénario concurrentiel est attendue sur le long terme, il est probable que la part de marché des opérateurs établis varie dans le temps et que les nouveaux entrants puissent gagner des parts de marché. Il est possible d'utiliser un modèle de courbe en S pour prévoir l'évolution de la part de marché jusqu'à la fin du projet.

Pour estimer la part de marché d'un opérateur large bande mobile potentiel, en plus des considérations susmentionnées, il est nécessaire de prendre en compte les règles de plafonnement en matière de spectre et toutes les dispositions réglementaires couvrant les opérateurs de réseaux virtuels mobiles ou le partage des réseaux d'accès radioélectriques. Sur la base de ces informations, il est alors possible de modéliser l'évolution du scénario concurrentiel sur la durée du projet et d'estimer la part de marché de l'opérateur qui le mettra en œuvre, en appliquant là aussi des modèles de courbes en S¹⁶.

Estimation de la part de marché d'un nouvel opérateur potentiel

Scénario: Un projet large bande fixe sur 15 ans à mettre en œuvre par un nouvel entrant. L'autorité de régulation des télécommunications encourage pour ce faire plusieurs mesures concurrentielles visant à atteindre un niveau de concurrence tel sur le long terme que les opérateurs se partageraient le marché en parts quasi égales. Le marché du large bande fixe comprend déjà cinq opérateurs; le nouvel entrant sera le sixième. Sa courbe de part de marché démarrera proche de zéro mais évoluera durant le projet 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 entrant sur la durée du projet.



Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration.

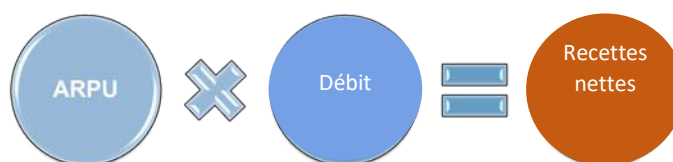
¹⁶ Les modèles de courbes en S peuvent être utilisés dans le secteur des télécommunications/TIC pour décrire le comportement d'un nouveau service sur le marché. La courbe en S se caractérise par une phase de croissance lente au départ, où seuls les premiers utilisateurs et les marchés de niche utilisent le service. La courbe augmente ensuite fortement lorsque le nouveau service connaît une croissance rapide et acquiert une position dominante sur le marché. À l'issue de cette période de forte croissance, le service maintient un niveau de performance élevé mais avec une croissance faible, ce qui signale souvent un marché mature mais saturé.

3 Estimation des recettes tirées de la fourniture des services à large bande

Cette étape consiste à estimer les recettes en lien avec la demande projetée. La manière la plus simple d'évaluer les recettes nettes est de calculer le revenu moyen par utilisateur (ARPU) pour les services ou segments de service devant être fournis conformément au plan d'activités.

La valeur ARPU est ensuite multipliée par la demande estimée pour obtenir les recettes nettes, comme le montre la Figure 5.

Figure 5: Estimation des recettes nettes



Source: UIT

Cependant, il n'est pas toujours possible d'estimer la valeur ARPU pour le service spécifique qui doit être lancé et des ajustements s'avèrent parfois nécessaires comme utiliser l'ARPU d'un service similaire. Par ailleurs, il est peu probable que cette valeur reste constante sur toute la durée du projet; il sera donc nécessaire de tabler sur certaines hypothèses pour prévoir l'évolution au cours du projet.

Les sections ci-dessous présentent certaines approches pouvant être utilisées pour estimer les recettes dans le cadre de projets et proposent une méthode de prévision de l'évolution des recettes sur la durée du projet.

3.1 Estimation des recettes dans le cadre de projets large bande mobiles

Il convient de noter tout d'abord que le projet à mettre en œuvre, même s'il concerne un réseau d'accès au large bande mobile, consiste, du point de vue de l'utilisateur final, en la fourniture de communications mobiles, à savoir de services voix et données mobiles. Il est par conséquent suggéré d'utiliser l'ARPU des services mobiles qui seront lancés pour estimer l'ARPU du projet.

De plus, l'analyse révèle qu'en dépit de l'évolution des technologies mobiles (2G, 3G, 4G LTE), l'ARPU n'a pas significativement changé pour ces nouvelles générations de technologies. Globalement, la valeur des plans pour les services des utilisateurs finals est en réalité restée quasi identique, ce qui signifie que la valeur payée par l'utilisateur n'a pratiquement pas changé alors que le service a été amélioré en termes de volumes et de qualité de données. En résumé, les années passant, les utilisateurs bénéficient pour le même prix de volumes d'appels et de messages plus grands, d'une utilisation accrue des données, de débits supérieurs et même de services à valeur ajoutée additionnels. On peut en déduire, à des fins de modélisation, que les données ARPU historiques du service mobile peuvent être utilisées pour estimer les recettes des nouveaux services à large bande mobile.

Si les données sont disponibles et s'il est possible de segmenter la demande, le fait de diviser l'ARPU en abonnements à prépaiement et abonnements à post-paiement peut renforcer la précision des projections.

3.2 Estimation des recettes dans le cadre de projets large bande fixes

Pour estimer les recettes des projets large bande fixes, il est recommandé d'utiliser l'ARPU des services à large bande fixes. En général, les fournisseurs de services sur le marché du large bande fixe proposent *a minima* deux grands profils de plan: un profil bas débit et un profil haut débit. Le profil bas débit couvre aujourd'hui des plans allant jusqu'à 20-25 Mbit/s, tandis que le profil haut débit couvre des plans de 25 Mbit/s et plus.

Une fois encore, si les données sont disponibles et s'il est possible de segmenter la demande, le fait de diviser l'ARPU en plans bas débit et plans haut débit peut renforcer la précision des projections.

3.3 Estimation des recettes dans le cadre de projets relatifs aux réseaux de transport

Tant que les projets relatifs aux réseaux de transport continuent de dépendre, dans une large mesure, des services de télécommunication de gros, il est conseillé, pour estimer les recettes nettes de ces projets, de se baser sur l'offre publique de lignes louées de l'opérateur historique (ou du fournisseur de services en position de force sur le marché).

Si le pays en question ne propose pas d'offre publique pour ce type de services de gros, une alternative consiste à consulter le site Web des autres autorités de régulation pour obtenir des valeurs de référence fiables applicables dans le cas de lignes louées et de la connectivité. Il est aussi possible d'utiliser un indice de parité de pouvoir d'achat pour éliminer toute différence de prix au niveau des taux de change. Les prix utilisés comme référence doivent exclure les taxes et les provisions pour inflation.

Estimation des recettes dans le cadre de projets large bande fixes

Soit un projet large bande fixe qui sera déployé sur 10 ans dans le pays W. Les opérateurs du pays W proposent généralement deux grands types d'offres en matière de large bande: une offre bas débit et une offre haut débit.

La valeur ARPU dans le pays W est la suivante:

- offre bas débit: 22 USD;
- offre haut débit: 48 USD.

Sur les cinq dernières années, l'ARPU a régulièrement diminué avec un taux de 0,5% par an. Selon les estimations, cette tendance devrait se poursuivre au cours des dix années du projet. Une fois que l'ARPU total est estimé pour toutes les années du projet, les recettes globales peuvent être calculées en multipliant la demande d'une année par l'ARPU total de la même année.

À noter qu'au cours de la première année d'exploitation, il est recommandé de ne considérer les recettes que sur six mois, car il faut prévoir du temps entre le déploiement du réseau et la commercialisation des services.

Évolution de l'ARPU pour le large bande fixe			
	Offres bas débit	Offres haut débit	
A01	\$ 22.00	\$ 48.00	
A02	\$ 21.89	\$ 47.76	
A03	\$ 21.78	\$ 47.52	
A04	\$ 21.67	\$ 47.28	
A05	\$ 21.56	\$ 47.05	
A06	\$ 21.46	\$ 46.81	
A07	\$ 21.35	\$ 46.58	
A08	\$ 21.24	\$ 46.34	
A09	\$ 21.14	\$ 46.11	
A10	\$ 21.03	\$ 45.88	
Demande estimée en matière de large bande fixe			
	Offres bas débit	Offres haut débit	
A01	25,650	1,350	
A02	43,200	4,800	
A03	90,100	15,900	
A04	132,000	33,000	
A05	183,000	61,000	
A06	221,900	95,100	
A07	248,950	134,050	
A08	283,200	188,800	
A09	319,000	261,000	
A10	368,500	368,500	
Recettes globales			
	Offres bas débit	Offres haut débit	Recettes globales
A01	\$ 3,385,800	\$ 388,800	\$ 3,774,600
A02	\$ 11,347,776	\$ 2,750,976	\$ 14,098,752
A03	\$ 23,549,131	\$ 9,067,045	\$ 32,616,176
A04	\$ 34,327,889	\$ 18,724,303	\$ 53,052,192
A05	\$ 47,352,983	\$ 34,438,533	\$ 81,791,516
A06	\$ 57,131,632	\$ 53,421,786	\$ 110,553,418
A07	\$ 63,775,598	\$ 74,925,178	\$ 138,700,777
A08	\$ 72,186,958	\$ 104,999,212	\$ 177,186,170
A09	\$ 80,905,725	\$ 144,426,749	\$ 225,332,475
A10	\$ 92,992,762	\$ 202,893,298	\$ 295,886,060

Note – Les valeurs sont données à titre d'illustration

3.4 Comportement des recettes sur la durée du projet

La valeur de l'ARPU initial pour le projet doit tenir compte des dernières valeurs calculées. L'évolution de l'ARPU au cours du plan d'activités peut être estimée sur la base de l'évolution récente du revenu moyen par utilisateur. Dans le cas où ces informations ne seraient pas disponibles, il est toujours possible d'obtenir ces données auprès des sites Web de certaines autorités de régulation des télécommunications d'autres pays ou de banques d'investissement et d'utiliser par approximation l'ARPU d'un pays ayant un profil socio-économique similaire.

Une autre stratégie pour estimer les recettes nettes consiste à utiliser le Panier des prix des TIC (IPB) de l'UIT¹⁷. Cette base de données complète fournit des sous-paniers fixes, mobiles et large bande pour environ 165 pays. Il est important de se rappeler de soustraire les effets fiscaux dans l'estimation des revenus nets. Lors de l'analyse des tendances historiques de l'ARPU, les effets inflationnistes doivent également être éliminés de l'estimation pour garantir que le plan d'activités reflète dans tous les cas des valeurs réelles.

¹⁷ Le Panier des prix des TIC (IPB) est disponible à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-D/ict/ipb/>

Après avoir estimé la demande projetée puis les prévisions ARPU, on estime les recettes annuelles sur la base du service particulier associé au réseau qui sera mis en œuvre.

À noter qu'au cours de la première année d'exploitation, les recettes ne peuvent être considérées que sur six mois, car il faut prévoir du temps entre le déploiement du réseau et la commercialisation des services.

4 Estimation des investissements dans les réseaux large bande (CAPEX)

L'un des plus gros défis auxquels sont confrontés les gouvernements souhaitant instaurer des politiques publiques économiquement viables visant à favoriser les investissements dans l'expansion des réseaux large bande consiste à estimer correctement les dépenses CAPEX nécessaires pour combler les lacunes d'un pays donné en matière d'infrastructure de réseau.

Il est capital pour les décideurs de disposer des informations sur le niveau d'investissement requis pour élaborer un plan cohérent, crédible et fiable, sur lequel ils pourront se baser aux fins de l'évaluation de l'attractivité et de la durabilité d'une activité de télécommunications hypothétique dans des zones géographiques mal desservies.

Les principaux éléments à prendre en compte pour estimer le CAPEX sont les suivants:

- les données prévisionnelles de la demande de services large bande fixes et mobiles ainsi que les données détaillées relatives aux lacunes des infrastructures actuelles – par exemple, une liste de villes non desservies par les réseaux de transport à fibre optique;
- la demande attendue (en termes d'utilisateurs, de trafic ou de Mbps) de la municipalité en ce qui concerne les réseaux large bande fixes et mobiles sur les années à venir; ces informations sont importantes pour les décisions de conception du réseau de même que pour l'estimation des investissements.

Compte tenu de ces éléments, le CAPEX requis pour combler certaines lacunes identifiées en termes d'infrastructure dépendra naturellement du service et de la technologie retenus. Par exemple, les décideurs désireux de remédier vite fait à un manque d'offres large bande dans une région donnée choisiront de modéliser le déploiement de réseaux d'accès au large bande mobile peu coûteux et rapidement opérationnels (3G, 4G LTE, etc.), tandis que ceux qui développent une vision plus long terme préféreront modéliser le déploiement de réseaux d'accès FTTH (fibre jusqu'au domicile). Même pour déployer des réseaux de transport dorsaux/de raccordement, le choix de modéliser des réseaux hyperfréquences standard communs ou des réseaux à fibre optique de nouvelle génération sera fonction des objectifs de politique publique et de la demande de trafic prévisionnelle de chaque municipalité ou région, et pourra influencer directement sur le niveau d'investissement requis.

Afin de fournir des orientations utiles sur la façon d'estimer le CAPEX requis pour répondre aux besoins d'infrastructure à large bande et compte tenu de la disparité des informations qui s'avère inévitable dans toute analyse de décideurs, les sections suivantes de ce kit pratique offrent des exemples d'approches pouvant être suivies en toute confiance par les gouvernements qui souhaitent encourager le déploiement des réseaux large bande mobiles 4G LTE, des réseaux large bande fixes FTTH et des réseaux de transport large bande hyperfréquences et fibre optique, qui sont les technologies les plus courantes actuellement choisies pour les extensions de réseaux à large bande.

4.1 Réseaux d'accès au large bande mobile

Ce modèle vise à estimer l'infrastructure de réseau requise pour satisfaire la demande des utilisateurs du large bande mobile 4G LTE potentiels en termes de couverture et de capacité (Mbit/s) dans les

municipalités ou régions qui ne sont pas encore desservies, pour déterminer la viabilité économique de ces investissements.

Pour effectuer ce calcul, on prend pour hypothèse un opérateur modélisé, qui ne possède qu'un seul bloc de radiofréquences à utiliser dans les nœuds B évolués (e-NodeB) 4G LTE traditionnels (ci-après dénommés *macrocellules*), avec une solution à *petites cellules* moins coûteuse et mieux adaptée à la demande croissante concernant la capacité de transmission de données à mettre en œuvre dans les municipalités où la demande de capacité dépasse la capacité fournie par les macrocellules.

Cette solution simplifiée à petites cellules se compose d'un système d'antennes sectorielles et d'un point d'accès WiFi servant à décharger le trafic directement sur le réseau de transport fixe. La topologie du réseau d'accès large bande mobile envisagée est représentée à la Figure 6.

Figure 6: Réseau LTE hétérogène



Il est intéressant de noter que les gains de capacité obtenus via cette approche sont considérables et réduisent le besoin d'une expansion future du réseau fondé sur les seules exigences en matière de capacité. Concrètement, les opérateurs réduisent potentiellement le besoin d'investissement sur de courtes périodes, en monétisant mieux leur infrastructure. La solution modélisée pour le déploiement d'une infrastructure hybride comprenant macrocellules + petites cellules + points d'accès WiFi correspond en fait à une tendance mondiale observée au sein des réseaux hétérogènes à large bande sans fil 4G LTE, encouragée par la nécessité de réduire le CAPEX nécessaire pour répondre à la demande explosive du large bande mobile¹⁸. Cette stratégie hybride a le triple avantage de satisfaire les besoins de couverture, d'encourager la mobilité des utilisateurs et de répondre à la demande de capacité, tout en favorisant des investissements supplémentaires et mieux répartis sur les années d'exploitation.

Calcul de l'investissement dans le déploiement des sites de couverture (macrocellules)

Afin de calculer le nombre de macrocellules nécessaires pour couvrir chaque municipalité non desservie, on divise la zone cible à couvrir par la surface maximale qui peut être couverte par un nœud B évolué standard, selon l'équation suivante:

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

où:

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

¹⁸ 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>.

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

$A_{eNb_{avg}}$ est la surface maximale couverte par un nœud B évolué standard

Pour estimer la valeur $A_{eNb_{avg}}$, il est possible de prendre pour référence le rayon moyen de la zone de couverture des sites de réseau à large bande sans fil 4G LTE déployés dans les municipalités déjà desservies par les réseaux 4G LTE utilisant le même spectre. Il est également possible d'utiliser les références internationales issues du déploiement des réseaux à large bande sans fil 4G LTE dans d'autres pays.

Après avoir calculé le nombre de sites de couverture requis, il faut déterminer le coût unitaire de chaque site de façon à pouvoir estimer l'investissement nécessaire. Le coût unitaire peut varier significativement d'un pays à l'autre et devra, pour plus de précision, être obtenu auprès d'opérateurs de réseaux large bande mobiles locaux ou de fournisseurs de réseaux locaux.

Enfin, le déploiement de la 4G pour être rentable devra tirer parti de l'infrastructure passive (pylônes, etc.) disponible pour le partage, car le partage permettra des économies de coûts importantes dans le déploiement des macrocellules.

Macrocellules

L'exemple suivant montre l'estimation du nombre d'éléments d'infrastructure passifs et actifs nécessaires dans le déploiement de macrocellules.

Estimation des macrocellules 4G

Ville: exemple 1

Pylônes en partage = 7 (2G, 3G, etc.)

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

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

$$N_{macrocellules} = 19$$

$$N_{macrocellules} = A_t / A_{eNb_{avg}}$$

Infra passives (pylônes, etc.) = 19 - 7 = 12

Infra actives (e-NodeBs, etc.) = 19

Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration.

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

Une fois que les besoins en infrastructure pour les sites de couverture (macrocellules) ont été déterminés, il y a lieu d'évaluer la meilleure stratégie pour relever le défi de la construction d'un réseau avec une capacité suffisante (Mbit/s) pour répondre à la demande de trafic du réseau sans fil 4G LTE et avec un CAPEX optimisé.

La première étape consiste à prévoir la demande de trafic attendue dans chaque municipalité pour les prochaines années¹⁹, en se fondant sur la demande des utilisateurs du réseau sans fil 4G LTE couvrant différents profils, comme les utilisateurs de services voix et données à prépaiement ou postpaiement, les utilisateurs de modem qui ne génèrent qu'un trafic de données, etc.

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

Sur la base de cette méthode et conformément aux estimations de la demande des utilisateurs du réseau sans fil 4G LTE par municipalité et par type de profil d'utilisateur ainsi qu'à l'estimation de la matrice de débits à offrir dans les plans de données du réseau sans fil 4G LTE, il est possible d'obtenir la capacité de trafic estimée qui doit être prise en charge par le réseau d'accès sans fil 4G LTE à déployer dans chaque municipalité desservie.

Une fois que cette demande de trafic (Mbit/s) est connue et que la demande incrémentielle à satisfaire sur chaque année d'exploitation est identifiée, il est possible de 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 chaque année de la prestation de services dans chaque municipalité peut être calculé en utilisant l'équation suivante:

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

où:

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

F_s est le facteur de partage de réseau, généralement appelé **taux de contention**

$C_{macrocell}$ et $C_{smallcell}$ sont la capacité (en Mbit/s) fournie par chaque macrocellule (nœuds B évolués standard avec 3 secteurs) ou petite cellule (1 secteur uniquement). Cette capacité est calculée en multipliant la quantité de spectre (MHz) disponible pour les réseaux 4G LTE dans la municipalité sur l'année A (B_A), l'efficacité spectrale (bit/s/Hz) des réseaux 4G LTE commerciaux sur l'année A (η_A) et le nombre de secteurs par site de réseau 4G LTE (S)

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

Maintenant que nous avons présenté l'équation utilisée pour calculer le nombre de petites cellules et points d'accès WiFi à installer dans chaque municipalité sur une année donnée, nous pouvons discuter des hypothèses utilisées pour définir les valeurs de chacune des variables qui composent l'équation.

Comme mentionné précédemment, D_{T_A} est la demande de l'année A, soit la demande de trafic (Mbit/s) existante sur l'année A dans une municipalité donnée. La section ci-dessous sur les petites cellules illustre l'application de cette formule.

L'utilisation du facteur de déchargement $F_{off-load}$ se fonde sur l'hypothèse que, compte tenu de la croissance rapide du trafic avec la popularisation des terminaux de réseau mobile 4G LTE, on observe

¹⁹ Le nombre d'années dépend du délai défini pour le calcul de la valeur actualisée nette (NPV). Par exemple, une prévision de la demande sur 10 ans a été utilisée par le Brésil pour calculer la NPV d'un projet à large bande fixe.

une tendance mondiale qui consiste à utiliser les réseaux WiFi pour décharger une partie de ce trafic²⁰, surtout dans les zones urbaines très denses. De plus, le facteur de délestage représente une recherche d'efficacité dans le déploiement du réseau, car certaines zones (par exemple les micro-centres urbains, les centres commerciaux, les aéroports, etc.) à forte concentration de demande peuvent voir leur capacité largement desservie par les points d'accès WiFi.

Selon de récentes estimations²¹, jusqu'à 63% du trafic large bande mobile devrait transiter par les réseaux WiFi, réduisant ainsi les exigences de la demande à prendre en compte lors du dimensionnement d'un réseau mobile avec des fréquences sous licence. Ces estimations devraient par ailleurs permettre une optimisation significative de la valeur CAPEX.

Le facteur de partage de réseau F_s , également connu dans l'écosystème des télécommunications sous le nom de taux de contention, est un paramètre couramment utilisé dans la conception de réseaux à commutation par paquets, tels que les réseaux de données sans fil 4G LTE. Ce paramètre est utilisé dans les équations de dimensionnement de réseau car, dans la plupart des cas, les utilisateurs ont besoin des ressources réseau (envoi et réception de paquets de données) à des moments différents. Étant donné que les utilisateurs ne tirent pas tous sur la capacité mobile du réseau exactement en même temps, il ne serait pas efficace qu'un réseau puisse prendre en charge le trafic total maximal de données de prévision, car une telle occasion ne se produira jamais. C'est pourquoi le facteur de partage de réseau (taux de contention) est utilisé pour déterminer le nombre d'utilisateurs que le réseau doit être capable de prendre en charge simultanément. Ce facteur peut varier selon les pays et est parfois établi par le cadre réglementaire national en matière de qualité de service. Une valeur type prise en compte dans le dimensionnement d'un réseau à large bande (fixe ou mobile) est de 1:20 (5%), c'est-à-dire que pour chaque 20 Mbit/s de capacité souscrite, le réseau n'a besoin de fournir que 1 Mbit/s, puisque dans des conditions normales seulement 5 pour cent des utilisateurs utiliseront le réseau en même temps.²²

L'efficacité spectrale η_A , en (bit/s/Hz), des réseaux LTE commerciaux sur l'année A peut être obtenue auprès des opérateurs et fournisseurs de réseau locaux; 4 bits/s/Hz est généralement le point de référence pour les réseaux utilisant la modulation MAQ-256. Il est par ailleurs possible de prévoir l'évolution de l'efficacité spectrale en analysant le comportement historique de la courbe croissante de l'efficacité spectrale des technologies de transmission de données dans les réseaux mobiles, depuis le début des technologies de troisième génération (WCDMA, HSPA, etc.) jusqu'à l'émergence des réseaux LTE et leur mise à niveau (versions ultérieures) par le Forum 3GPP. Sur cette base, une courbe d'efficacité spectrale croissante peut être projetée sur les prochaines années, jusqu'à la maturité des réseaux LTE et le lancement commercial de technologies de réseaux mobiles plus avancées (par exemple, 5G).

La dernière variable est la quantité de spectre (MHz) disponible pour les réseaux LTE B_A dans chaque municipalité au cours d'une année A donnée. Cette valeur dépend du pays et est connue des régulateurs.

Lorsque l'on comprend toutes les variables utilisées pour calculer le nombre de petites cellules nécessaires sur une année A donnée pour répondre à la demande de trafic de données dans chaque municipalité, il est possible d'obtenir la quantité d'infrastructures à déployer, non seulement pour résoudre les problèmes de couverture mais aussi pour garantir une capacité suffisante permettant de répondre adéquatement à la demande de large bande mobile.

²⁰ Voir: <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

²¹ 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>.

²² Voir: <http://businessdocbox.com/Logistics/66514074-Lte-network-design-from-a-techno-economic-perspective.html>. *LTE Network Design from a Techno-Economic Perspective*.

Petites cellules

Le Tableau suivant illustre l'estimation du nombre de petites cellules nécessaires pour un déploiement de réseau 4G LTE donné par an, compte tenu du scénario suivant:

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

Estimation de petites cellules 4G						
Capacité à desservir par le réseau						
Année	D_{TIC}	$(1 - F_{off-load})$	F_s	$[D_{TIC} (1 - F_{off-load}) F_s]$		
1	100 Gbps	37%	5%	1.85 Gbps		
2	120 Gbps	37%	5%	2.22 Gbps		
3	150 Gbps	37%	5%	2.78 Gbps		
4	175 Gbps	37%	5%	3.24 Gbps		
5	210 Gbps	37%	5%	3.89 Gbps		
6	250 Gbps	37%	5%	4.63 Gbps		
7	300 Gbps	37%	5%	5.55 Gbps		
8	360 Gbps	37%	5%	6.66 Gbps		
9	480 Gbps	37%	5%	7.96 Gbps		
10	520 Gbps	37%	5%	9.62 Gbps		
Capacité desservie par les macrocellules						
Année	$N_{macrocell}$	B_A	η_A	S	$C_{macrocell}$	$N_{macrocell} \cdot C_{macrocell}$
1	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
2	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
3	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
4	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
5	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
6	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
7	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
8	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
9	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
10	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
Capacité à desservir par les macrocellules						
Année	$\max\{[D_{TIC} (1 - F_{off-load}) F_s] - (N_{macrocell} \cdot C_{macrocell}); 0\}$					
1	0					
2	0					
3	0					
4	0					
5	0.47 Gbps					
6	1.21 Gbps					
7	2.13 Gbps					
8	3.24 Gbps					
9	4.54 Gbps					
10	6.2 Gbps					
Capacité des petites cellules						
Année	B_p	η_p	S	$C_{smallcell}$		
1	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
2	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
3	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
4	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
5	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
6	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
7	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
8	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
9	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
10	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps		
Nombre de petites cellules						
Année	$\frac{\max\{[D_{TIC} (1 - F_{off-load}) F_s] - (N_{macrocell} \cdot C_{macrocell}); 0\}}{C_{smallcell}}$					
1	0					
2	0					
3	0					
4	0					
5	8					
6	21					
7	36					
8	54					
9	76					
10	104					

Dans ce scénario, il ne faudrait offrir plus de capacité au réseau sans fil qu'au cours de la cinquième année. À la fin du projet, un total de 104 petites cellules seraient déployées.

Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration.

Coûts unitaires de l'infrastructure

Après avoir défini le nombre de sites de réseaux large bande sans fil 4G LTE à déployer, il faut ensuite obtenir les coûts unitaires impliqués dans le déploiement de chacun de ces sites pour pouvoir estimer la valeur CAPEX.

Afin de mieux comprendre l'approche de tarification des macrocellules, les éléments de réseau sont classés en trois catégories:

- i) les infrastructures passives (pylônes, etc.), dont le coût peut être réduit (parfois très substantiellement) grâce au partage des structures déjà installées;

- ii) les nœuds B évolués, qui comprennent l'ensemble des équipements composant le contrôleur, l'émetteur et le système radio;
- 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 réseau locaux.

Une fois les prix des macrocellules obtenus, ces valeurs peuvent être utilisées comme référence pour estimer le coût de l'approche des petites cellules. Des études de marché²³ ont estimé que le coût d'un site standard de petites cellules + point d'accès Wi-Fi représentait 21% du coût des macrocellules. Bien que ce pourcentage soit utilisé comme référence, il convient de toujours tenir compte des informations tarifaires actuelles obtenues auprès des opérateurs et des fournisseurs de réseau locaux à des fins de planification réelle.

Résultats de l'estimation de la valeur CAPEX

Une fois que le nombre total de sites de réseaux large bande sans fil 4G LTE (macrocellules et petites cellules + points d'accès WiFi) à installer chaque année dans chacune des communes à desservir a été estimé, et une fois que les coûts unitaires des éléments d'infrastructure du réseau d'accès ont été définis, il est possible de calculer l'investissement total (CAPEX) requis par année.²⁴

Cette matrice CAPEX définira la valeur actualisée nette de l'activité de réseaux large bande sans fil 4G LTE et sera l'un des facteurs déterminants dans l'appréciation de l'inclusion des zones mal desservies dans les politiques publiques visant à encourager la construction d'infrastructures large bande mobiles.

4.2 Réseaux d'accès au large bande fixe

La modélisation utilisée par les régulateurs pour estimer l'investissement nécessaire à la construction d'un réseau FTTH peut s'appuyer sur des références internationalement reconnues relatives à l'architecture de réseau et aux techniques d'estimation des équipements et des fibres optiques. Une fois la quantité d'équipement et de câblage requise calculée et leur coût unitaire déterminé, la valeur CAPEX totale pour déployer le réseau peut être obtenue.

La première étape consiste à choisir la technologie de réseau FTTH à utiliser comme référence pour le dimensionnement du réseau. Après avoir évalué les différentes technologies sur le marché, la technologie GPON (Gigabit Passive Optical Network, Recommandation UIT-T de la série G.984.1-G.984.6) a été retenue pour cet exercice, en raison du déploiement étendu de cette technologie dans le monde entier.

Les réseaux GPON, conformément à la Recommandation UIT-T G.984.1²⁵, sont caractérisés par des systèmes de terminaison de ligne optique et des terminaisons de réseau optique, avec un réseau de distribution optique passif formé par des séparateurs interconnectant les terminaux de ligne optique et les terminaux de réseau optique.

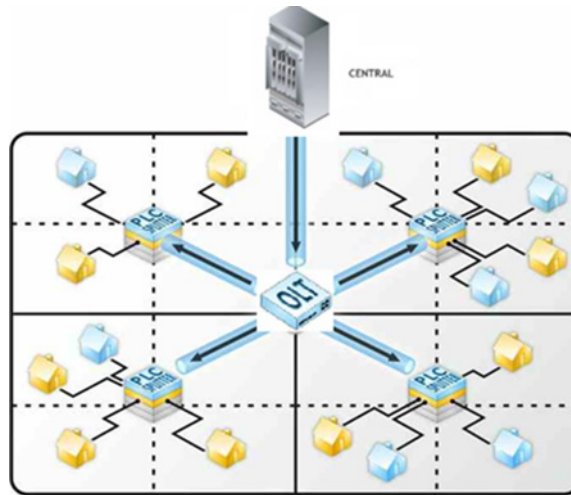
Pour nos besoins, l'approche la plus simple consistera à modéliser la construction de l'infrastructure de réseau en utilisant la topologie la plus conventionnelle pour les réseaux FTTH qui est la topologie en étoile. Le dimensionnement du réseau dans cet exercice suppose donc l'existence d'un bureau central FTTH local dans chaque municipalité, avec des terminaux de ligne optique et des séparateurs installés selon le nombre souhaité de "foyers raccordables" dans chaque municipalité. La Figure 7 illustre la topologie de réseau proposée.

²³ Source: Paolini, M. (2012), *The economics of small cells and Wi-Fi offload*, Senza Fili Consulting, page 2.

²⁴ Le besoin d'investissement dans les équipements de base du réseau sans fil 4G LTE n'a pas été estimé ici, partant du principe que la modélisation comptait déjà des réseaux 4G LTE dans les régions les plus attractives du pays et avait donc déjà cet équipement.

²⁵ <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>

Figure 7: Topologie de réseau FTTH



Source: UIT

Sur la base de cette topologie, le prochain défi consiste à estimer le nombre de terminaux de ligne optique, de séparateurs, de terminaux de réseau optique et de kilomètres de câbles à fibres optiques dans les couches d'agrégation²⁶ et d'accès²⁷ nécessaires à la mise en œuvre du réseau FTTH et à la fourniture de services à très large bande.

Terminaux de ligne optique (OLT)

Pour dimensionner le nombre de terminaux OLT requis, il est important de considérer la Recommandation UIT-T G.984.1 "Réseaux optiques passifs gigabitaires (GPON): caractéristiques générales", qui indique le taux de 1:128 comme le taux de division optique maximal. Cela signifie qu'au maximum, 128 utilisateurs peuvent être connectés à chaque port optique d'un OLT. La décision concernant la capacité des terminaux OLT (en termes de nombre de ports) est un choix de conception, car des terminaux OLT à 16 ports sont généralement disponibles sur le marché. Compte tenu du taux de division optique maximal et de la capacité OLT maximale, il est donc possible de connecter jusqu'à 2048 utilisateurs via OLT. Par conséquent, le nombre de terminaux OLT devant être installés dans un réseau FTTH peut généralement être calculé comme suit:

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

où:

N_{OLT_p} est le nombre de terminaux OLT à estimer en fonction du nombre de ports nécessaires

N_{hp} est le nombre de foyers raccordables souhaités

K_{OLT} est le nombre de ports du terminal OLT choisi

S_R est le taux de division optique utilisé

Cependant, sachant que la capacité standard du flux de trafic agrégé d'un terminal OLT est généralement limitée à 10 Gbit/s, nous constatons que plus le nombre de ports est élevé (et, par conséquent, le nombre d'utilisateurs connectés au même terminal OLT), plus la possibilité d'offrir des connexions large bande à haut débit sera réduite.

²⁶ La couche d'agrégation comprend le réseau entre le bureau central FTTH local et les séparateurs au niveau de la rue.

²⁷ La couche d'accès comprend le réseau entre les séparateurs au niveau de la rue et les foyers abonnés.

Par exemple, un terminal OLT avec un nombre maximum d'utilisateurs connectés, une capacité de trafic agrégée de 10 Gbit/s et un facteur de partage de réseau standard de 5% (1:20) pourrait offrir à l'utilisateur final des débits allant (approximativement) jusqu'à 100 Mbit/s. Mais pour augmenter la vitesse offerte au-delà, il serait nécessaire d'augmenter le nombre de terminaux OLT pour répondre à la demande de ce même nombre d'utilisateurs. L'équation ci-dessous présente la formule de calcul de la quantité de terminaux 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 terminaux OLT à estimer en fonction de la vitesse de connexion à offrir aux abonnés

N_{hp} est le nombre de foyers raccordables souhaités

Tx_u est la vitesse de connexion offerte à un abonné FTTH type en Mbit/s

F_s est le facteur de partage de réseau

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

Comme ci-avant, le facteur de partage de réseau F_s (taux de contention) qui intervient 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 indiqué ici de même qu'à la section 6, cet élément introduit dans l'équation de dimensionnement du réseau le fait que les abonnés n'accèdent pas tous à l'Internet en même temps, et améliore ainsi l'efficacité en éliminant la surproduction de capacité. Comme pour les réseaux à large bande mobiles présentés ci-avant, la valeur type pour les réseaux à large bande fixe est de 1:20 ($F_s = 5\%$).

Terminaux de ligne optique

Il existe deux approches pour calculer le nombre de terminaux de ligne optique (OLT) nécessaires au déploiement du réseau FTTH: la première est basée sur le nombre de ports physiques requis pour connecter tous les foyers pouvant être raccordés; la seconde se fonde sur la vitesse de connexion à offrir aux abonnés. Le calcul final du nombre de terminaux OLT tient compte du plus grand nombre de ces deux approches, comme illustré ci-dessous.

Estimation des terminaux OLT	
$N_{OLT_p} = \frac{N_{hp}}{K_{OLT} \cdot S_R}$	$N_{OLT_s} = \frac{N_{hp} \cdot T_{Xu} \cdot F_S}{C_{OLT}}$
$N_{hp} = 50\,000$ foyers raccordables	$N_{hp} = 50\,000$ foyers raccordables
$K_{OLT} = 16$ ports	$T_{Xu} = 80$ Mbit/s
$S_R = 128$	$F_S = 5\%$
$N_{OLT_p} = 25$	$C_{OLT} = 10,000$ Mbit/s
	$N_{OLT_s} = 20$
$N_{OLT} = \max(N_{OLT_p}; N_{OLT_s}) = 25$	

Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration

Séparateurs

Le dimensionnement de la quantité de séparateurs à installer dans chaque municipalité pour couvrir le nombre de foyers raccordables souhaités est dans une large mesure un choix de 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 sur un terminal OLT type, plusieurs configurations de séparateur peuvent être choisies, par exemple 1: 2, 1: 4, 1: 8, 1:16, etc. Dans le cas du déploiement d'une seule couche de 1:16 séparateurs, huit séparateurs seront nécessaires pour connecter chaque port OLT à 128 utilisateurs. En général, la formule de calcul du nombre de séparateurs requis pour un réseau avec une seule couche de séparateurs est la suivante:

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

où:

$N_{splitter}$ est le nombre de séparateurs requis sur le réseau

N_{hp} est le nombre de foyers raccordables souhaités

$K_{splitter}$ est le nombre de ports disponibles selon le type de séparateur choisi, c'est-à-dire le nombre maximum d'utilisateurs par séparateur

Calcul des fibres optiques (couche de séparation)

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

Estimation des séparateurs

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

N_{hp} = 50 000 foyers raccordables

$K_{splitter}$ = 16 ports

$N_{splitter}$ = 3125 séparateurs

Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration

Modélisation mathématique pour le dimensionnement des câbles à fibres optiques

Après avoir calculé le nombre de séparateurs et de terminaux OLT requis pour atteindre le nombre de foyers raccordables souhaité, la prochaine étape pour modéliser l'investissement requis consiste à estimer le nombre de kilomètres de fibre optique nécessaires pour interconnecter tous les éléments de la configuration en étoile vers le bureau central FTTH. Après avoir évalué les méthodologies les plus utilisées pour estimer le kilométrage des fibres nécessaires à la mise en œuvre des réseaux FTTH, deux approches- spatiale et géométrique- se démarquent.

L'**approche spatiale** se fonde sur l'existence de données géospatiales pour la zone urbaine à desservir et comprend des informations sur le profil de distribution des ménages, les réseaux routiers, la géolocalisation des éléments de télécommunications existants, etc. Sur la base de ces informations détaillées, la position géographique du bureau central FTTH local, des répartiteurs et des terminaux OLT est ainsi définie de manière optimale pour tenir compte du nombre de foyers raccordables souhaité tout en minimisant le nombre de kilomètres de câble nécessaires pour interconnecter l'équipement requis. Ce modèle, bien que précis, présente aussi un inconvénient dans la mesure où les informations géospatiales complètes qui sont requises, bien souvent, ne sont tout simplement pas disponibles.

À côté de cela, l'**approche géométrique** utilise des modèles mathématiques pour calculer la quantité de fibre optique nécessaire, sur la base de simplifications des conditions géospatiales, du relief géographique, des réseaux routiers et de la répartition des foyers. Cette approche est moins précise que l'approche spatiale, mais elle peut fournir une bonne estimation de la quantité de fibre nécessaire même en l'absence d'informations géospatiales et représente un moyen rapide et raisonnablement précis de dimensionnement du réseau.

Le document *Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment*²⁸ propose une analyse comparative d'un modèle de calcul spatial et de deux modèles de calcul géométrique, le Triangle Model (TM) et le Simplified Street Length Model (SSL). Le résultat de cette

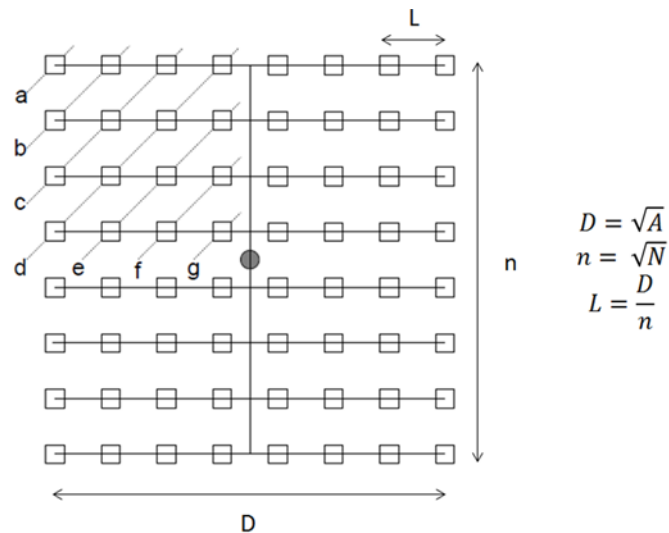
²⁸ Une contribution universitaire publiée par l'IEEE en 2013: <https://biblio.ugent.be/publication/4402261>

analyse comparative démontre que le modèle géométrique SSL fournit des résultats plus précis que le modèle TM, mais reste néanmoins nettement 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 largement dues aux imperfections non reflétées par le relief géographique et la répartition spatiale des foyers. Des facteurs de correction à appliquer aux résultats du modèle géométrique sont proposés afin d'améliorer la précision.

À la lumière de ces éléments, dans les cas où l'indisponibilité des données géospatiales pour les municipalités à desservir rend impossible l'utilisation du modèle spatial, il est suggéré d'utiliser le modèle géométrique SSL corrigé tel que décrit dans le document cité ci-avant pour le calcul de la quantité de câbles à fibres optiques nécessaire à l'interconnexion des différents éléments du réseau optique.

Le modèle SSL prend pour hypothèse de base une distribution uniforme des éléments à connecter par fibre optique dans une zone de forme carrée, où l'élément de la couche supérieure, auquel tous les autres s'interconnectent, est situé au centre de ce carré, comme présenté dans le schéma à la Figure 8.

Figure 8: Modèle géométrique SSL



Source: UIT

où:

A est la surface carrée en km^2

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 inclus dans le carré

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

Dans ce scénario, compte tenu de la restriction courante relative à la pose de fibres optiques le long des rues et des chemins existants (disposés dans le modèle SSL en lignes horizontales et verticales), le défi consiste à calculer la distance entre chaque élément et le centre du carré, sachant que cette distance est intrinsèquement liée à la distance entre les éléments uniformément répartis et la quantité de ces éléments dans le carré. De plus, un autre facteur à prendre en compte dans ce calcul est l'existence de deux éléments ou plus empilés dans la même position. Cet effet est pris en compte au travers de la variable K , qui est le nombre moyen d'éléments dans la même position dans le carré considéré.

Un point important à observer dans cette représentation géométrique est que si nous divisons le carré considéré en quatre quadrants de taille égale et classons chacun des éléments appartenant à la

même diagonale d'un quadrant, tous les éléments de la même catégorie se trouveront à une distance équivalente du centre du carré d'origine. Par exemple, si nous trions les éléments en catégories de a à g , comme illustré dans la Figure 8 ci-dessus, la distance entre chaque élément et le centre du carré sera égale à $a = (n-1) \cdot L$; $b = (n-2) \cdot L$; $c = (n-3) \cdot L$; ...; $g = L$.

Par conséquent, on multiplie la distance d'un élément type de chaque catégorie par le nombre d'éléments de la catégorie pour obtenir la distance totale entre tous les éléments de chaque catégorie et le centre du plus grand carré. En ajoutant les distances totales de toutes les catégories, on obtient la distance ajoutée totale entre tous les éléments d'un quadrant et le centre du plus grand carré. Pour ensuite calculer la distance totale de tous les éléments contenus dans le carré, il suffit de multiplier par quatre la distance ajoutée d'un quadrant (puisque'il y a quatre quadrants) puis de multiplier cette valeur par le facteur K , puisque chaque élément doit avoir une fibre optique l'interconnectant au centre du carré, même si elle est empilée sur un autre élément.

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

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

À partir de là, l'étape suivante consiste à déterminer les valeurs des variables K , L et n pour chaque municipalité et pour chaque couche de réseau, lesquelles seront examinées prochainement.

Calcul des fibres optiques

Pour calculer le nombre de kilomètres de fibre optique avec le modèle géométrique SSL, il est nécessaire de définir les éléments de réseau et les valeurs des variables du modèle A , D , LN , n et K . Sachant que nous avons un bureau central FTTH local, des terminaux OLT, des séparateurs et des résidences à connecter par fibre dans chaque commune, le calcul doit se faire au travers d'une série d'étapes.

La première étape consiste à calculer la quantité de fibre nécessaire pour connecter les terminaux OLT de chaque municipalité au bureau central FTTH local. Lors de cette étape, la valeur de la zone urbaine à couvrir est affectée à la variable A , et le nombre de terminaux OLT à installer est affecté à la variable N . Sur la base de ces deux variables, on peut estimer les valeurs n , D et L . Considérant que $K = 1$ (distribution uniforme des terminaux OLT dans toute la zone urbaine couverte), il est possible de calculer la quantité de fibre nécessaire pour interconnecter tous les terminaux OLT au central FTTH local en utilisant la formule du modèle géométrique SSL.

Une fois que le nombre de kilomètres de câble à fibre optique nécessaires pour connecter les terminaux OLT au bureau central FTTH local dans chaque municipalité a été calculé, sur la base du modèle SSL, le résultat est ensuite divisé par le facteur de correction susmentionné de 55,5% pour compenser toute sous-estimation résultant du modèle géométrique SSL.

La deuxième étape consiste à calculer le nombre de kilomètres de fibre nécessaires pour connecter les premiers séparateurs de couche aux terminaux OLT. Pour ce faire, le calcul est effectué pour chaque OLT et ses séparateurs, et le résultat est multiplié par la quantité de terminaux OLT à installer.

Lors de cette deuxième étape, la valeur de la même zone urbaine considérée dans la première étape est affectée à la variable A , mais divisée par le nombre de terminaux OLT afin de s'appliquer à la zone urbaine correspondant à un seul OLT. Le nombre de séparateurs par OLT à installer est attribué à la variable N . Sur la base de ces deux variables, nous estimons les valeurs n , D et L et, considérant également que $K = 1$ (distribution uniforme des séparateurs dans la zone urbaine d'un terminal OLT), il est possible de calculer la quantité de fibre nécessaire pour interconnecter tous les séparateurs à leur terminal OLT correspondant, en appliquant l'équation du modèle SSL et le même facteur de correction de 55,5% sur le résultat. Si plusieurs couches de séparateurs sont prévues entre les terminaux OLT et les abonnés, le même calcul est répété pour les autres couches de séparateurs modélisés.

Enfin, il faut aussi calculer le nombre de kilomètres de fibre nécessaires pour connecter les abonnés aux séparateurs dans chaque municipalité. Pour ce faire, le calcul est effectué pour un seul séparateur et ses abonnés respectifs, et les résultats sont multipliés par le nombre de séparateurs à installer.

La valeur de la même zone urbaine considérée lors de la première étape, mais divisée par le nombre de séparateurs à installer, est affectée à la variable A . Le nombre de foyers raccordables par séparateur est affecté à la variable N . Sur la base de ces deux variables, nous estimons les valeurs n , D et L et, considérant que $K = 1$ (distribution uniforme²⁹ des résidences dans toute la zone urbaine couverte par chaque séparateur), il est possible de calculer la quantité de fibre nécessaire pour interconnecter tous les foyers raccordables à leur séparateur respectif, en appliquant l'équation du modèle SSL et en divisant son résultat par un facteur de correction (cette fois de 67%³⁰) afin de corriger la sous-estimation résultant de l'utilisation du modèle géométrique simplifié.

Jusque-là, tout va bien. Cependant, tous les foyers raccordables ne seront pas convertis en foyers raccordés. Le nombre de foyers raccordés devrait donc varier entre 0 et le nombre de foyers raccordables disponibles, et seuls les foyers connectés seront inclus dans le calcul de la fibre optique. Afin de tenir compte de cela, en gardant à l'esprit que l'on ne peut pas savoir quels sont les foyers raccordables qui seront convertis en foyers connectés (par exemple, selon qu'ils sont les plus proches ou les plus éloignés du séparateur), une juste approximation serait de calculer le nombre moyen de kilomètres de fibre nécessaire pour interconnecter un foyer raccordable à son répartiteur respectif dans chaque municipalité, puis de multiplier cette valeur par le nombre total des nouveaux foyers raccordés estimés d'une année sur l'autre. Ce calcul permettra d'estimer la quantité totale de câbles à fibre optique nécessaire pour connecter tous les foyers connectés chaque année dans chaque municipalité.

Un point important qui doit également être pris en compte dans le calcul du nombre total de foyers connectés est l'effet du *taux de désabonnement (churn)* sur la base d'abonnés. Le taux de désabonnement est la mesure du remplacement de la base d'abonnés d'un opérateur; en pratique, le taux de désabonnement représente le pourcentage de clients qui résilient leur abonnement à un service particulier au cours d'une période donnée.

Du fait de l'effet de désabonnement, le nombre de nouvelles installations réalisées chaque année est supérieur à la variation nette d'une base d'abonnés d'opérateur. Autrement dit, si un opérateur donné possède une base de 1 000 abonnés et que cette base passe à 1 100 abonnés l'année suivante, l'effet du taux de désabonnement signifie que le nombre de nouveaux services contractés au cours de cette période est *supérieur à 100*. L'explication est simple: si le taux de désabonnement a été mesuré à 5% cette année-là, alors sur les 1 000 abonnés initiaux, 50 auront résilié leurs contrats tandis que 150 nouveaux abonnés auront contracté le service, pour porter le total de nouveaux abonnés à 1 100.

Cet effet du renouvellement progressif de la base d'abonnés impacte sévèrement la valeur CAPEX d'un projet de réseau FTTH. Chaque année, il faut tenir compte de la nécessité d'intégrer la variation nette de la demande plus le pourcentage de *désabonnements* multiplié par le nombre total d'abonnés à la fin de l'année précédente. Cela signifie qu'il faut plus de câbles à fibre optique et plus de paquets CPE, incluant le routeur de l'utilisateur final (CPE) et le terminal de réseau optique (ONT) à installer dans les foyers d'abonnés. Bien sûr, la majorité des CPE et ONT précédemment installés dans les foyers d'abonnés qui ont résilié leur contrat peuvent et doivent, si possible, être réutilisés dans les foyers des nouveaux abonnés- le pourcentage de réutilisation dépendant des problèmes de stockage logistique et de transport.

²⁹ Cette simplification est utilisée en raison de l'indisponibilité habituelle des informations relatives au niveau de verticalisation des foyers.

³⁰ Pourcentage moyen de sous-estimation dans la couche d'accès dans les zones denses: voir "*Geometric versus geographic models for the estimation of an FTTH deployment*", Telecommunication Systems Volume 54, page 21.

Les équations pour le calcul du nombre de kilomètres de câbles à fibre optique nécessaires pour interconnecter les foyers connectés à leurs séparateurs respectifs, ainsi que pour le calcul du nombre de boîtiers CPE requis, sont les suivantes:

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

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

où:

$Fiber_HC_{total_t}$ est le nombre de kilomètres de câbles à fibre optique à installer sur une année donnée t pour connecter les foyers connectés à leurs séparateurs respectifs

$Fiber_HC_{avg}$ est le nombre total moyen de kilomètres de câbles à fibre optique nécessaires pour connecter un foyer raccordable à son séparateur respectif

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

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

$churn$ est le pourcentage d'abonnés présents au cours de l'année $t-1$ qui ont quitté la base d'abonnés au cours de l'année t

$N_{Pct_CPE_t}$ est le nombre de paquets CPE à installer sur une année t

F_r est le pourcentage de réutilisation des ONT retirés du foyer des abonnés qui ont annulé leur abonnement au cours de l'année t .

Il est à noter que le taux de désabonnement et les pourcentages de réutilisation des CPE et ONT peuvent varier significativement entre les pays et que les régulateurs auront, compte tenu de cet élément, tout intérêt à obtenir des chiffres précis auprès des opérateurs locaux. Toutefois, dans les cas où ces informations ne pourraient être obtenues, un taux de désabonnement de 5% par an et un facteur de réutilisation de 80% sont généralement considérés comme des valeurs raisonnables pour le dimensionnement du réseau.

Calcul des fibres optiques (foyers raccordables)

Première étape:

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

Deuxième étape portant sur une couche de séparateurs:

Calcul des fibres optiques - couche des séparateurs

$A = \frac{100 \text{ km}^2}{25 \text{ OLTs}} = 4 \text{ km}^2/\text{OLT}$ $N = \frac{3,125 \text{ Splitters}}{25 \text{ OLTs}} = 125 \text{ Splitters/OLT}$ $n = \sqrt{N} \cong 11 \quad K = 1$ $D = \sqrt{A} = 2 \text{ km} \quad L = \frac{D}{n} \cong 0.18 \text{ km}$	$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0.18 \cdot \sum_{i=1}^{10} [\min(i, 11-i) \cdot (11-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0.18 \cdot [10 + 18 + 24 + 28 + 30 + 25]$ $L_{fo} = 118.8 \text{ km per OLT}$
$L_{fo_corrected} = \frac{118.8}{0.555} \cong 214 \text{ km per OLT}$	

Calcul des fibres optiques - couche des foyers raccordables (HP)

$A = \frac{4 \text{ km}^2/\text{OLT}}{125 \text{ Splitters/OLTs}} = 0,032 \text{ km}^2/\text{Splitter}$ $N = \frac{50,000 \text{ HP}}{3,125 \text{ Splitters}} = 16 \text{ HP/Splitter}$ $n = \sqrt{N} \cong 4 \quad K = 1$ $D = \sqrt{A} \cong 0.18 \text{ km} \quad L = \frac{D}{n} \cong 0.045 \text{ km}$	$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0.045 \cdot \sum_{i=1}^3 [\min(i, 4-i) \cdot (4-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0.045 \cdot [(1 \cdot 3) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 1)]$ $L_{fo} = 1.44 \text{ km per Splitter}$
---	--

$$L_{fo_corrected} = \frac{1.44}{0.67} \cong 2.15 \text{ km per Splitter}$$

$$Fiber_HC_{avg} = \frac{2.15 \text{ km/Splitter}}{16 \text{ HP/Splitter}} = 0.135 \text{ km/HP}$$

Considering:

$N_{hc_1} = 10,000 \quad N_{hc_0} = 1,000 \quad churn = 5\% \quad F_r = 80\%$

and:

$$Fiber_HC_{total,t} = Fiber_HC_{avg} \cdot [N_{hc_t} - N_{hc_{t-1}} \cdot (1 - churn)]$$

$$N_{Pct_CPE,t} = N_{hc_t} - N_{hc_{t-1}} \cdot [1 - churn \cdot (1 - F_r)]$$

We have:

$$Fiber_HC_{total,1} = 0.135 \cdot (10,000 - 1,000 \cdot (1 - 0.05)) = 0.135 \cdot 9,050 \cong 1,222 \text{ km}$$

$$N_{Pct_CPE,1} = 10,000 - 1,000 \cdot [1 - 0.05 \cdot (1 - 0.8)] = 10,000 - 990 = 9,010 \text{ Pct_CPE}$$

Le calcul de la fibre optique totale (en kilomètres) à installer au cours d'une année donnée t = 1 pour raccorder les foyers connectés à leurs séparateurs respectifs et le nombre total de paquets CPE à installer la même année dans une ville donnée.

Source: UIT
 Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration.

Coûts unitaires du réseau FTTH

Le modèle de réseau FTTH présenté ci-avant se compose de bureaux centraux FTTH locaux qui acheminent le trafic local vers le réseau dorsal de l'opérateur, de terminaux OLT, de séparateurs, de câbles à fibre optique et de paquets CPE. Il convient de noter que des câbles à fibre optique de plus

petite capacité (à moindre coût) peuvent être utilisés pour connecter les séparateurs et les foyers raccordés, tandis qu'une fibre optique de plus grande capacité (plus onéreuse) peut être réservée pour interconnecter les séparateurs, les terminaux OLT et le bureau central FTTH local.

Comme précédemment, les coûts unitaires de chacun de ces éléments de réseau devront être obtenus directement auprès des opérateurs et fournisseurs de services locaux.

Résultats de l'estimation du CAPEX

Une fois que le nombre de bureaux centraux FTTH locaux a été estimé, de même que le nombre de terminaux OLT, de séparateurs, de paquets CPE et de kilomètres de câbles à fibre optique requis pour le déploiement du réseau FTTH dans chacune des municipalités, auquel se rajoutent les coûts unitaires de l'équipement, il est possible de calculer l'investissement total (CAPEX) requis par année.³¹

Il est important de souligner à ce stade que l'impact de l'estimation de l'investissement sur le flux de liquidité de l'opération modélisée dépendra du terme défini pour l'installation de l'infrastructure - généralement les premières années d'exploitation. Pour les années suivantes, il n'y aura que le CAPEX lié à la pose des câbles à fibre optique nécessaires pour interconnecter les nouveaux abonnés aux séparateurs et le coût d'acquisition et de distribution des paquets CPE aux abonnés - les besoins en infrastructure varieront en fonction de l'évolution de la demande des abonnés FTTH au fil des ans

4.3 Réseaux de transport

Compte tenu de la demande croissante de réseaux d'accès à très large bande, de nombreux pays souffrent d'un manque d'infrastructure de réseau de transport capable d'acheminer tout le trafic de données entrant et sortant entre les municipalités ou régions et le réseau dorsal des opérateurs.

Les décideurs sont désormais souvent confrontés au défi de stimuler le déploiement du réseau de transport optique par le biais de politiques publiques qui offrent des conditions favorables pour attirer les investissements privés afin de combler ce déficit d'infrastructure. Dans ce contexte, une estimation CAPEX du déploiement des réseaux de transport à fibre optique est fréquemment utilisée pour développer ou évaluer des projets de déploiement d'infrastructures économiquement durables.

Aux fins de la simplification du projet et de l'estimation CAPEX, le réseau de transport à fibre optique peut, dans le cadre de cet exercice, être considéré comme un ensemble de liaisons par fibre optique intégrant des émetteurs et des amplificateurs à hiérarchie numérique synchrone (SDH) à leurs extrémités, connectés par des câbles à fibre optique enterrés, avec des répéteurs de fibre placés le long des câbles. En outre, des éléments de réseau tels que les multiplexeurs optiques d'insertion-extraction reconfigurables basés sur le multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (DWDM ROADM) et les répartiteurs optiques (ODF) sont nécessaires pour intégrer le trafic de données dans le réseau dorsal national.

Le nombre d'éléments de réseau nécessaires et la capacité requise dépendent fortement du débit minimal requis (demande de trafic global de la municipalité ou de la région) et de la distance entre la municipalité ou la région et le réseau dorsal de l'opérateur le plus proche. Lorsque ces deux informations essentielles sont connues pour chacune des liaisons de transport nécessaires, le CAPEX total peut être estimé.

Dans le cas d'équipements réseau d'extrémité - en particulier les émetteurs - le nombre d'éléments nécessaires est basé sur la demande de chaque municipalité. En d'autres termes, l'utilisation d'équipements ayant une capacité de transmission de données spécifique (Mbit/s) est envisagée et, en fonction de la demande de données, la quantité nécessaire d'équipements est estimée.

³¹ Le CAPEX nécessaire pour acheminer le trafic de données hors des municipalités (en amont du centre FTTH local) n'a pas été pris en considération, dans l'hypothèse d'un réseau dorsal national préexistant interconnectant toutes les municipalités à inclure dans le projet FTTH.

L'équipement du réseau dorsal, cependant, prend en compte les ajustements de réseau possibles nécessaires pour répondre à la demande d'une municipalité particulière. En effet, la connexion d'une nouvelle municipalité au réseau dorsal peut nécessiter une extension de la capacité de certains éléments du réseau. Dans ce cas, il est nécessaire pour chaque municipalité de quantifier l'amélioration des éléments du réseau dorsal.

Le dernier groupe d'éléments de réseau concerne la longueur totale du réseau. Dans un réseau à fibre optique, la quantité de fibres et le nombre de conduites et de tranchées nécessaires dépendent directement de la longueur du réseau, avec des répéteurs insérés à des distances données, en fonction de leur portée. La gamme de répéteurs de fibre varie selon le fournisseur de réseau et devrait également évoluer avec le temps; cependant, il est assez courant, de manière générale, d'inclure des répéteurs tous les 70 km pour les conceptions de réseaux de transport à fibre optique.

Pour calculer le coût de cet ensemble d'éléments de réseau, il est nécessaire de définir la longueur de chaque lien de réseau à construire. Cela peut être fait en prenant comme référence la distance routière la plus faible entre la municipalité à raccorder et le réseau dorsal national à fibre optique, car la pose de fibre le long des autoroutes et des routes intercommunales réduit généralement les coûts et le temps de déploiement.

À noter que cette stratégie de calcul est basée sur le déploiement du réseau selon une topologie en étoile (connexion point à point sans optimisation). Cependant, comme plusieurs municipalités peuvent être connectées au même point sur le réseau dorsal national, il y a lieu d'envisager la possibilité de mettre en œuvre des parties de réseau selon une topologie en anneau, dans laquelle les municipalités sont connectées les unes aux autres et possèdent un flux de trafic commun vers le réseau dorsal national. Cette approche hybride réduit considérablement le nombre de kilomètres de fibre nécessaires, mais oblige les régulateurs à définir d'abord la topologie physique du réseau à déployer.

Après avoir calculé le volume des équipements et des câbles à fibre optique nécessaires, le résultat est finalement multiplié par le coût unitaire de ces équipements, obtenu de préférence directement auprès des fabricants et prestataires déjà implantés dans le pays concerné. Le résultat final de tous ces calculs donne l'estimation totale du projet CAPEX.

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

Cette section traite de l'estimation des coûts et des dépenses courantes (OPEX) d'un projet à large bande dans le but d'évaluer avec précision les flux de liquidité pour l'élaboration du plan d'activités. Nous distinguons trois approches pour estimer ces dépenses OPEX:

- l'utilisation des modèles de coûts;
- l'utilisation des coûts et dépenses passés;
- l'utilisation de valeurs de référence.

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

5.1 Utilisation des modèles de coûts pour estimer les dépenses OPEX

La projection de la valeur des dépenses, lors du calcul de la valeur actualisée nette du projet, peut se fonder sur les informations du modèle de coût utilisé dans les cas où les organismes de réglementation des télécommunications ont pour obligation légale de séparer les comptes et de présenter des modèles de coût applicables à la réglementation des tarifs de gros.

Bien que ces obligations réglementaires soient liées à l'estimation des coûts des produits de gros, les données associées à une telle comptabilité analytique fournissent des données précieuses qui peuvent être utilisées pour estimer les dépenses OPEX des projets à large bande.

Une méthode intéressante consiste à utiliser le modèle d'imputation générale des coûts (FAC), une approche allant du sommet vers la base³² pour estimer les coûts d'exploitation associés à la fourniture de services à large bande. Dans cette approche, le coût total d'un service offert par l'opérateur comprend tous les coûts comptables encourus par l'entreprise pour fournir ce service- y compris les coûts d'investissement. Le coût total d'un produit peut ainsi être représenté par les équations suivantes:

$$\text{Coût total du produit (TC)} = \text{dépenses} + \text{coût de l'investissement}$$

$$\text{Coût de l'investissement (CC)} = \text{capital investi dans le produit} \times \text{WACC}$$

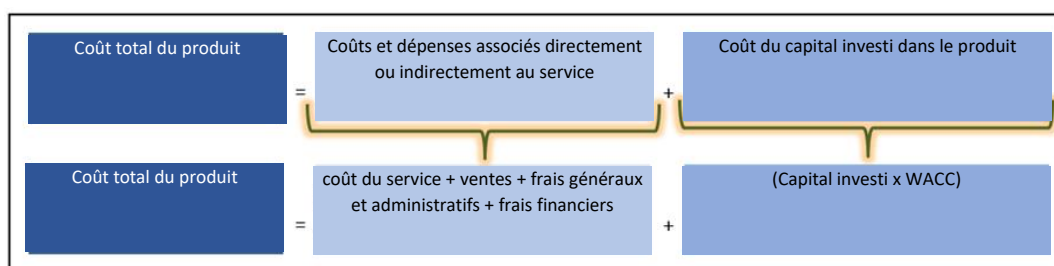
où:

Les dépenses correspondent à la somme du coût du service, des ventes, des frais généraux et administratifs et des frais financiers associés directement ou indirectement à la production du produit;

Le coût de l'investissement (CC) est la rémunération hypothétique que le fournisseur devrait obtenir pour maintenir le capital investi dans ses actifs;

Le WACC est le coût moyen pondéré du capital.

Figure 9: Composition du coût total



Source: UIT

Il convient également de noter que divers services de télécommunications 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, s'ils existent.

Les transferts internes peuvent être évalués de deux façons:

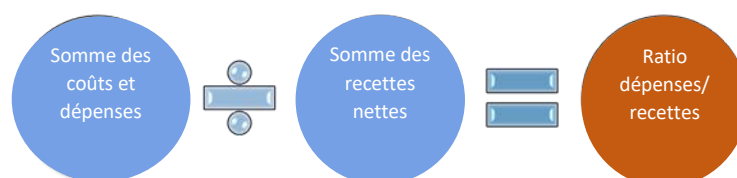
- i) si le produit fait l'objet d'une commercialisation externe, le prix de transfert interne doit être le même que celui facturé aux autres prestataires de services de télécommunication;
- ii) en l'absence de commercialisation externe, le prix de transfert interne est basé sur le coût total du produit (TC), calculé selon l'équation représentée à la Figure 9.

En prenant pour base les informations fournies par les prestataires dans leurs dispositions et méthodes relatives à la séparation comptable, développées par l'agence de régulation dans le cadre du modèle de coût descendant, nous pouvons déterminer la composition du coût total de chacun des services proposés.

³² Selon cette approche, le calcul part des informations comptables réelles des opérateurs et est alloué à chaque service de manière spécifique.

La prévision des dépenses OPEX nécessaires pour calculer la valeur actualisée nette d'un projet à large bande peut être obtenue en divisant la somme des dépenses engagées dans la fourniture d'un ensemble de services offerts par un prestataire ou un groupe de prestataires par la somme des recettes d'exploitation nettes de ce même ensemble de services.

Figure 10: Ratio dépenses/recettes nettes



Source: UIT

Ce ratio Somme des coûts et dépenses / Somme des recettes nettes devrait être appliqué aux recettes estimées d'année en année dans le plan d'activités, permettant ainsi d'estimer une partie des dépenses OPEX.

L'analyse du groupe d'allocations de dépenses, qui comprend la catégorie des "coûts de service", permet de classer les coûts (selon leurs caractéristiques) en deux sous-catégories distinctes: (a) les coûts d'exploitation et d'entretien; et (b) les indemnités versées à d'autres bailleurs de fonds (interconnexion, location de réseau et autres dépenses de ce genre).

À ce stade, il ne reste plus qu'à estimer la part des dépenses liées aux coûts d'exploitation et de maintenance (OPEX + exploitation + maintenance), laquelle avait été exclue du calcul des coûts de service en raison de sa dépendance intrinsèque aux dépenses CAPEX du projet. Pour estimer cette partie de l'OPEX, on peut utiliser des informations OPEX unitaires annuelles pour chacun des éléments de réseau requis aux fins de la construction du réseau.

Tableau 3: Coûts d'exploitation et de maintenance

Éléments de réseau	CAPEX	OPEX
Élément 1	X	% de X
Élément 2	Z	% de Z
Élément 3	Y	% de Y
		OPEX E&M

Les calculs des coûts d'exploitation et de maintenance étant directement liés au CAPEX qui sera mis en œuvre, il vaut mieux calculer les coûts liés à cette sous-catégorie de dépenses sur la base d'un pourcentage de la méthodologie de projection CAPEX, plutôt que d'utiliser des moyennes dérivées des données historiques du fournisseur de services.

Tableau 4: Total des dépenses OPEX

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	...
Recettes nettes	X	Z	Y	W	...
Ratio Dép/Rec	r%	r%	r%	r%	r%

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	...
Opex 1	X . r%	Z . r%	Y . r%	W . r%	...
Opex E&M	Opex E&M	Opex E&M	Opex E&M	Opex E&M	
Total OPEX	(X . r%) + Opex E&M	(Z . r%) + Opex E&M	(Y . r%) + Opex E&M	(W . r%) + Opex E&M	

Utilisation des modèles de coûts pour estimer les dépenses OPEX

Scénario: Soit un opérateur mobile qui prévoit de lancer un projet de réseau large bande sans fil 4G LTE. L'une des approches possibles pour estimer les dépenses OPEX de ce projet consiste à utiliser des modèles de coûts déjà développés / appliqués par le régulateur pour d'autres services mobiles

Modèles de coût

Total des coûts et recettes des services mobiles additionnels

Recettes d'exploitation	255,432,605
Coûts et dépenses + coût du capital investi	127,568,537
Coût des services	43,845,976
Dépenses commerciales	51,119,948
Dépenses administratives et générales	32,602,613

Ratio (dépenses/recettes) 0.50

	TOTAL RECETTES	Ratio (dépenses/ recettes)	OPEX 1	VOLUME	TOTAL OPEX 2	TOTAL OPEX
A01	\$ 3,774,600	0.50	\$ 1,885,116	100	\$ 2,249,750	\$ 4,134,866
A02	\$ 14,098,752	0.50	\$ 7,041,220	200	\$ 4,499,500	\$ 11,540,720
A03	\$ 32,616,176	0.50	\$ 16,289,220	300	\$ 6,749,250	\$ 23,038,470
A04	\$ 53,052,192	0.50	\$ 26,495,406	400	\$ 8,999,000	\$ 35,494,406
A05	\$ 81,791,516	0.50	\$ 40,848,442	500	\$ 11,248,750	\$ 52,097,192
Éléments de réseau	CAPEX	% OPEX	UNITE OPEX 2			
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			
<i>Total</i>			\$ 22,498			

Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration.

5.2 Utilisation des coûts et dépenses passés pour estimer les dépenses OPEX

En l'absence d'un modèle de coût qui soit suffisamment mature pour estimer les dépenses OPEX du produit qui sera lancé, une alternative peut être d'utiliser les données de bilan des sociétés déjà établies dans le pays qui fournissent un service équivalent (ou très similaire) à celui proposé dans le plan d'activités.

Il est recommandé d'évaluer une tendance historique de la façon dont les dépenses d'exploitation se sont comportées en fonction des recettes nettes. Une fois qu'une relation stable entre ces deux variables a été identifiée, ce ratio peut être utilisé pour estimer les dépenses OPEX.

Figure 11: Ratio dépenses /recettes nettes historiques



Source: UIT

Lorsqu'il n'est pas possible d'identifier une relation stable entre les recettes et les dépenses, la meilleure stratégie consiste à examiner les comptes analytiques et à éliminer les éventuels biais, de façon à avoir une estimation stable tout le long du flux de liquidité.

Après avoir estimé le ratio entre les dépenses opérationnelles (y compris le coût du service, les ventes, les frais généraux et administratifs) et les recettes nettes, celui-ci doit être appliqué au total des revenus annuels estimés dans le flux de liquidité. On obtient ainsi la valeur OPEX pour chaque année.

Tableau 5: Total des dépenses OPEX

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	...
Recettes nettes	X	Z	Y	W	...
Ratio Dép/Rec	r%	r%	r%	r%	r%
Total Opex	X . r%	Z . r%	Y . r%	W . r%	...

Source: UIT

5.3 Utilisation des valeurs de référence pour estimer les dépenses OPEX

Lorsqu'un service est relativement nouveau et qu'il n'y a pas d'activités commerciales suffisamment matures dans le pays pour estimer les dépenses OPEX sur la base des données réelles du bilan, une alternative raisonnable consiste à utiliser des valeurs de référence.

Il est facile de trouver dans les publications spécialisées des valeurs de référence pour modéliser les dépenses totales d'un plan d'activités, y compris pour évaluer le comportement d'une société offrant un service innovant (et qui n'aurait peut-être jamais été utilisé auparavant). Les valeurs de référence les plus répandues ont trait à la relation entre les dépenses CAPEX et OPEX au travers du ratio CAPEX/TCO³³ pour les projets impliquant de nouvelles technologies. Au moins trois références de marché différentes doivent être sélectionnées, et parmi celles-ci, une valeur de référence peut être définie pour être utilisée dans le plan d'activités.

Selon cette approche, l'estimation des dépenses OPEX totales est réalisée sur la base d'une relation directe avec les dépenses CAPEX totales, comme le montre la Figure 12.

³³ TCO (coût total d'acquisition) = CAPEX + OPEX

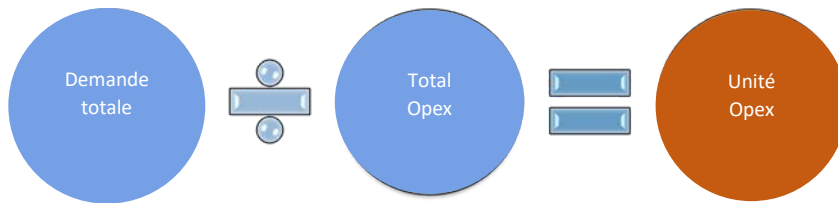
Figure 12: Ratio CAPEX / OPEX



Source: UIT

Toutefois, comme les coûts et dépenses courantes sont généralement fortement liés au nombre d'utilisateurs actifs dans le réseau, nous suggérons, pour estimer les dépenses OPEX annuelles, de diviser les dépenses OPEX totales- estimées en fonction des dépenses CAPEX totales- par la somme des utilisateurs sur chaque année du plan d'activités, puis de multiplier ce chiffre par le nombre total d'utilisateurs attendus chaque année, établissant ainsi une évolution des dépenses OPEX sur l'année en fonction de la demande des utilisateurs.

Figure 13: Unité OPEX



Source: UIT

Tableau 6: Total des dépenses OPEX

	Année 1	Année 2	...	Année n	TOTAL
Demande	X	Z	...	W	Demande totale
Unité Opex	u	u	u	u	U
Opex	X . u	Z . u	Y . u	W . u	Total Opex

Source: UIT

Utilisation des coûts et dépenses passés pour estimer les dépenses OPEX

Scénario: un opérateur de réseaux large bande fixes prévoit de lancer un projet FTTH dans un pays où d'autres opérateurs fournissent déjà ce service. Pour estimer les dépenses OPEX de ce projet, l'une des approches possibles consiste à utiliser les données de bilan des opérateurs déjà établis dans le pays qui fournissent un service équivalent (ou très similaire) à celui qui sera lancé.

L'exemple ci-dessous montre le bilan d'un opérateur déjà établi. Pour estimer le ratio dépenses / recettes, il est nécessaire d'éliminer les amortissements, car le ratio sera calculé directement à partir du CAPEX. Le ratio estimé sera appliqué aux recettes estimées afin de calculer l'OPEX.

	A03	A04	A05
Recettes d'exploitation	297,912,913	325,137,496	340,544,845
Coût d'exploitation et dépenses	262,441,526	286,267,393	307,163,411
<i>Coûts des ventes et services</i>	151,754,644	159,353,526	165,445,249
<i>Dépenses administratives, commerciales et général</i>	67,120,319	76,033,705	80,211,477
<i>Autres dépenses</i>	1,661,652	1,371,521	8,115,038
<i>Dépréciation et amortissement</i>	41,904,912	49,508,640	53,391,647
Ratio (dépenses/recettes)	0.74	0.73	0.75

	TOTAL RECETTES	Ratio (dépenses/ recettes)	Total OPEX
A01	\$ 3,774,600	0.74	\$ 2,785,209
A02	\$ 14,098,752	0.74	\$ 10,403,215
A03	\$ 32,616,176	0.74	\$ 24,066,887
A04	\$ 53,052,192	0.74	\$ 39,146,256
A05	\$ 81,791,516	0.74	\$ 60,352,483
A06	\$ 110,553,418	0.74	\$ 81,575,373
A07	\$ 138,700,777	0.74	\$ 102,344,801
A08	\$ 177,186,170	0.74	\$ 130,742,478
A09	\$ 225,332,475	0.74	\$ 166,268,767
A10	\$ 295,886,060	0.74	\$ 218,328,985

Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration.

6 Estimation du coût moyen pondéré du capital (WACC)

La détermination du coût moyen pondéré du capital (WACC) constitue une étape fondamentale du processus de tarification des télécommunications, et influe grandement sur les modèles aux enchères et de tarification du spectre. La fixation du WACC à une valeur trop basse peut dissuader d'investir et se traduire par des prix inférieurs aux coûts d'exploitation, tandis qu'un WACC trop élevé peut encourager le surinvestissement et déboucher sur des prix trop élevés.

Pour l'essentiel, le WACC 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 fournis par une formule dérivée du modèle d'équilibre des actifs financiers (CAPM), selon l'équation:

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

où:

K_d est le coût de la dette

τ est le taux d'imposition

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

K_e^j est le coût des fonds propres

$(E|D + E)$ est le pourcentage des fonds propres

Il est à noter que dans certains pays, l'endettement réel des prestataires de services de télécommunication peut être très disparate, en particulier entre les prestataires 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 la grande disparité de l'endettement potentiel, une autorité de réglementation peut choisir d'utiliser un taux d'endettement de 30%, 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 le taux d'intérêt des obligations sans risque

$Spread$ est le taux de risque de crédit, considéré comme l'écart moyen payé par tous les opérateurs de télécommunication du marché considéré

Estimation du coût des fonds propres

Le coût des fonds 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, basé sur le concept général de rendement d'une obligation reposant sur des actifs, avec une durée jusqu'à l'échéance d'au moins cinq ans pour le taux actuariel

β_j est le coefficient bêta des actions. Il peut être calculé à partir du cours de l'action de l'opérateur de télécommunications dans son ensemble, ou à l'aide d'une analyse comparative internationale. Ces deux approches doivent reposer sur un coefficient bêta sans facteur d'endettement; ce dernier facteur sera pris en compte avec la structure du capital optimale définie en fonction de la structure du capital des opérateurs de télécommunications locaux

CRP est la prime de risque du pays

Lorsque le coût des fonds propres est évalué selon l'approche globale, il est nécessaire d'insérer dans l'équation K_e^j la prime de risque du pays et la différence entre l'inflation locale et celle des États-Unis d'Amérique

MRP est la prime de risque du marché.

Estimation de la prime de risque du marché (MRP)

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

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

où:

r_e^{T-h} est le taux sans risque

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

Les données historiques utilisées pour évaluer la prime de risque du marché doivent correspondre à une période d'au moins cinq ans. De plus, on ne peut pas tenir compte dans le calcul des périodes au cours desquelles des anomalies se produisent sur le marché.

CAPM global ou local

Il existe deux grandes méthodes pour estimer le coût des fonds propres: le modèle d'équilibre des actifs financiers (CAPM) est soit global soit local. Le CAPM global est couramment utilisé par les banques, tandis que le CAPM local est plus largement utilisé par les autorités de réglementation (par exemple ANTT, le régulateur des transports du Brésil; ARCEP (France); CMT (Espagne); ComReg (Irlande); Ofcom (Royaume-Uni) et PTS (Suède). L'une et l'autre méthode ont leurs avantages et leurs inconvénients, mais il a été recommandé d'utiliser le modèle du CAPM local lorsque des données sont disponibles, en raison de sa plus grande transparence et de sa meilleure aptitude à refléter le marché local.

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

Pour prendre en compte les risques non calculés, on pourrait ajouter au CAPM global d'autres facteurs représentant les risques politiques, réglementaires et autres. – mais ces modèles sont toujours au stade expérimental. Une recherche sur Internet révèle rapidement une grande variété de données pouvant aider au calcul du CAPM³⁴, comme présenté dans le Tableau 7.

³⁴ Une suggestion utile est donnée ici: http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/home.htm

Tableau 7: Avantages et inconvénients du CAPM local et du CAPM global

	CAPM local	CAPM global
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Transparence. - Rend compte des perspectives du marché local. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne dépend pas des bases de données locales. Utilise des valeurs de référence. - Utilise des données économiques plus matures.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Dépend de la disponibilité de la base de données. - Nécessite un scénario macroéconomique stable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comparatibilité des valeurs de référence. - Utilisation du risque pays, avec une grande variabilité. - Le processus de levier et de désendettement entre les pays n'est pas précis.

Source: UIT

Le CAPM local utilise les données internes. Les principaux avantages de l'utilisation du CAPM local sont la transparence conférée par la large acceptation de cette méthode par la communauté universitaire et le marché, et la vision précise du marché local qu'offre cette approche. Inversement, les inconvénients pourraient inclure un manque de bases de données disponibles et/ou l'absence d'un scénario macroéconomique stable au niveau national.

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

Conversion du WACC nominal en WACC réel

Après avoir estimé le coût moyen pondéré du capital (WACC) en valeurs nominales, il convient d'actualiser la valeur inflationniste pour la période concernée de manière à obtenir l'indicateur en termes réels, en utilisant l'équation dite de Fisher:

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

où:

$WACC_{Real}$ est le WACC en valeurs réelles

$WACC_{Nominal}$ est le WACC en valeurs nominales

π est le taux d'inflation

Le fait de soustraire simplement la valeur inflationniste du WACC nominal ne donnera pas un résultat correct, compte tenu de la tendance à surestimer le taux réel- bien que l'erreur demeure faible dans les cas où les taux d'intérêt et l'inflation sont relativement bas.

Il est recommandé d'utiliser des estimations d'inflation prospectives; dans l'idéal, les estimations devraient porter sur une période de temps égale à la maturité de l'obligation sans risque, bien qu'en pratique cela ne soit pas toujours possible en raison de l'horizon temporel limité des prévisions d'inflation.

Estimation du WACC à l'aide d'une méthode CAPM globale

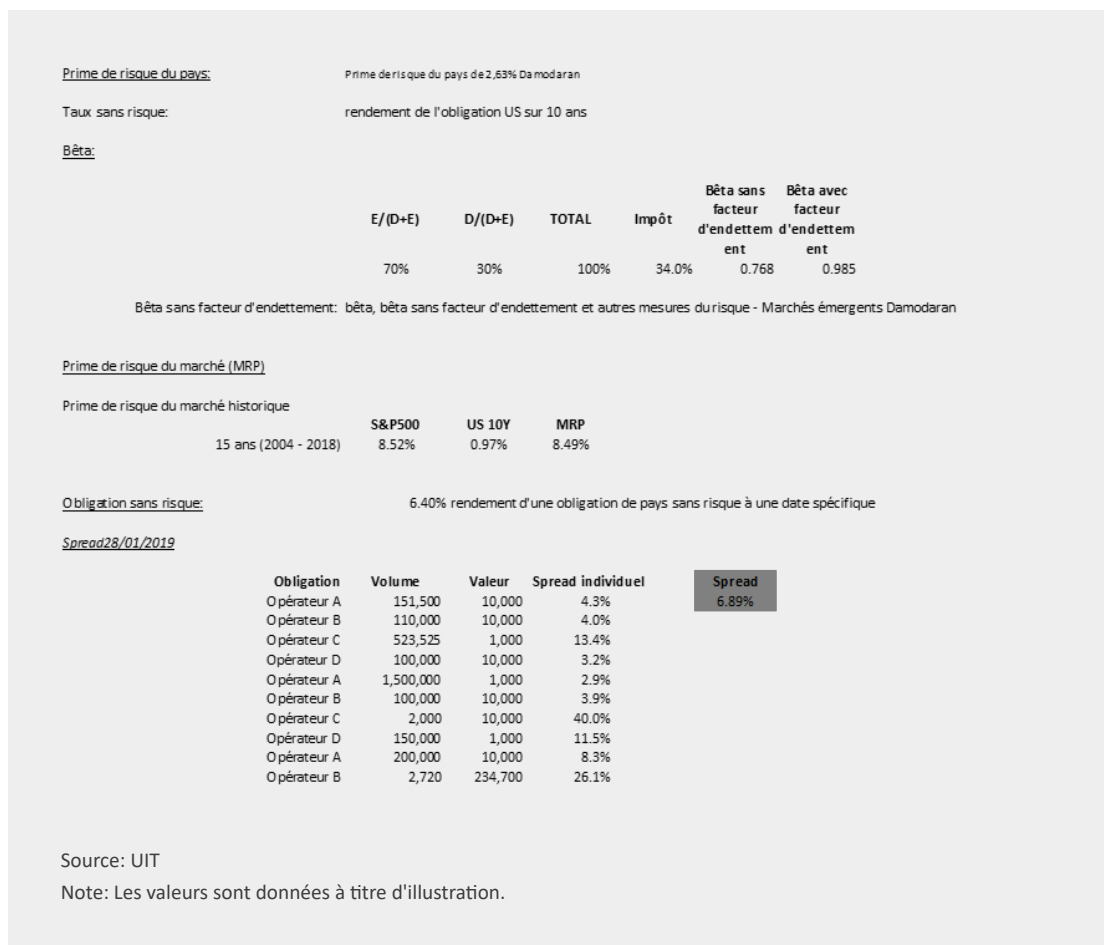
Coût des fonds propres (K_e)	
Prime de risque du pays:	2.63%
Taux sans risque:	2.66%
Bêta:	0.99
Prime de risque de marché (MRP):	8.49%
Estimation du coût des fonds propres (K_e)	13.92%

Coût de la dette (K_d)	
Obligation sans risque	6.40%
Spread	6.89%
Estimation du coût de la dette:	6.84%
Taux de l'impôt 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 US:	2.0%
Objectif d'inflation local	4.0%

WACC	
Coût pondéré des fonds propres:	9.74%
Coût pondéré de la dette:	1.35%
WACC nominal	11.10%
WACC réel:	6.82%

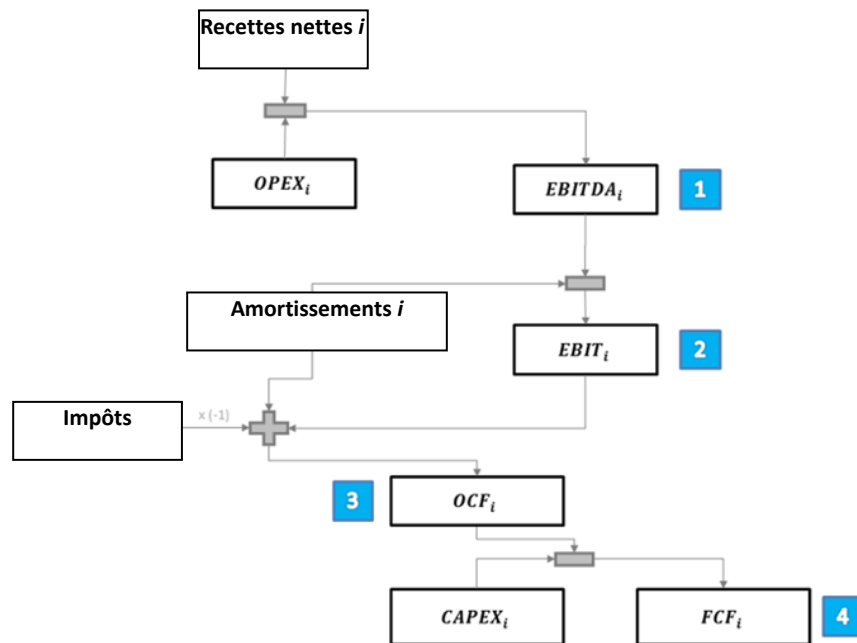


Estimation de la valeur actualisée nette (NPV) des projets d'infrastructure à large bande

Comme détaillé dans la section sur les principes régissant la planification des activités, le calcul de la valeur actualisée nette est le résultat le plus important du processus de planification des activités pour les régulateurs et les décideurs. Il combine les estimations CAPEX, OPEX, recettes et flux de liquidité tout au long des années de déploiement du réseau et de la fourniture de services au sein d'équation économique conçue pour aider à évaluer avec précision la durabilité économique et l'attractivité d'un projet d'infrastructure, ainsi qu'à quantifier le manque d'infrastructure à large bande au niveau national.

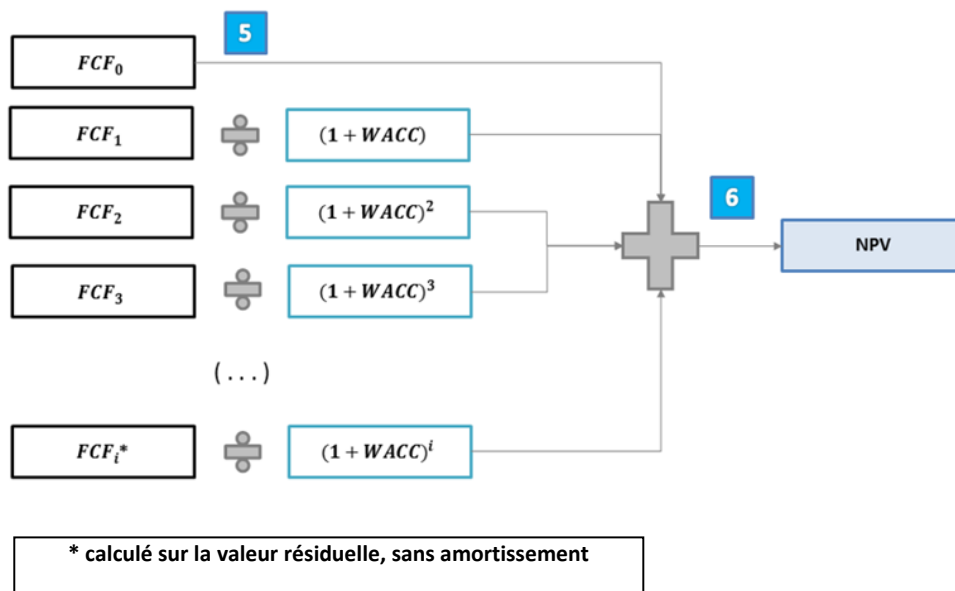
Pour mieux comprendre comment calculer la valeur actualisée nette d'un projet d'infrastructure, les diagrammes présentés dans les Figures 14 et 15 décomposent le calcul en six étapes, qui seront expliquées plus en détail dans la section suivante.

Figure 14: Étapes 1 à 4 du calcul de la valeur actualisée nette



Source: UIT

Figure 15: Étapes 5 et 6 du calcul de la valeur actualisée nette



Source: UIT

La première étape pour calculer la valeur actualisée nette d'un projet d'infrastructure consiste à estimer le *résultat avant intérêts, impôts et amortissements* (EBITDA) pour chaque année d'exploitation. Cela peut être calculé simplement en prenant la différence entre les recettes nettes et l'OPEX estimé d'année en année, selon les méthodes déjà présentées dans ce kit pratique.

La deuxième étape consiste à calculer le *résultat d'exploitation avant intérêts et impôts* (EBIT), ce qui implique de soustraire l'amortissement estimé (DA) de l'EBITDA³⁵. L'amortissement estimé pour une année i d'exploitation donnée peut être calculé selon 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 l'amortissement sur une année d'exploitation i donnée

$CAPEX_k$ est la valeur CAPEX estimée sur une année d'exploitation k donnée

t est la durée de vie moyenne (en années) des actifs (CAPEX) ou le nombre d'années d'amortissement établi par les règles comptables locales

i est une année d'exploitation donnée, par exemple année 1, 2, 3, etc.

La troisième étape du calcul de la valeur actualisée nette consiste à estimer le flux de liquidité d'exploitation pour chaque année, en prenant la différence entre l'EBITDA et la somme des impôts estimée pour chaque année où l'EBIT est positif. La somme des impôts d'une année peut être calculée selon la formule suivante:

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

où:

T_i est la somme totale des impôts à considérer dans le flux de liquidité disponibles sur une année i donnée

$EBIT_i$ est le résultat d'exploitation avant intérêts et impôts sur 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 valeur actualisée nette d'un projet d'infrastructure consiste à déterminer le flux de liquidité disponible (FCF) pour chaque année d'exploitation, en calculant simplement la différence entre le flux de liquidité d'exploitation (OCF) et le CAPEX total investi sur une année i donnée.

Une fois que le flux de liquidité disponibles a été défini pour chaque année d'exploitation, les quatrième et cinquième étapes consistent à calculer la valeur actualisée nette du flux de liquidité disponibles pour chaque année d'exploitation puis de les additionner pour obtenir la valeur actualisée nette totale du projet d'infrastructure. Ces deux dernières étapes peuvent être effectuées en utilisant la formule ci-dessous:

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

où:

³⁵ Le pourcentage et la période de dépréciation/amortissement peuvent varier dans chaque pays.

NPV est la valeur actualisée nette totale du projet d'infrastructure

FCF_i est le flux de liquidité disponibles sur une année i donnée³⁶

WACC est le coût moyen pondéré du capital

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

Calcul de la valeur actualisée nette (NPV)

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

Calcul de la valeur actualisée nette										
Année	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Recettes nettes	\$ 90,958	\$ 1,320,680	\$ 4,347,379	\$ 7,672,031	\$ 9,387,107	\$ 10,152,234	\$ 10,807,641	\$ 11,537,279	\$ 12,356,841	\$ 13,264,945
OPEX	\$ 556,799	\$ 1,265,662	\$ 3,026,254	\$ 4,956,718	\$ 5,948,765	\$ 6,388,380	\$ 6,764,155	\$ 7,182,756	\$ 7,653,129	\$ 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 ex. 5 ans)	\$ 2,725,351	\$ 2,923,745	\$ 3,451,756	\$ 4,047,285	\$ 4,384,955	\$ 4,846,881	\$ 5,222,007	\$ 5,637,759	\$ 6,097,046	\$ 6,603,232
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 ex. 25% de l'EBIT)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 479,243	\$ 555,370	\$ 717,691	\$ 901,666
OCF	\$ -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
NPV (par ex. WACC 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
Total NPV	(5,509,921)									

Source: UIT

Note: Les valeurs sont données à titre d'illustration.

7 Mécanismes de financement des projets d'infrastructure à large bande

Les décideurs politiques qui souhaitent concevoir des projets d'infrastructure à large bande, lesquels sont par nature gourmands en capitaux et impliquent des sommes énormes pour le développement de projets et l'octroi des licences de même que pour le déploiement des réseaux et les coûts administratifs et opérationnels, devraient étudier avec grande attention les alternatives de financement qui pourraient (ou devraient) être offertes par le gouvernement, la disponibilité de crédit privé sur le marché intérieur et les conditions nécessaires qui augmenteraient l'attrait économique du projet pour les capitaux étrangers.

En particulier dans les cas où la valeur actualisée nette estimée d'un projet d'infrastructure indique une faible attractivité vis-à-vis du déploiement du réseau et de la fourniture de services dans les zones prioritaires par le gouvernement pour les investissements dans les infrastructures de télécommunications, il est essentiel d'avoir une vision claire des options de financement disponibles pour évaluer les chances de succès ou d'échec d'une politique publique.

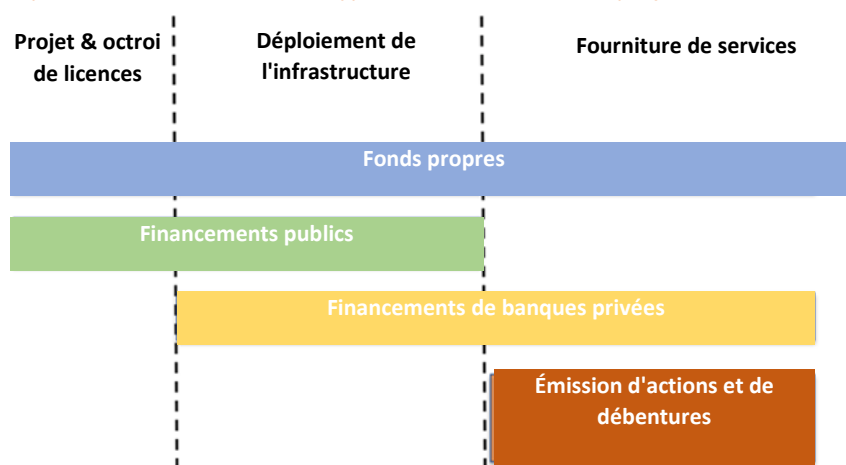
³⁶ Le résidu restant des actifs non amortis doit être ajouté au flux de liquidité disponibles de la dernière année d'exploitation; ceci peut être calculé simplement en faisant la différence entre la somme des valeurs CAPEX et la somme des amortissements calculés tout au long de l'année d'exploitation.

Afin de mieux comprendre les mécanismes de financement liés aux grands projets d'infrastructure à large bande et afin d'identifier les principaux acteurs et les conditions d'investissement nécessaires, il peut être utile de diviser un projet de télécommunications type en trois phases d'estimation des coûts:

- i) planification du projet et octroi des licences;
- ii) déploiement de l'infrastructure;
- iii) fourniture de services.

Pour chacune de ces phases, considérons maintenant quelques mécanismes types de financement de projets d'infrastructure, en particulier les fonds propres, les financements publics et privés et l'émission d'actions et de débentures.

Figure 16: 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 d'établissement des coûts d'un projet d'infrastructure à large bande, du point de vue de l'entreprise, comprend des études de marché approfondies, la planification des activités, la conception et le dimensionnement du réseau et l'obtention des licences gouvernementales requises pour l'exploitation, ce qui - selon le projet - peut impliquer la participation à des enchères publiques pour obtenir des licences coûteuses (par exemple, pour accéder au spectre sous licence et pouvoir l'utiliser).

Cette première phase, en l'absence de flux de liquidité ou de déploiement d'infrastructure de réseau, est généralement prise en charge par les fonds propres ou par les financements publics, en raison de la difficulté d'accès au crédit par les canaux de financement habituels compte tenu du niveau élevé de risque encouru. Un opérateur qui serait intéressé par fournir des services large bande dans les régions ciblées par des initiatives de politique publique peut faire réaliser des études de marché afin d'aider à prendre une décision éclairée sur la durabilité économique d'un projet d'infrastructure proposé par le gouvernement. Le gouvernement peut lui-même commanditer ces études et publier les résultats afin de susciter l'intérêt et d'attirer un maximum d'opérateurs potentiels.

Comme on l'a vu sur de nombreux marchés, l'acquisition de licences de spectre pour les réseaux à large bande mobiles sans fil 4G LTE a généralement coûté des millions, voire des milliards de dollars. Le paiement de ces droits de licence était auparavant effectué sur les fonds propres - mais, pour éviter de dépenser des fonds propres qui pourraient être canalisés vers des investissements dans les infrastructures de réseau, le financement public des droits de licence (à payer au cours des années d'exploitation avec des taux d'intérêt bas) offre une approche alternative, qui pourrait attirer non

seulement les grands opérateurs déjà établis au niveau national, mais aussi les petites entreprises cherchant à pénétrer le marché du large bande mobile.

La disponibilité de ce type de financement public représente une barrière d'entrée plus faible et renforce l'attrait économique des projets d'infrastructure de télécommunications. De plus, le fait de programmer un paiement annuel unique des droits de licence couvrant une année entière d'exploitation peut libérer des liquidités de façon à ce que les entreprises intéressées puissent investir encore plus dans le déploiement du réseau.

Enfin, malgré le coût de crédit généralement plus élevé appliqué lors de cette première phase d'établissement des coûts, les opérateurs déjà établis sur le marché local des télécommunications et qui ont une relation forte avec le marché de la banque privée peuvent obtenir des crédits pour cette phase d'établissement des coûts à des taux d'intérêt raisonnables.

7.2 Mécanismes de financement du déploiement d'infrastructures

La phase d'établissement des coûts pour le déploiement de l'infrastructure de réseau est la phase à plus forte intensité de capital des projets large bande. Pour cette raison, une combinaison de mécanismes de financement peut être utilisée pour soutenir le déploiement de l'installation d'infrastructures passives et actives dans toutes les municipalités ciblées par la politique publique.

L'utilisation des fonds propres dans cette phase de calcul des coûts est certainement une option, mais qui est peut-être beaucoup moins courante comparativement à d'autres mécanismes de financement. Cela s'explique généralement par le coût plus élevé des fonds propres par rapport aux taux d'intérêt des financements publics et privés destinés aux investissements dans les projets d'infrastructure. Par exemple, la plupart des gouvernements accordent des incitations fiscales pour les crédits d'investissement, permettant au marché de la banque privée d'offrir des crédits d'investissement à des taux d'intérêt plus bas. Les gouvernements eux-mêmes offrent des crédits d'investissement à des taux d'intérêt bonifiés, par le biais de banques de développement visant à encourager la construction d'infrastructures nationales.

Pour ces raisons, le crédit d'investissement offert par le marché bancaire public et privé est le mécanisme de financement le plus couramment utilisé pour soutenir la phase coûteuse du déploiement du réseau, bien que ce type de mécanisme favorise inévitablement les projets d'infrastructure économiquement viables sur le long terme. En effet, l'accès au marché du crédit d'investissement privé nécessite généralement une planification globale et rigoureuse des activités qui prouve la viabilité économique du projet d'infrastructure à financer.

Cependant, de nombreux projets d'infrastructure inclus dans les initiatives de politique publique sont, par leur nature même, peu attractifs sur le plan économique, et leur inclusion pourrait produire des effets d'éviction indésirables, c'est-à-dire qu'ils entraveraient l'investissement privé en le remplaçant par un investissement public. Le mécanisme de financement le plus important pour ces projets d'infrastructure économiquement peu attractifs peut être les subventions gouvernementales, applicables directement ou indirectement au marché local des télécommunications pour renforcer l'attrait des projets.

Des subventions directes peuvent être mises à disposition, par exemple, par le biais de fonds d'obligation de service universel créés spécifiquement pour favoriser le développement des télécommunications, voire par le biais d'exonérations fiscales spécifiques appliquées aux opérateurs qui participent au projet. Des subventions indirectes peuvent être accordées en abaissant les frais de licence de spectre en échange d'un engagement à déployer et à fournir les services dans des zones peu attrayantes, par exemple, ou en convertissant un arriéré d'amendes d'un opérateur en obligations de déployer et de fournir les services à large bande dans des régions peu attractives.

Enfin, certains opérateurs peuvent utiliser leur engagement dans de nouveaux projets à large bande pour augmenter les attentes du marché et ainsi obtenir un financement par l'émission d'actions et

de débetures, mais ce mécanisme de financement est plus couramment utilisé lors de la phase d'estimation des coûts pour la fourniture de services, pour les raisons évoquées à la section 7.3.

7.3 Mécanismes de financement de la fourniture de services

La phase finale, qui est aussi la phase la plus longue d'estimation des coûts pour un projet à large bande, concerne l'exploitation du réseau et la fourniture de services. Cette phase se caractérise par un flux de liquidité intense et des besoins en capitaux flottants pour supporter les coûts administratifs, opérationnels et de maintenance, ainsi que par des investissements continus dans l'expansion et la modernisation du réseau.

Étant donné que le capital flottant est généralement coûteux sur les marchés du crédit, l'utilisation de capitaux propres à cette fin est assez courante. D'un autre côté, le coût d'opportunité de l'allocation des fonds propres pour soutenir les flux de liquidité d'une opération sur le long terme a tendance à augmenter rapidement, ce qui fait que d'autres mécanismes de financement tels que l'émission d'actions et de débetures sont de meilleures alternatives de financement sur le long terme.

En fait, une opération saine générant des recettes solides et croissantes peut attirer les investisseurs qui recherchent des rendements obligataires équitables sur le long terme. Plus les flux de liquidité d'exploitation sont sains, plus il sera intéressant pour une entreprise d'obtenir un financement par l'émission d'actions et de débetures, car la durabilité économique de l'opération se traduira par une meilleure valorisation des actions et par des taux d'intérêt plus bas sur les obligations de la dette.

S'il est généralement coûteux d'obtenir des financements bancaires privés pour soutenir le capital flottant requis lors de cette phase, force est de constater que certains opérateurs multinationaux peuvent avoir accès au marché international du crédit et obtenir des taux d'intérêt plus bas pour financer la fourniture de services. Mais, dans la plupart des cas, le fait d'attirer des capitaux internationaux pour le déploiement du large bande représente un défi, compte tenu des nombreux risques impliqués- par exemple, le risque d'augmentation des coûts financiers, le risque d'insatisfaction de la demande et le risque de fluctuation du taux de change.

En effet, il peut être conseillé aux gouvernements cherchant à promouvoir le déploiement de réseaux à large bande dans les zones mal desservies d'offrir un mécanisme pour atténuer le risque lié à la demande- par exemple, apporter des garanties financières à l'opérateur pour consolider la diminution des revenus en cas de baisse de la demande sans faute reconnue, ou lier le montant facturé au titre de la redevance annuelle à la capacité de l'opérateur à générer des recettes annuelles.

Le risque de fluctuation du taux de change survient lorsque la devise dans laquelle le financement a été obtenu (qu'il s'agisse des capitaux propres de l'opérateur ou des capitaux propres de tiers) diffère de la devise dans laquelle les coûts de l'entreprise doivent être payés. Un mécanisme que les gouvernements utilisent couramment pour atténuer ce risque consiste à mettre en place une couverture de change pour amortir l'impact des fluctuations importantes du taux de change sur le plan d'activités de l'opérateur.

Le risque d'augmentation des coûts financiers pendant le projet est dû à l'impact de fortes variations du taux d'intérêt de l'économie sur le taux d'intérêt des financements contractés à l'intérieur du pays. Les gouvernements peuvent atténuer ce risque en contractant des swaps de taux d'intérêt, ce qui a pour effet de renforcer l'attrait économique de l'entreprise pour les capitaux étrangers.

8 Conclusions

L'infrastructure des technologies de l'information et de la communication (TIC) est la base de l'économie numérique d'aujourd'hui et offre des possibilités exceptionnelles pour accélérer les

progrès en matière de réalisation des Objectifs de développement durable (ODD) et améliorer la vie des personnes de façon radicale.

La conception d'un plan d'activités visant à amener les réseaux TIC dans les zones mal desservies, éloignées et rurales représente un défi considérable pour les décideurs politiques, qui doivent tenir compte de l'installation, de l'exploitation, de la migration et du développement ultérieur des infrastructures nationales et transfrontalières, ainsi que des coûts relatifs associés à l'installation et au déploiement du réseau, et des stratégies optimales pour financer les investissements requis.

Le présent kit pratique relatif à l'infrastructure des TIC s'est efforcé d'aborder chacune des considérations clés et des mécanismes de meilleures pratiques concernant la planification, l'estimation des coûts, de la demande et des recettes, et l'examen des options de financement, en mettant l'accent notamment sur les projets desservant des zones économiquement peu attractives. Le public cible visé est les États Membres de l'UIT à la recherche d'orientations sur la manière d'élaborer des plans d'activités crédibles, cohérents et bien fondés pour élargir la couverture du réseau et en assurer la durabilité.

Grâce à ces lignes directrices, les décideurs et les régulateurs peuvent identifier avec précision le degré de faisabilité économique d'un projet en calculant sa valeur actualisée nette (NPV).

Les décideurs politiques qui souhaitent mettre en œuvre des projets d'infrastructure à large bande, généralement à forte intensité capitalistique, devraient procéder à une étude approfondie des alternatives de financement que le gouvernement pourrait offrir, ainsi que de la disponibilité du crédit privé sur le marché national, pour appréhender clairement les conditions nécessaires qui pourraient accroître l'attrait économique d'un projet pour les capitaux étrangers. Cela est d'autant plus important que la valeur actualisée nette estimée du projet indique une non-attractivité du déploiement du réseau et de la fourniture de services dans des domaines que le gouvernement a classés comme prioritaires pour le renforcement des investissements dans les infrastructures de télécommunications.

Enfin, soulignons une fois de plus les quatre principes fondamentaux applicables à tous les plans d'activités des politiques publiques:

- utiliser le plus grand nombre de données ouvertes possible;
- utiliser des études provenant de sources reconnues et crédibles à l'échelle internationale;
- utiliser des outils vérifiables;
- faire preuve de prudence lors des estimations.

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

Eu égard aux énormes lacunes dans le domaine des infrastructures TIC qui persistent encore dans de nombreux pays- même dans certains des pays les plus développés du monde- les auteurs espèrent que le présent kit pratique jouera un rôle important en contribuant à mettre le large bande à la portée de tous et en aidant à la réalisation des Objectifs de développement durable fixés par les Nations Unies.

Liste des sigles et acronymes

ARPU	Revenu moyen par utilisateur (<i>Average Revenue Per User</i>)
CAPM	Modèle d'équilibre des actifs financiers (<i>Capital Asset Pricing Model</i>)
CAPEX	Dépenses d'équipement (<i>Capital Expenditure</i>)
CPE	Équipement dans les locaux de l'abonné (<i>Customer Premises Equipment</i>)
CRP	Prime de risque du pays (<i>Country Risk Premium</i>)
DWDM	Multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>)
DSL	Ligne d'abonné numérique (<i>Digital Subscriber Line</i>)
EBIT	Résultat d'exploitation avant intérêts et impôts (<i>Earnings Before Interest and Taxes</i>)
EBITDA	Résultat avant intérêts, impôts et amortissements (<i>Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization</i>)
FTTH	Fibre jusqu'au domicile (<i>Fibre to the home</i>)
FTTO	Fibre jusqu'au bureau (<i>Fibre to the office</i>)
4G	Norme de quatrième génération (<i>Fourth Generation Standard</i>)
FCF	Flux de liquidité disponibles (<i>Free Cash Flow</i>)
FAC	Imputation générale des coûts (<i>Full Allocated Cost</i>)
GDP	Produit intérieur brut (<i>Gross Domestic Product</i>)
GDPPC	Produit intérieur brut par habitant (<i>Gross Domestic Product Per Capita</i>)
HC	Foyers connectés (<i>Home-connected</i>)
HP	Foyers connectables (<i>Home-passed</i>)
HSPA	Accès rapide en mode paquet (<i>High Speed Packet Access</i>)
HFC	Hybride à fibre optique (<i>Hybrid Fibre Coax</i>)
ICT	Technologies de l'information et de la communication (<i>Information and Communications Technology</i>)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IRR	Taux de rendement interne (<i>Internal Rate of Return</i>)
LTE	Évolution à long terme (<i>Long Term Evolution</i>)
MOU	Minutes d'utilisation (<i>Minutes of Usage</i>)
MRP	Prime de risque du marché (<i>Market Risk Premium</i>)
NPV	Valeur actualisée nette (<i>Net Present Value</i>)
OCF	Flux de liquidité d'exploitation (<i>Operating Cash Flow</i>)
OPEX	Dépenses d'exploitation (<i>Operational Expenditure</i>)
ODN	Réseau de distribution optique (<i>Optical Distribution Network</i>)
OLT	Terminal de ligne optique (<i>Optical Line Terminal</i>)
ONT	Terminal de réseau optique (<i>Optical Network Terminal</i>)

OECD	Organisation de coopération et de développement économiques (<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>)
PPP	Partenariat public-privé (<i>Public Private Partnership</i>)
QAM	Modulation d'amplitude en quadrature (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>)
RAN	Réseau d'accès radioélectrique (<i>Radio Access Network</i>)
R&D	Recherche et développement (<i>Research and Development</i>)
ROI	Retour sur investissement (<i>Return on Investment</i>)
RPM	Recettes par minute (<i>Revenue per Minute</i>)
SDH	Hiérarchie numérique synchrone (<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>)
3G	Norme de troisième génération (<i>Third Generation Standard</i>)
TCO	Coût total d'acquisition (<i>Total Cost of Operation</i>)
USF	Fonds de service universel (<i>Universal Service Fund</i>)
WACC	Coût moyen pondéré du capital (<i>Weighted Average Cost of Capital</i>)
WCDMA	Accès multiple par répartition en code à large bande (<i>Wide-Band Code-Division Multiple Access</i>)

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 numéro 1, 265-67.

Brown, S.J & Warner, J.B. (1980) *Measuring Security Price Performance*, *Journal of Financial Economics*, volume 8 numéro 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 numéro 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*, printemps/été, 13-28.

Cadman, R. et 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 numéro 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*, (2ème édition) John Wiley & 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 numéro 2, 197-226.

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

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

Cartes du large bande de l'UIT (2019), disponibles à l'adresse: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Pages/InteractiveTransmissionMaps.aspx>.

Portail de l'UIT "L'œil sur les TIC", disponible à l'adresse: <http://www.itu.int/net4/itu-d/icteye/Default.aspx>.

Portail de l'UIT sur le développement de l'infrastructure, disponible à l'adresse: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/InfrastructurePortal.aspx>.

Indicateurs fondamentaux de l'UIT relatifs aux TIC 2005 – 2018, disponibles à l'adresse: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2018/ITU_Key_2005-2018_ICT_data_with%20LDCs_rev27Nov2018.xls.

Recommandations UIT-T de la série G: Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques, disponibles à l'adresse: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>

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 numéro 3.

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

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, numéro 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 numéro 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 des Almadies
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
TelOne Centre for Learning
Corner Samora Machel and
Hampton Road
P.O. Box BE 792
Belvedere Harare
Zimbabwe

Courriel: itu-harare@itu.int
Tél.: +263 4 77 5939
Tél.: +263 4 77 5941
Fax: +263 4 77 1257

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
Thailand Post Training Center
5th floor
111 Chaengwattana Road
Laksi
Bangkok 10210
Thaïlande

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

Courriel: ituasiapacificregion@itu.int
Tél.: +66 2 575 0055
Fax: +66 2 575 3507

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

Adresse postale:
c/o UNDP – P.O. Box 2338
Jakarta 10110, Indonesia

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

Pays de la CEI

Fédération de Russie
International Telecommunication Union (ITU) Bureau régional
4, Building 1
Sergiy Radonezhsky Str.
Moscow 105120
Fédération de Russie

Courriel: itumoscow@itu.int
Tél.: +7 495 926 6070

Europe

Suisse
Union internationale des télécommunications (UIT)
Bureau pour l'Europe
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse
Courriel: eurregion@itu.int
Tél.: +41 22 730 5467
Fax: +41 22 730 5484

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

ISBN: 978-92-61-28882-2



Publié en Suisse
Genève, 2019

Photo credits: Shutterstock