

La gestion du spectre : innovations

*Donner la possibilité aux réseaux
communautaires et aux petits
opérateurs de connecter les
populations non connectées*



*Auteurs:
Stephen Song,
Carlos Rey-Moreno,
Michael Jensen*

Table des matières

1

Introduction

5

2

Le spectre : rudiments

9

2.1 *Les facteurs associés au succès des communications sans fil*

10

2.2 *Les limites du spectre*

11

2.3 *Des métaphores nouvelles pour expliquer le spectre : de la pénurie à l'abondance.*

12

3

Les organismes de réglementation et de normalisation

17

3.1 *Union internationale des télécommunications (UIT)*

19

3.2 *Organismes de normalisation internationaux*

21

4

Le paysage actuel

23

4.1 *La vitesse du changement technologique*

23

4.2 *Les enchères et l'attribution du spectre en forte demande*

25

5

Les innovations dans la gestion du spectre

29

5.1 *Le spectre exempt de licence*

30

5.2 *Le spectre sous licence pour les liaisons terrestres*

33

5.3 *La gestion dynamique du spectre*

35

5.4 *Les services de réseau mobile*

39

5.5 *Les redevances relatives au spectre*

44

5.6 *Les innovations en matière de gestion du spectre en dehors du cadre réglementaire*

47

5.7 *L'octroi de licence*

48



6**Transparence, données ouvertes et spectre****51****7****Conclusion et recommandations****55**

7.1	<i>Le spectre exempt de licence</i>	56
7.2	<i>Allègement des licences pour le spectre de liaisons terrestres</i>	56
7.3	<i>Le spectre dynamique</i>	57
7.4	<i>Le spectre pour les services de réseau mobile</i>	57
7.5	<i>Méthodes d'affectation du spectre par des services de gros</i>	58
7.6	<i>Transparence et données ouvertes</i>	58
7.7	<i>Renforcement des capacités et collaborations</i>	59

8**Remerciements****60****9****Tableaux****61**

	<i>Puissance de sortie réglementée dans les bandes utilisées par la technologie Wi-Fi dans les pays étudiés</i>	61
	<i>Puissance de sortie réglementée dans les bandes utilisées par la technologie d'ondes millimétriques dans les pays étudiés</i>	62

Les post-scriptum**63**



Résumé

L'IMPORTANCE D'AVOIR ACCÈS À UN RÉSEAU DE COMMUNICATION NE CESSE D'AUGMENTER. Pourtant, la moitié de la population mondiale ne dispose toujours pas d'une connexion à Internet. Les solutions traditionnelles semblent s'essouffler et avoir atteint leurs limites. Les tentatives de résolution de ce problème, qu'il s'agisse de stratégies ou de financements universels, d'initiatives du secteur privé ou d'actes de philanthropie, n'ont rencontré qu'un succès limité. C'est un casse-tête pour les organismes chargés de la législation et des réglementations : d'une part, l'importance de l'accès continue d'augmenter pour les personnes bénéficiant d'un accès aux infrastructures de communication à prix abordable ; d'autre part, les personnes non connectées sont de plus en plus à la traîne simplement parce qu'elles restent là où elles sont.

LA RÉOLUTION DE CE PROBLÈME PASSE PAR UNE RÉFLEXION INNOVANTE. CERTAINS CHANGEMENTS DANS LE PAYSAGE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS ENCOURAGENT L'OPTIMISME ET TÉMOIGNENT DE LA POSSIBILITÉ POUR TOUT UN CHACUN D'OBTENIR UN ACCÈS ABORDABLE AUX COMMUNICATIONS, SUR TOUTE LA PLANÈTE. Cependant, pour que ce changement prenne place, il est nécessaire de changer les politiques et les réglementations relatives à l'accès, et tout particulièrement vis-à-vis de la gestion du spectre des radiofréquences qui est encore largement ancré dans les paradigmes analogiques du 20e siècle. Ce rapport se veut une ressource pour les organismes chargés de la législation et des réglementations qui ont la tâche de favoriser l'accès à prix abordable aux communications. En premier lieu, cet article donne des clés nouvelles pour comprendre le vocabulaire, le cadre et la situation actuelle de la gestion du spectre. On aborde en particulier les problématiques suivantes :



Le besoin de rendre la terminologie et les concepts sous-jacents de la gestion du spectre plus facilement compréhensible. À l'aide d'analogies et d'exemples, on décrit les différents facteurs impliqués dans la communication par ondes radioélectriques. De la même façon, l'introduction de nouvelles métaphores aide à déconstruire le discours actuel sur la gestion du spectre, actuellement fondé sur la métaphore des droits à la propriété ; cette dernière entrave les innovations dans le domaine de la technologie sans fil alors même que ces innovations permettraient de connecter les populations non connectées. Porter un nouveau regard sur le spectre par le biais de ces métaphores montre qu'il est possible de sortir du débat actuel sur la « pénurie des fréquences » et au contraire de passer au thème de l'abondance, en particulier dans les

endroits où vivent les personnes privées de connexion.



Le fait que des organisations ayant recours à la même fréquence au même moment et au même endroit provoque une panne des communications. Cela entraîne une gymnastique complexe entre les organismes de réglementation, les organismes de normalisation, les fabricants de matériel et les opérateurs de réseau, qui ont tous leur rôle à jouer dans l'évolution et l'utilisation des technologies sans fil.



Le défi que pose un milieu à double vitesse : l'accélération des changements technologiques face au rythme classique de la répartition et de l'affectation du spectre. À ce défi s'ajoute la demande croissante de spectre pour les services sans fil de la part des opérateurs qui cherchent eux-mêmes à répondre à la demande croissante de la clientèle pour les services large bande.

Par la suite, l'article développe de façon détaillée l'état actuel de la gestion du spectre en ce qui concerne les bandes de fréquences utilisées pour la connectivité, dans un éventail de pays représentatifs autour du globe (Argentine, Brésil, Canada, Inde, Mexique, Afrique du Sud, États-Unis). Ainsi, l'article dresse les bases d'un écosystème de gestion du spectre en évolution où plusieurs approches complémentaires peuvent être associées pour éliminer les obstacles et apporter un appui aux réseaux communautaires et aux petits opérateurs. En particulier, on encourage les organismes chargés de la législation et des réglementations à prendre en compte les preuves du fonctionnement d'approches innovantes de gestion du spectre dans les domaines qui suivent :



La progression rapide de l'utilisation de spectre exempt de licence sous la forme du Wi-Fi est une leçon importante sur le pouvoir que peut avoir une innovation sans friction et sur la demande accumulée pour un accès à Internet abordable. Il serait logique pour les organismes de réglementation de tirer parti de cette réussite en étendant la plage de fréquences réservées à l'utilisation exempte de licence, notamment dans les bandes de 5 GHz et 6 GHz, et en réduisant les taxes et les coûts administratifs liés à leur utilisation. Les organismes de réglementation devraient également penser à augmenter les niveaux de puissance permis lors de l'utilisation d'antennes directionnelles avec le Wi-Fi pour les liaisons terrestres fixes, étant donné que les communications hautement directionnelles présentent moins de chances d'interférences.



En plus des bandes Wi-Fi traditionnelles exemptes de licence, il existe dans plusieurs pays d'autres bandes qui peuvent actuellement être utilisées sans licence de spectre. On trouve un intérêt particulier dans celle de 24 GHz, celle de 60 GHz (bande V) et celle de plus de 71 GHz (bande E), autrement appelées ondes millimétriques puisque la longueur d'onde de ces hautes fréquences se situe dans les millimètres. Ces fréquences pourraient être utilisées par les petits opérateurs et les réseaux communautaires pour proposer une connectivité de qualité comparable à la fibre. Les organismes chargés de la législation et des réglementations devraient envisager de permettre l'utilisation de ces bandes tout en les laissant exemptes de licence.



Grâce à la réduction des interférences nuisibles des antennes capables de canaliser



les communications sans fil sur des faisceaux très étroits, des organismes de réglementation ont étendu l'utilisation de certaines bandes, comme celle de 11 GHz pour les liaisons terrestres fixes point à point. Les organismes de réglementation devraient prendre en considération la disponibilité des solutions hyperfréquences à bas coût sur le marché et adapter les réglementations pour encourager leur utilisation. Cela pourrait prendre la forme d'un allègement des licences pour permettre une attribution coopérative d'affectations de fréquences géolocalisées..



La montée des prix pour le spectre sous licence à usage exclusif contraste vivement avec le spectre exempt de licence disponible gratuitement. Grâce au spectre dynamique, on a l'occasion d'établir un terrain d'entente entre les deux. Bien que la réglementation concernant les espaces blancs de télévision (TVWS) ait été mise en œuvre dans plusieurs pays, le véritable potentiel de ces espaces blancs reste encore à développer : ils pourraient faire l'objet d'une technologie d'accès financièrement abordable dans les pays en développement où le spectre UHF est largement inoccupé. Il faudrait que les organismes de réglementation accélèrent l'adoption d'une réglementation sur les TVWS et envisagent l'application de ces approches de gestion à d'autres bandes de fréquences.



Tandis que la demande de spectre surpasse souvent sa disponibilité administrative dans les zones urbaines, de grandes parties du spectre sous licence restent inutilisées dans les régions pauvres et peu peuplées. Ces dernières années, on a vu l'apparition de plusieurs fabricants d'équipements de 2G et de 4G à bas coût, qui offrent la possibilité de changer drastiquement le modèle de prix et de déployer des réseaux mobiles ruraux durables. Les organismes de réglementation devraient envisager le recours à un système de partage de spectre pour les services de réseaux mobiles dans les zones rurales qui n'ont pas forcément de valeur pour les grands opérateurs mais qui pourraient avoir des retombées importantes pour les petits opérateurs et les réseaux communautaires. Pour aider à prévoir la rentabilité d'un tel système, il conviendrait de réaliser une étude économique pour comprendre ce que coûte le spectre inutilisé et trouver des méthodes pour encourager son utilisation. Cela pourrait mener à la mise de côté de petites portions du spectre qui seraient réservées aux opérateurs fournissant une connectivité à prix abordable dans les zones sous-desservies. Cette stratégie pourrait s'avérer particulièrement efficace pour veiller à ce que les affectations prochaines du spectre 5G ne creusent pas davantage la fracture numérique.



Il conviendrait de revoir la méthode de ventes aux enchères de façon à lui attribuer un vrai rôle quant au renforcement de l'accès à bas coût dans les régions sous-desservies. Nous recommandons d'explorer des approches de services de gros pour les sections du spectre destinées aux régions difficiles à desservir. De la même façon, il est possible de favoriser la réutilisation des fréquences et la mise à disposition d'un accès abordable grâce à l'élaboration de calculs plus détaillés des redevances auxquelles les opérateurs sont soumis pour leur utilisation du spectre. Pour encourager l'agrandissement de l'infrastructure actuelle, on pourrait inclure dans ces calculs des facteurs comme l'emplacement où le spectre sera utilisé et facturer des redevances moins lourdes en cas d'utilisation dans des régions sous-desservies.



Les innovations dans la gestion du spectre ne doivent pas forcément toutes émaner des pouvoirs publics chargés de la législation et des réglementations. Les associations

professionnelles ont le potentiel d'appliquer une auto-régulation. Elles jouent également un rôle clé dans la promotion d'une réglementation qui correspond aux besoins de ceux qui proposent des solutions complémentaires favorables à un accès abordable universel. L'un des exemples les plus innovants d'auto-régulation est celui de la gestion de l'infrastructure des télécommunications comme d'un bassin de ressources communes. Cela génère des économies d'échelle et incite au partage de l'infrastructure, ce qui contribue à la réduction des prix pour l'utilisateur final.



Les innovations dont il question dans cet article devraient être prises en considération dans un système d'octroi de licences global favorable aux petits opérateurs et aux réseaux communautaires. Les droits de licence élevés et les obligations et problèmes de conformité qui s'y rattachent empêchent les opérateurs complémentaires de bénéficier des innovations relatives au spectre.



Le fait que le spectre représente de plus en plus une ressource cruciale pour fournir à tous un accès abordable entraîne le besoin d'ouvrir un débat public plus inclusif. Les organismes de réglementation se doivent d'augmenter la transparence et la communication en ce qui concerne les problématiques de gestion du spectre, l'octroi de licence et, plus généralement, les infrastructures des télécommunications.

Dans les 25 dernières années, le paysage des télécommunications s'est complètement transformé pour passer d'un monolithe dominé par des opérateurs publics, à un écosystème complexe d'opérateurs, de technologies, de fabricants d'équipements et de prestataires de services. Ce nouvel environnement a ouvert la porte aux réseaux communautaires et aux petits opérateurs, disposés à remplir les vides que les grands opérateurs sont peu enclins à remplir. La réglementation actuelle vis-à-vis du spectre, qui a démontré son utilité dans les marchés prévisibles et peu changeants, n'est plus capable de suivre le rythme du changement technologique et n'est pas faite pour porter un regard sur les nouvelles technologies et les modèles économiques susceptibles d'apporter une réponse aux problèmes d'accès et de coûts. Il faut innover. Nous encourageons les organismes chargés de la législation et des réglementations à adopter les recommandations énoncées ci-dessus ; nous pensons que celles-ci mèneront à un écosystème plus varié où les petits opérateurs et les réseaux communautaires feront progresser l'objectif commun de l'accès à bas coût pour tous.



Introduction



L'IMPORTANT D'AVOIR ACCÈS À UN RÉSEAU DE COMMUNICATION NE CESSE D'AUGMENTER.

Il y a plus de dix ans, des chercheurs ont établi une corrélation entre la proximité d'un réseau de communication et la réduction des chances de mourir du paludisme.¹ Aujourd'hui, dans un monde où les smartphones offrent des services génériques puissants comme la messagerie personnelle ou groupée, et des applications plus spécialisées dans des secteurs majeurs comme ceux de l'éducation et de l'agriculture, les réseaux de communication recevront bientôt le statut d'infrastructure essentielle dans l'économie moderne. Il s'agit aussi d'une question de droits. La liberté d'expression et la capacité à communiquer sont essentielles au développement, à la dignité et à la réalisation de chaque personne ; cela consiste à s'assurer que les gens peuvent bénéficier d'une compréhension du milieu qui les entoure et du monde à plus grande échelle, grâce à l'échange libre des idées et des informations avec autrui. Pour qu'un individu exerce son droit de s'exprimer et de communiquer, il lui faut un accès fiable et abordable aux communications électroniques. Pourtant, plus de la moitié de la population mondiale n'a pas accès à Internet.² Les raisons de ce manque d'accès varient. En Afrique, par exemple, 40 % de la population vit en dehors des zones couvertes par le haut débit mobile.³ Les coûts posent également problème : « Le prix de l'accès à 500 Mo de données représente presque 10 % du PIB par habitant dans les pays à revenu faible. [...] pour celles et ceux situés dans les 40 % de la population aux revenus les plus bas du pays, le coût est encore bien plus élevé. »⁴ Parmi les autres facteurs se trouvent les compétences numériques et le manque de contenu pertinent au niveau local.

Les solutions traditionnelles semblent s'essouffler et avoir atteint leurs limites. La croissance des souscriptions mobiles ralentit⁵ tandis que les opérateurs de réseaux mobiles ont du mal à trouver une rentabilité dans les marchés où les revenus correspondent au minimum vital et dans les régions à densité très faible. Notons également que cette même problématique se retrouve dans le nombre d'utilisateurs d'Internet, dont la croissance est passée de 12 % en 2016 à seulement 7 % en 2017.⁶ Les projections pour les huit prochaines années suivent la même tendance.⁷ Les différentes tentatives de résolution de ce problème, qu'il s'agisse de stratégies ou de financements universels, d'initiatives du secteur privé ou d'actes de philanthropie, n'ont rencontré qu'un succès mitigé.

C'est un casse-tête pour les organismes chargés de la législation et des réglementations : d'une part, l'importance de l'accès continue d'augmenter pour les personnes bénéficiant d'un accès aux infrastructures de communication à prix abordable; d'autre part, les personnes non connectées sont de plus en plus à la traîne simplement parce qu'elles restent là où elles sont. Par conséquent, les populations qui en ont le plus besoin sont privées d'opportunités, des réseaux de sécurité sociale et sanitaire, d'accès à l'éducation, et des informations qui pourraient accroître leur poids sur la scène mondiale. L'ironie de la situation — ou plutôt la tragédie — c'est que la voix des personnes non connectées peine à se faire entendre pour les mêmes raisons qui les maintiennent non connectées.

La résolution de ce problème passe par une réflexion innovante. Par le passé, la résolution des problèmes liés à la connectivité ne pouvait passer que par les gouvernements et leur investissement de vastes ressources dans les réseaux, alors publics. La révolution de la téléphonie mobile a ouvert la porte à l'investissement du secteur privé dans les télécommunications et à de nouveaux modèles économiques comme les services prépayés, qui ont permis de déployer des services de communication durables bien au-delà de ce que l'on avait pu imaginer. Pourtant, devenir opérateur de réseau mobile représente toujours un investissement de plusieurs millions de dollars, obstacle considérable pour entrer sur le marché.

Plusieurs facteurs suggèrent que le paysage des télécommunications est à nouveau en pleine transformation.

- La chaîne de valeur des réseaux de télécommunications se désagrège. Jusque là, pour entrer sur le marché, un opérateur devait investir dans des infrastructures internationales, nationales, régionales et locales. On commence désormais à voir de la concurrence s'établir dans chacun de ces segments.

- L'expansion de l'infrastructure de la fibre optique, tant sous-marine que terrestre, est en train de transformer le marché de l'accès. Il ne fait aucun doute que les réseaux de fibre optique renforcent la capacité des opérateurs existants à fournir du haut débit, mais, en parallèle, ces réseaux ouvrent des possibilités pour de nouveaux acteurs qui peuvent dorénavant fournir des solutions plus ciblées, localisées et à bas coût aux populations non desservies.
- Les changements dans la technologie locale (le « dernier kilomètre ») ouvrent eux aussi de nouvelles voies. La généralisation du Wi-Fi comme technologie d'accès permet autant aux entreprises, aux gouvernements et aux communautés de créer des initiatives et de proposer des services locaux. La gestion dynamique du spectre semble prometteuse pour fournir une autre option de technologie d'accès.
- Enfin, la croissance colossale de l'accès combinée à la fabrication de masse a réduit considérablement le coût des technologies d'accès, au point qu'elles sont désormais à la portée des petits opérateurs. Par exemple, les stations de base GSM open source à bas coût fonctionnant à l'énergie solaire peuvent être déployées pour une fraction des montants typiques dépensés par les opérateurs de réseaux mobiles existants.

Tous ces changements sont autant de raisons d'être optimistes et de croire en la possibilité d'un accès aux communications abordable pour tout le monde sur la planète. Toutefois, pour que les paroles se transforment en faits, il est nécessaire d'apporter des modifications dans les politiques régissant l'accès, notamment en ce qui concerne la gestion du spectre. Comme le conseille le Bureau de développement (BDT) de l'Union internationale des télécommunications (UIT) :

il est important que « les administrations, dans le cadre de leurs activités de planification du spectre des fréquences radioélectriques et d'octroi de licences, envisagent des mécanismes propres à faciliter le déploiement de services large bande dans les zones rurales et isolées par les petits opérateurs communautaires à but non lucratif ».⁸

Cette recommandation se fonde sur le rôle vital croissant des systèmes de communications sans fil dans les sociétés en cours de connexion. Cependant, les modèles actuels de la gestion du spectre radioélectrique sont encore largement ancrés dans les paradigmes analogiques du siècle dernier et doivent faire preuve d'adaptation à la variété grandissante des modèles de connectivité

et aux développements technologiques récents, comme la radio logicielle et l'attribution dynamique du spectre. Ces approches novatrices ont le potentiel de rendre possibles les communications universelles à bas coût, notamment dans les régions où la connectivité est absente ou limitée, et ce, en permettant aux populations non connectées de combler elles-mêmes ce manque par le biais de petits opérateurs et de réseaux communautaires.

Le présent rapport⁹ se veut une ressource pour les organismes chargés de la législation et des réglementations qui souhaitent encourager ce changement. D'une part, il examine le statut actuel de la gestion du spectre dans les bandes de fréquences utilisées pour l'accès à la connectivité dans une sélection de pays autour du globe.¹⁰ D'autre part, il établit la base d'un écosystème d'une gestion du spectre en pleine évolution, où il est possible d'avoir recours à plusieurs approches complémentaires pour éliminer les obstacles et soutenir les réseaux communautaires et les petits opérateurs.



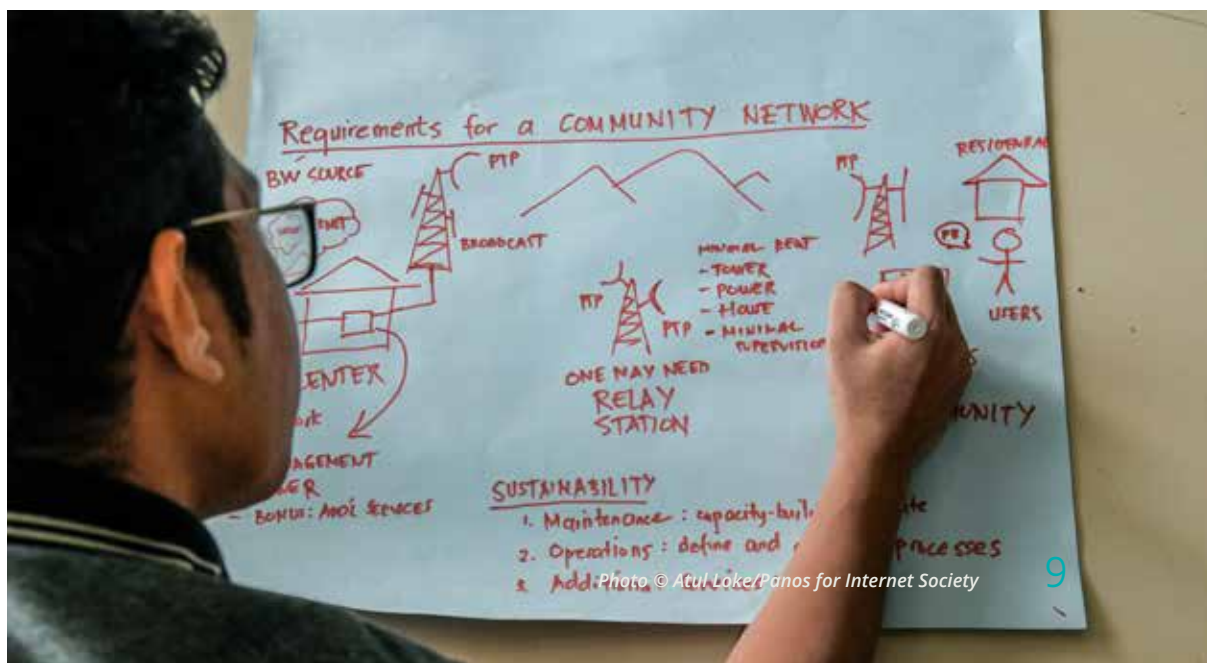


Le spectre : rudiments

2

ABORDER LE THÈME DU SPECTRE SANS FIL CONSTITUE UN DÉFI; MÊME LA TERMINOLOGIE N'EST PAS FACILE À ÉTABLIR. Des termes comme « spectre sans fil », « fréquences radio », « communication radio », ou même simplement les « ondes » se rapportent tous au même concept, celui de la transmission d'informations (voix ou données) par le biais de rayonnements électromagnétiques, ou ce qu'on appelle communément les ondes radio.¹¹

La distance d'une crête à l'autre d'une onde radio est appelée sa longueur d'onde, et cette distance détermine le nombre d'ondes par seconde, autrement dit la fréquence de l'onde radio. Historiquement, on a attribué différentes fonctions à différentes bandes de fréquence, comme la radiodiffusion télévisuelle, les communications aériennes, les radars, la communication mobile, pour n'en nommer que quelques-unes.¹² Cette allocation des bandes de fréquences dans des buts spécifiques constitue la convention de la gestion du spectre depuis l'aube des technologies de radiocommunications.



2.1 Les facteurs associés au succès des communications sans fil

Nous communiquons grâce à l'encodage d'informations dans les ondes radio. Par le passé, les informations encodées étaient analogiques, comme la voix ou la musique ; mais petit à petit tous les types de communications sont convertis au format numérique avant d'être encodés pour la radiocommunication. Ce procédé de communication comprend quatre facteurs clés :

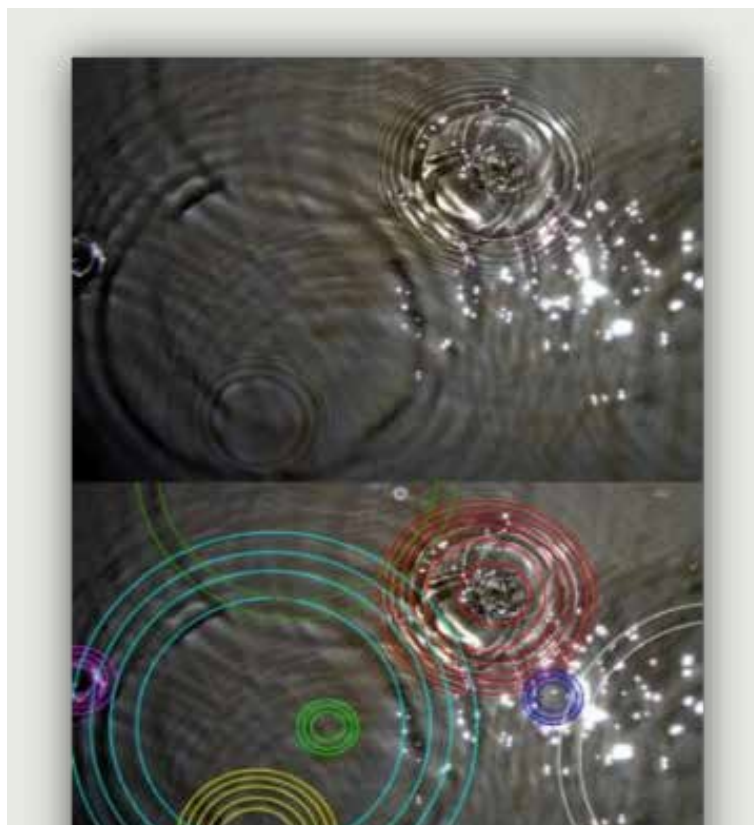
- l'appareil à l'origine de la communication ou « émetteur » ;
- l'appareil qui reçoit la communication ou « récepteur » ;
- le média et la distance parcourus par les ondes radio ;
- les autres transmissions radio.

La relation entre l'émetteur et le récepteur est comparable à une conversation entre deux personnes. La façon dont la personne parle (clair et fort) est un facteur pour que la communication fonctionne, mais tout autant que la capacité à entendre de la personne qui écoute. Dans les systèmes de radiodiffusion analogiques ou numériques, il y a un émetteur clairement identifié et plusieurs récepteurs. Le succès de la communication est un effort d'équipe entre l'émetteur et le récepteur : la clarté et le volume du premier se combinent à la sensibilité du dernier pour déterminer la puissance et la qualité de la communication. Cependant, dans la plupart des systèmes de communication contemporains, les deux côtés ont le rôle à la fois d'émetteur et de récepteur. C'est le cas par exemple de la téléphonie mobile et du Wi-Fi. Pour que la communication se déroule sans encombre, les deux doivent disposer de bonnes capacités d'émission et de réception. C'est pourquoi, dans la plupart des cas, la qualité de la communication est déterminée par l'appareil qui dispose des « pires capacités ».

Ce qui se passe physiquement entre l'émetteur et le récepteur constitue également un facteur. La longueur d'une onde radio ou sa fréquence

détermine comment l'onde radio est affectée par le média qu'elle rencontre entre l'émission et la réception. Les ondes radio plus longues sont moins gênées par les obstacles physiques comme les arbres et les bâtiments ; cela dit, même les ondes longues ne peuvent pas franchir des montagnes. Les ondes radio à haute fréquence (plus courtes) ont plus de chances de rebondir sur des obstacles physiques ou d'être absorbées par ceux-ci, qu'il s'agisse d'arbres ou de bâtiments mais aussi de la pluie ou de petites particules en suspension dans l'air. C'est pourquoi les radios en ondes courtes, qui disposent d'une longueur d'onde très longue (contrairement à ce que leur nom pourrait suggérer), peuvent communiquer sur des centaines de kilomètres tandis qu'un simple mur en béton peut bloquer un signal Wi-Fi. C'est aussi la raison pour laquelle la communication satellite est possible, étant donné que le média à

Figure 1 : Représentation des interférences



l'extérieur de l'atmosphère (presque vide) est idéal pour que le signal puisse se propager presque sans interférences.

Enfin, les autres transmissions radio jouent un rôle important dans la qualité d'une communication radio. S'il existe plusieurs transmissions radio sur une même fréquence, le récepteur peut avoir du mal à discerner laquelle lui est destinée. C'est ce qu'on appelle l'interférence radio. Les ondes radio, cependant, n'interfèrent pas entre elles de la même façon qu'une branche interférerait avec votre balade en forêt. En physique hertzienne, l'interférence fait simplement référence à la combinaison de plusieurs formes d'ondes dont le résultat peut être une onde plus longue ou plus courte. Imaginez une mare dont l'eau est calme. Si on y jette une pierre d'un côté et une autre pierre de l'autre côté, les ondes générées par chacune des pierres vont finir par se rencontrer et peuvent alors former des vagues plus petites ou plus grandes. Mais elles ne se bloquent pas : elles passent l'une à travers l'autre. Si l'on pouvait colorer les ondes d'une des pierres en jaune et celles de l'autre pierre en bleu (voir la figure 1), nous pourrions voir chaque groupe d'ondes passer clairement d'un côté à l'autre de la mare.

L'incapacité des récepteurs radio à distinguer plusieurs transmissions de la même fréquence constitue la raison pour laquelle le spectre radio est réglementé : pour éviter les interférences nuisibles. Cela a mené à l'attribution de fréquences spécifiques à des objectifs spécifiques, pour des organisations spécifiques. L'attribution unique d'une fréquence à une organisation, quand elle est respectée, garantit de façon efficace l'absence

d'interférences radio. Toutefois, comme nous le verrons plus loin dans cet article, il se peut qu'il ne s'agisse pas de la stratégie la plus efficace pour rendre possible l'accès à bas coût.

Une fois tous les facteurs ci-dessus combinés, l'information atteint sa destination avec un niveau énergétique donné. Plus l'un des côtés est capable de recevoir le signal émis par l'autre côté, c.-à-d. plus le signal est au-dessus du niveau du bruit de fond, plus la transmission de l'information est possible. Imaginez que vous conversez avec quelqu'un dans un lieu calme. Peu importe la vitesse à laquelle votre interlocutrice parle, vous serez capable de comprendre le message qu'elle cherche à transmettre. Par contre, dans un lieu bruyant comme un bar ou un restaurant, cette même interlocutrice aura besoin de parler plus lentement pour que vous soyez capable de suivre la conversation. Par conséquent, il faudra plus de temps pour transmettre la même quantité d'informations. Dans la communication sans fil, étant donné que les deux extrémités peuvent être très éloignées, les niveaux de bruit alentour peuvent être différents pour chacune des parties, ce qui signifie que la personne à une extrémité peut transmettre plus d'informations par unité de temps que l'autre. Le même phénomène se produit avec le débit de données entre deux appareils. Plus le canal entre les deux appareils est dégagé dans les deux sens, plus on pourra transmettre de mégabits par secondes, mais le flux n'est pas nécessairement symétrique. Nous allons explorer dans la prochaine section la limite de quantité de données qui peuvent être transmises par unité de temps.

2.2 Les limites du spectre

Avec le développement des technologies de radiocommunication des dernières décennies, on a été témoin de l'amélioration continue des émetteurs radio, dont l'émission est toujours plus claire et plus efficace, et des récepteurs, qui sont plus sensibles et moins enclins à se laisser distraire par des interférences. On a également accru de façon constante notre capacité à encoder

davantage d'informations dans les mêmes ondes radio, notamment quand le signal reçu est clair. Néanmoins, ce progrès a des limites. La limite de Shannon¹³ définit le seuil maximal de quantité de données qui peut être transférée sur un canal de fréquence. Cette limite dépend du théorème de Shannon énoncé par le mathématicien Claude Shannon en 1948, qui démontre que le

débit maximal est la fonction entre la taille de la fréquence (appelée généralement largeur de bande) et le ratio signal-niveau de bruit. Cela signifie qu'il existe une limite fixe¹⁴ à la quantité de données que l'on peut envoyer par l'intermédiaire d'une gamme de fréquences donnée. Ainsi, la taille de la bande de fréquences est proportionnelle à la quantité d'informations qu'elle peut transporter. Par exemple, un opérateur de services de données mobiles qui dispose de 20 MHz de spectre peut offrir de meilleures capacités à sa clientèle qu'un concurrent qui dispose de 10 MHz de la même bande de fréquences.

En revanche, même cette limite a priori immuable se doit d'être réinterprétée à la lumière du changement technologique. Rien n'a changé qui réfute le théorème de Shannon. Pourtant, en utilisant plusieurs antennes, ou ce que l'on appelle MIMO (Multiple-Input/Multiple-Output; ou entrées multiples et sorties multiples), il est possible de surpasser la limite de Shannon pour une bande de fréquences donnée en transmettant toujours dans la même fréquence mais par le biais de différentes routes.

2.3 Des métaphores nouvelles pour expliquer le spectre : de la pénurie à l'abondance.

Le fait que les ondes radio soient invisibles et omniprésentes signifie qu'il faut faire preuve d'imagination pour trouver des moyens d'aborder le sujet avec clarté et pertinence et pour établir des réglementations efficaces régissant leur utilisation. Le recours aux métaphores est de mise. La métaphore dominante actuelle est celle de l'immobilier : l'utilisation de fréquences spécifiques dans une zone géographique spécifique peut s'assimiler à un bien immobilier venant avec des droits de propriété. C'est l'économiste Ronald Coase en 1959¹⁵ qui a conceptualisé pour la première fois cette métaphore, et celle-ci est devenue la métaphore la plus populaire pour décrire la mise à disposition du spectre en forte demande.¹⁶

Dans le cadre d'enchères, les opérateurs doivent faire une offre pour des licences de spectre qui leur donnent ensuite le droit exclusif d'exploiter des fréquences données, souvent dans l'intégralité du pays. La période de validité de ces licences est généralement de 10, 15 ou 20 ans. Cette méthode repose sur l'idée que les licences de spectre doivent aller à ceux qui accordent le plus de valeur au spectre et, par extension, ont le plus fort intérêt à l'utiliser. Ce modèle s'appuie sur l'hypothèse que le marché constitue le meilleur moyen de disposer efficacement des ressources naturelles, mais il ignore tous les autres modèles qui ont fait leurs preuves. Gérer les ressources naturelles par leur mise en commun représente une autre option dont les qualités ont été éprouvées. Le travail

de la lauréate du prix Nobel Elinor Ostrom sur les modèles de bassins de ressources communes¹⁷ a efficacement démantelé le dogme de la « tragédie des biens communs » (en anglais, *tragedy of the commons*),¹⁸ qui se produit en l'absence de biens privés. Dans un scénario d'échec du marché, comme celui dans lequel se trouve la population non connectée, il est sensé d'envisager des stratégies complémentaires pour gérer les ressources naturelles comme le spectre. Il est intéressant de constater que l'UIT, dans ses Lignes directrices relatives à l'établissement d'un système cohérent de redevances liées à l'utilisation des fréquences radioélectriques,¹⁹ estime que l'un des huit principes de gestion des biens communs est le suivant²⁰ : « l'établissement d'un système de redevances devrait faire l'objet d'un consensus entre tous les acteurs concernés. » En pratique, par contre, tous les acteurs n'ont pas leur mot à dire sur l'établissement de ces tarifs.

La métaphore de l'immobilier et des droits de propriété appuie le modèle actuel des licences exclusives à long terme pour l'exploitation des équipements radio dans différentes fréquences. Cela a eu son utilité pour aider à trouver une façon pratique de gérer le spectre, en s'assurant que le spectre aille à ceux qui lui accordent de la valeur et que les détenteurs de licences de spectre ne subissent pas d'interférences. Cependant, avec le succès des technologies sans fil et la croissance d'Internet, la demande de spectre a explosé, entraînant des spéculations sur une

« crise du spectre »²¹ imminente, quand l'accès des opérateurs au spectre ne sera plus suffisant pour répondre à la demande des consommateurs et consommatrices. Mais d'autres ont qualifié la crise du spectre de mythe.²² En fait, le manque de disponibilité du spectre de nos jours est plus lié au régime administratif qui détermine cette disponibilité qu'à une véritable pénurie. On peut mieux comprendre comment ce paradoxe a émergé en examinant les métaphores qui aident à la réflexion sur le spectre et, en fin de compte, aux réglementations qui le régissent.

Si on explore davantage la métaphore de l'immobilier et des droits de propriété et qu'on l'applique à l'attribution du spectre, on prend conscience des moyens novateurs et intéressants qui peuvent s'appliquer, mais aussi des moyens qui ne peuvent plus être assimilés à cette métaphore en raison de la nature et du comportement des ondes radio.

La différence la plus parlante est peut-être la capacité de réutiliser le spectre en diminuant la taille ou la portée de la transmission. Prenons l'exemple d'une seule tour disposant d'une radio émettant un signal sur un rayon de 12 kilomètres. On pourrait remplacer cette tour par trois autres tours de puissance et de rayon moindres, couvrant la même zone, avec pour résultat de doubler ou de tripler la capacité totale du spectre dans une même bande de fréquences sur cette zone. Les deux extrémités de la communication étant plus proches, elles seront capables de transmettre plus d'informations. Si on file la métaphore de la propriété, on peut comparer cette méthode à la construction d'un immeuble d'appartements au lieu d'une maison. Avec le spectre radio, la hauteur de l'immeuble n'a pas de limite. La limite pratique est financière, puisqu'il faudrait davantage de fonds. Les points d'accès Wi-Fi en sont peut-être le meilleur exemple avec des cellules qui mesurent typiquement moins de 100 m, ce qui permet une réutilisation massive du spectre.²³

Il est également possible d'avoir des transmissions radio qui opèrent dans les mêmes fréquences en mettant en œuvre ce que l'on décrirait de protocole de « bonnes manières ». Technologie conçue pour le spectre exempt de licence, le Wi-Fi suit la méthode CSMA (accès multiple avec écoute de porteur) qui consiste à écouter le canal et

vérifier si la fréquence est libre avant d'émettre. Cette méthode s'est avérée extrêmement utile pour permettre la prolifération des milliards d'appareils utilisant le Wi-Fi dans le monde entier.

Continuons sur la métaphore de la propriété : on pourrait comparer la gestion du spectre sous licence à un grand hôtel où il serait possible de réserver des chambres pour des années, qu'on les occupe ou non. L'exemple d'Airbnb et le changement phénoménal occasionné sur l'industrie hôtelière est témoin du potentiel qui existe quant à l'application de modèles économiques et de logiciels d'aide à la gestion des ressources pour procéder à l'attribution du spectre. On pourrait ainsi adopter une approche d'attribution du spectre à point nommé, par laquelle le spectre est mis à disposition quand on en a besoin, où on en a besoin et pour la période de temps nécessaire. La gestion dynamique du spectre, développée plus loin dans cet article, en est un excellent exemple. Le développement technologique de l'attribution dynamique des ressources par le biais d'un logiciel est désormais bien avancé mais, malgré cela, n'est pas encore vraiment utilisé dans le domaine de la gestion du spectre. Si les organismes de réglementation s'investissent suffisamment tôt dans la gestion dynamique des ressources, cela assurera une mitigation des inconvénients vus dans les autres secteurs. Par exemple, dans le secteur des taxis, les services logiciels comme Uber sont porteurs d'une innovation et d'un changement forts pour de nombreuses villes dans le monde. Mais cette innovation n'est pas sans apporter des défis de taille pour veiller à ce que les chauffeurs et chauffeuses, autant que la clientèle, bénéficient des mêmes protections qu'auparavant. L'attribution dynamique des ressources par logiciel s'avère être un moyen puissant pour améliorer l'efficacité de la gestion des ressources, et ce n'est encore que le début. C'est l'occasion pour les organismes de réglementation de s'investir et de profiter de tous les avantages de cette technologie tout en évitant les pièges constatés dans d'autres secteurs.

La métaphore de la propriété nous trompe encore sur bien d'autres facettes du comportement des ondes radio. Par exemple, il est possible d'exploiter avec succès deux transmissions radio utilisant la même fréquence passant par une connexion

point à point, grâce à la mise en œuvre d'antennes conçues pour provoquer l'oscillation des ondes d'une des transmissions de haut en bas, tandis que les ondes de la deuxième transmission oscillent horizontalement. Cette propriété porte le nom de polarité. Si vous avez déjà porté des lunettes de soleil polarisées, vous avez certainement fait l'expérience de ce phénomène.

Un autre exemple est simplement celui de l'orientation de l'antenne utilisée. Les antennes satellites sont orientées vers le ciel. Les antennes radar météorologiques côtières sont orientées vers la mer. Quand deux faisceaux se croisent, cela ne crée pas d'interférences, du moment que chacun des deux faisceaux n'est pas « écouté » par l'autre. Prenez par exemple deux faisceaux perpendiculaires l'un à l'autre. L'orientation d'une antenne due à la nature de l'utilisation du spectre peut présenter des opportunités de réutilisation de ce même spectre dans la même zone géographique, simplement grâce à une orientation différente.

Explorons une nouvelle métaphore. Peut-être vous êtes vous déjà rendu à une fête où tout le monde parle anglais. Dans la cacophonie des dizaines de discussions autour de vous, vous réussissez à entendre deux personnes discutant dans votre langue maternelle. Si ces deux personnes parlaient anglais, vous ne percevriez pas mieux leurs voix que celles des autres, mais parce qu'il s'agit de votre langue maternelle, vous les entendez plus distinctement. Ce phénomène bien établi est connu sous le nom d'effet cocktail.²⁴

De plus en plus, les technologies radio modernes sont capables de détecter des transmissions susceptibles de créer des interférences et elles s'adaptent en fonction, en encodant les transmissions d'une façon unique qui les rend reconnaissables auprès d'un récepteur spécifique. Ce type de technologie (qui nécessite une combinaison d'antennes et de logiciel) est encore jeune, mais elle s'améliore de jour en jour et nous pourrions sûrement bientôt faire passer plusieurs communications radio sur la même fréquence, sans que cela ne crée de problème.

Trouver de nouvelles métaphores peut permettre de révéler d'autres propriétés des ondes radio qui peuvent s'avérer très efficaces. Imaginez que

vous êtes à un concert de rock. Le groupe joue votre morceau préféré et vous parlez avec votre meilleur ami à côté de vous pour expliquer à quel point vous aimez cette chanson. Vous utilisez tous deux le même « spectre » audio, pourtant votre conversation n'interfère pas avec le groupe de musique. Ce concept fait référence au bruit de fond²⁵ et ouvre de nouvelles possibilités de coexistence d'équipements radio sur la même fréquence. La technologie de bande ultralarge (UWB) repose sur ce concept pour fournir une bande passante très élevée sur de courtes distances, créant de nouvelles possibilités pour les périphériques informatiques présentant des exigences importantes de transfert de données.

Même les interférences radio que la gestion du spectre a toujours tenté d'éviter pourraient être utilisées à bon escient. Les antennes d'un émetteur radio peuvent être combinées de telle façon que les signaux orientés dans des angles particuliers peuvent recevoir des interférences constructives, tandis que d'autres reçoivent des interférences destructives, ce qui permet aux signaux d'être orientés de façon bien plus précise. On peut avoir recours à cette méthode, appelée « formation de faisceau »,²⁶ à l'extrémité émettrice comme à l'extrémité réceptrice, pour améliorer la communication là où il le faut et réduire les interférences ailleurs.

En résumé, associer le spectre uniquement à la métaphore tant usitée du droit de propriété à long terme entrave les avancées dans les innovations de la technologie sans fil qui pourraient aider à connecter les populations non connectées.

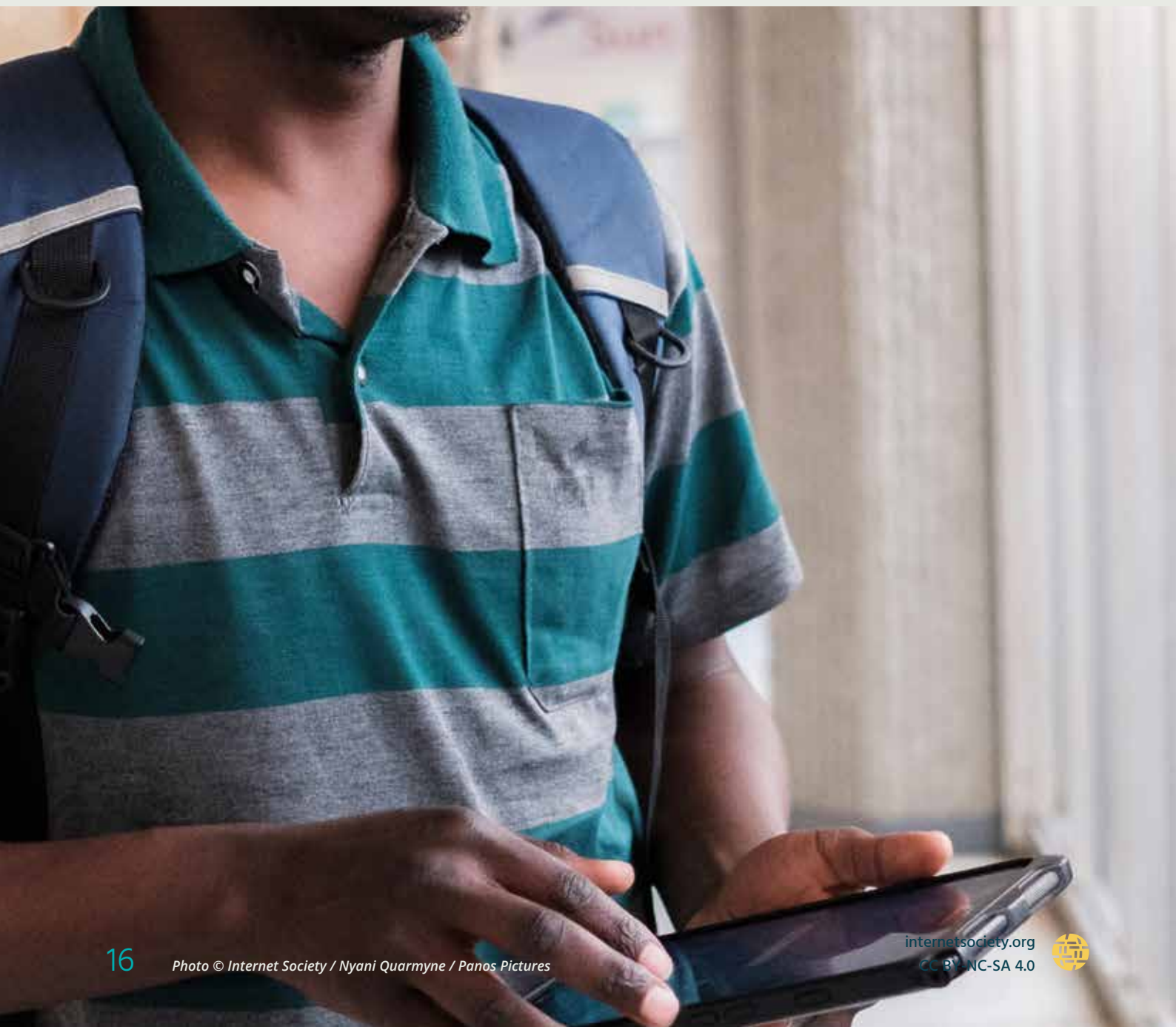
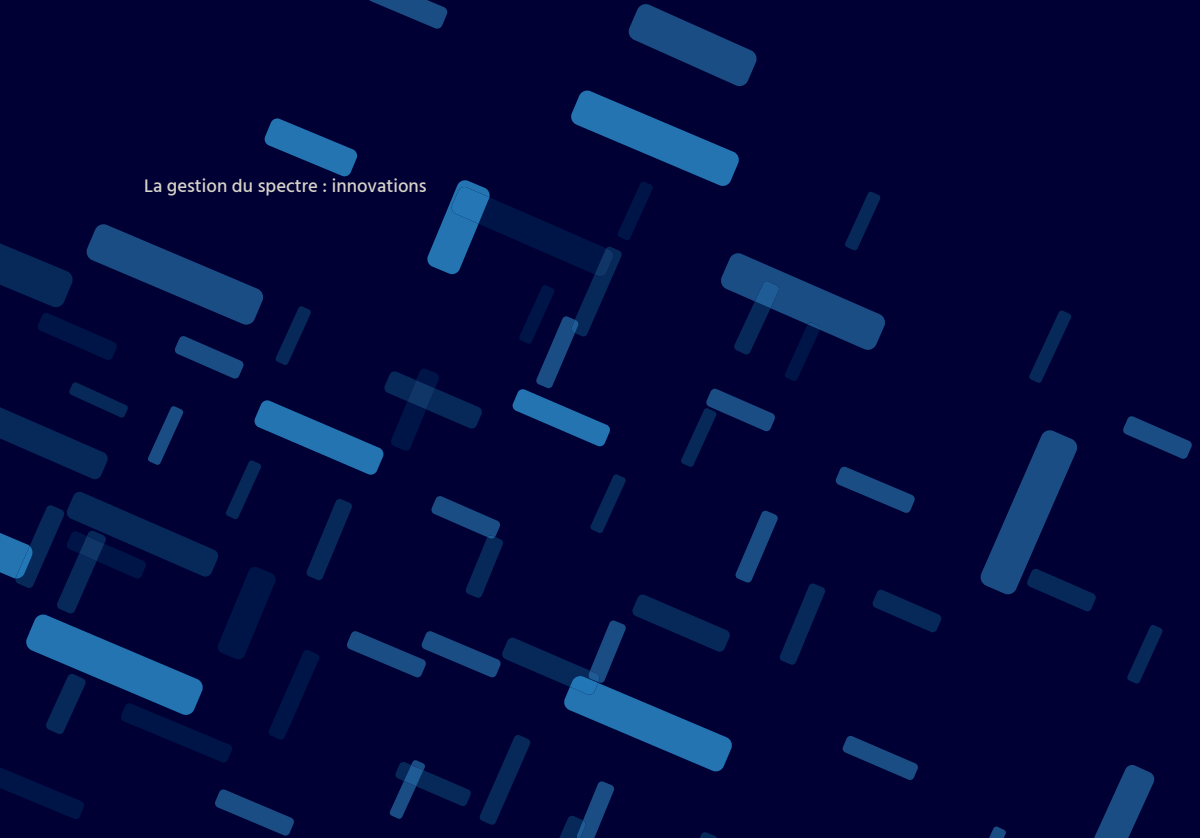


Photo © Atul Loke/Panos for Internet Society

Donner la possibilité aux réseaux communautaires et aux petits opérateurs de connecter les populations non connectées



La gestion du spectre : innovations



Les organismes de réglementation et de normalisation

3

TANDIS QUE LES COMMUNICATIONS SANS FIL PROGRESSAIENT DU STADE D'EXPÉRIENCES À CELUI DE LEUR COMMERCIALISATION AU DÉBUT DU 20E SIÈCLE, CERTAINS DÉFIS FLAGRANTS ONT ÉMÉRGÉ. Pour qu'un émetteur et qu'un récepteur communiquent, ils doivent utiliser la même fréquence et les mêmes protocoles. Le développement indépendant des technologies sans fil de par le monde nous a vite mis face à ce défi : les appareils d'un pays n'avaient pas la capacité de communiquer avec les appareils d'un autre pays. Avec la multiplication des technologies sans fil, il est également apparu que si plusieurs organisations utilisaient la même fréquence au même moment au même endroit, la communication échouait en raison des interférences nuisibles ou de l'incapacité des récepteurs à discerner quelle transmission leur était destinée.

Cela a entraîné une gymnastique complexe entre les organismes de réglementation, les organismes de normalisation, les fabricants d'équipements et les opérateurs de réseaux, qui ont tous leur rôle à jouer dans l'évolution et l'utilisation des technologies sans fil. Au sommet de la pyramide, l'Union internationale des télécommunications (UIT) facilite les accords entre les pays sur l'utilisation des fréquences du spectre ainsi que sur l'élaboration des normes afférentes. Malgré tout, l'élaboration des normes se fait par l'intermédiaire de diverses organisations et méta-organisations de normalisation. Le 3rd Generation Partnership Project (3GPP) est une coopération entre organismes de normalisation pour les technologies mobiles. La Standards Association de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE - SA) élabore entre autres des normes liées à la communication de données, y compris pour les technologies Wi-Fi et les espaces blancs de télévision (TVWS). L'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI) joue aussi un rôle important dans le développement de normes pour les systèmes sans fil. Organisme de normalisation principal en Europe, il exerce une influence notable sur des facteurs clés comme la puissance de sortie autorisée et la performance du spectre dans les technologies sans fil. Les normes établies par l'ETSI sont souvent adoptées dans d'autres régions du monde, bien que les normes établies par la Federal Communications Commission (FCC) aux États-Unis peuvent avoir le même niveau d'influence suivant la région (voir la note sur les régions de l'UIT ci-dessous).

L'existence de normes représentant des accords entre les fabricants influence les accords internationaux sur l'attribution des fréquences. En décidant des normes dans lesquelles elles décident d'investir, les grandes multinationales exercent une influence gigantesque sur l'élaboration des normes. Par voie de conséquence, le pouvoir d'achat des grands opérateurs de réseaux influence les choix de fabrication et l'évolution des normes. WiMax, par exemple, était une norme de technologie très prometteuse qui a échoué en raison des choix faits par les opérateurs et les fabricants²⁷ Les organismes de réglementation nationaux se doivent de prendre tout cela en compte lors de l'élaboration de la réglementation pour éviter les interférences avec d'autres pays. Ils doivent exploiter les tendances en matière de fabrication tout en épousant les normes qui encouragent la concurrence. En bref, ils doivent répondre aux besoins de communication spécifiques de leur pays.

Comprendre les réglementations nationales n'est pas chose aisée, car la façon dont elles sont

mises en œuvre diffère d'un pays à l'autre. Tous les pays disposent d'une ou de plusieurs entités responsables de la réglementation pour ce qui a trait aux communications en général et au spectre en particulier, mais les façons de la mettre en œuvre divergent grandement. Dans certains cas, la responsabilité de la gestion du spectre appartient à un organisme indépendant de réglementation des communications, dans d'autres, cette fonction appartient au gouvernement. Parfois, l'organisme indépendant de réglementation des communications n'est pas autonome et n'est pas facile à distinguer d'un organisme gouvernemental. En outre, les organismes de réglementation peuvent être largement influencés par les préoccupations des opérateurs qui ont payé leurs licences de spectre des millions de dollars. Pour des raisons historiques, il arrive que l'utilisation du spectre destiné à la diffusion soit gérée par une organisation différente de celle qui gère le spectre des télécommunications. Parfois encore, la gestion du spectre destiné à l'utilisation des entités gouvernementales est maintenue à part de la gestion du spectre à finalité commerciale.

Tableau 1 - Responsabilité de la réglementation du spectre dans chacun des pays étudiés

PAYS	RÉGLEMENTATION DU SPECTRE
Argentine	Le spectre radio est géré par l'organisme de réglementation des communications, Ente Nacional de Comunicaciones (http://www.enacom.gob.ar/)
Brésil	Le spectre radio est géré par un organisme indépendant de réglementation des communications, Agência Nacional de Telecomunicações (http://www.anatel.gov.br/institucional/). Le ministère de la Science, des Technologies, de l'Innovation et des Communications (http://www.mctic.gov.br/portal) est responsable du spectre destiné à la diffusion.
Canada	Bien qu'il existe un organisme indépendant de réglementation des communications (https://crtc.gc.ca/), l'allocation et l'attribution du spectre radio sont gérées par le ministère de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique (http://www.ic.gc.ca/Intro.html).
Inde	e spectre radio pour les télécommunications est géré par la Wireless Planning and Coordination Wing (WPC) du ministère des Télécommunications (http://www.wpc.dot.gov.in).
Mexique	Le spectre est géré par un organisme indépendant de réglementation des communications, l'Instituto Federal de Telecomunicaciones (http://www.ift.org.mx/), bien que la législation concernant le spectre en forte demande soit dictée par le gouvernement.
Afrique du Sud	En théorie, tout le spectre radio est géré par un organisme de réglementation indépendant, l'Independent Communications Authority of South Africa (http://icasa.org.za/) mais, en pratique, le gouvernement exerce une forte influence sur la gestion du spectre en forte demande.
États-Unis	Le spectre à finalité commerciale est géré par un organisme indépendant de réglementation des communications, la Federal Communications Commission (https://www.fcc.gov/) tandis que le spectre utilisé par le gouvernement est géré par un organisme gouvernemental séparé (https://www.ntia.doc.gov/category/spectrum-management).



Dans tous les cas cités ci-dessus, le spectre radio utilisé par le ministère de la défense de chaque pays reste indépendant de tout autre processus réglementaire. Le contrôle militaire du spectre

ajoute une couche de complexité à la réforme des réglementations sur le spectre, étant donné que leurs besoins ne sont généralement pas ouverts à l'examen ou à la participation du public.

3.1 Union internationale des télécommunications (UIT)

Les origines de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) remontent à 1865, époque à laquelle elle devait servir à bâtir un consensus sur les normes relatives aux communications sans fil, qui concernaient à la fois les appareils et les fréquences. En 1947, il a été décidé de faire de l'UIT un organe interne de l'ONU, tout récemment créé, faisant de l'UIT l'agence officielle spécialisée dans les télécommunications.²⁸ Depuis 2016, la convention et la constitution de l'UIT comprennent 193 états, dont 192 membres des Nations Unies et le Saint-Siège. L'UIT comprend également 700 membres et associés du secteur, des organisations nationales et internationales, et des acteurs du monde universitaire. Bien que les membres du secteur n'y ont pas le droit de vote, l'influence des plus grands est incontestable.

L'UIT est divisée en trois secteurs :

- **LES RADIOCOMMUNICATIONS (UIT-R)**
L'UIT-R sert à établir un consensus et développer des normes à l'égard de l'utilisation des communications sans fil terrestres et spatiales. Son travail consiste notamment à accorder tous les pays membres de l'ONU sur l'attribution des bandes de radiofréquences du spectre pour des usages spécifiques ainsi que pour les segments orbitaux satellitaires. Il se charge de plusieurs services y compris les services fixes, les services mobiles, la diffusion, les services amateurs, la recherche spatiale, la météorologie, le GPS, la surveillance et les communications.
- **LE DÉVELOPPEMENT DES TÉLÉCOMMUNICATIONS (UIT-D)**
La mission de l'UIT-D consiste à encourager la coopération internationale vis-à-vis des problématiques de développement des TI et des télécommunications ainsi qu'à renforcer les capacités humaines et institutionnelles.

Il travaille à l'extension des infrastructures de télécommunications dans les nations en voie de développement, qui constituent la majorité des pays membres.

- **LA NORMALISATION DES TÉLÉCOMMUNICATIONS (UIT-T)**

L'UIT-T sert à établir un consensus quant aux normes de télécommunications sans fil, allant des standards de compression audio et vidéo aux protocoles concernant l'infrastructure de la fibre optique. Il travaille en collaboration avec plusieurs autres organismes de normalisation autour du globe.

Conférences de l'UIT

L'UIT organise diverses conférences mondiales et régionales pendant lesquelles de nombreuses décisions sont prises, et il n'est pas toujours aisé de comprendre quelles décisions sont prises à quels événements. La conférence des plénipotentiaires de l'UIT constitue l'événement le plus important de l'UIT en termes d'élaboration de politiques. Elle a lieu tous les quatre ans dans le but d'établir les politiques générales de l'union.

Du point de vue de la gestion du spectre, la Conférence mondiale des radiocommunications (CMR) organisée par l'UIT-R, également tous les quatre ans, est l'événement majeur de prises de décisions liées à l'attribution des fréquences radio du spectre. La CMR a pour objectif d'établir le règlement des radiocommunications de l'UIT qui a force exécutoire et tient lieu de traité international régissant l'utilisation du spectre radio. Les préparations pour la CRM démarrent généralement plusieurs années en avance, certains pays formant des groupes d'étude pour développer des positions à discuter lors de l'événement. La plupart des pays et des régions ont leur propre processus de préparation avant

chaque CRM. Il s'agit d'une procédure politique qui nécessite un investissement conséquent en temps et en ressources.

La nature de « traité » du règlement des radiocommunications est complexe étant donné que l'UIT reconnaît « pleinement à chaque État le droit souverain de réglementer ses télécommunications ». ²⁹ Cela signifie qu'en fin de compte, les pays peuvent faire ce qu'ils veulent du spectre radio, mais il est utile pour eux de s'accorder sur des normes internationales, notamment en raison de leur dépendance aux fabricants multinationaux. Il convient aussi de noter que de nombreux pays coordonnent les communications aux frontières afin d'éviter les interférences avec leurs voisins.

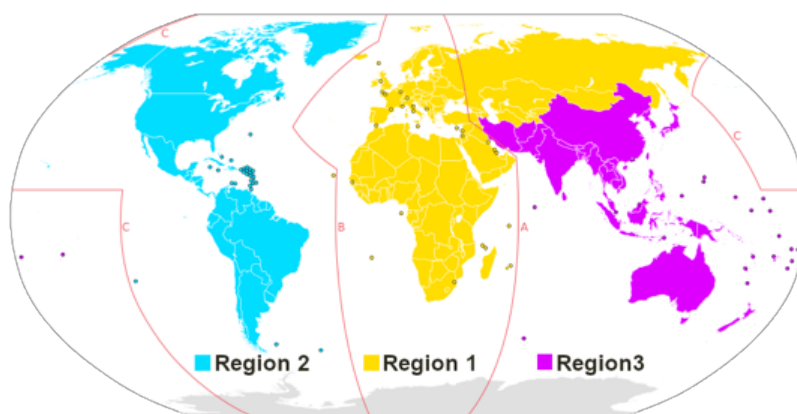
Bien que les questions relatives au spectre des services sans fil ont toujours été centralisées au sein de l'UIT-R, l'adoption de recommandations à la Conférence mondiale de développement des télécommunications (CMDT), ³⁰ principale conférence de l'UIT-D, suggère que les frontières sont plus floues qu'elles ne l'ont été par le passé. La recommandation 19 conseille aux organismes de réglementation « dans le cadre de leurs activités de planification du spectre des fréquences radioélectriques et d'octroi de licences, [d'envisager] des mécanismes propres à faciliter le déploiement de services large bande dans les zones rurales et isolées par les petits opérateurs communautaires à but non lucratif. »

Alors qu'augmente constamment le besoin de combler la fracture numérique dans les pays en développement, les réglementations relatives au spectre évolueront peut-être différemment pour faire face aux difficultés rencontrées, notamment dans les zones rurales.

Sur les plans historique, géographique et économique, de grands pays comme les États-Unis se sont parfois sentis libres de poursuivre leurs propres intérêts à l'égard de la gestion du spectre. Cela a présenté un défi pour harmoniser le spectre et a, en partie, mené à l'émergence de trois régions distinctes qui disposent désormais de leurs propres accords sur l'attribution du spectre :

- **LA RÉGION 1** comprend l'Europe, l'Afrique, l'ancienne Union soviétique, la Mongolie, et le Moyen-Orient à l'ouest du Golfe, y compris l'Irak.
- **LA RÉGION 2** comprend les Amériques y compris le Groenland, et certaines îles du Pacifique.
- **LA RÉGION 3** comprend la majeure partie de l'Asie (qui ne faisait pas partie de l'Union soviétique) à l'est de l'Iran, y compris l'Iran, et la majorité de l'Océanie.

Figure 2- Régions réglementaires de l'UIT



3.2 Organismes de normalisation internationaux



3rd Generation Partnership Project (3GPP)

La 3rd Generation Partnership Project (3GPP)³¹ est une collaboration entre des groupes d'associations chargées des normes en matière de télécommunications, dans le but d'élaborer des normes pour la téléphonie mobile. Les technologies du réseau de télécommunications mobile du 3GPP comprennent l'accès aux radiocommunications, le réseau de transport principal, les capacités de services et le travail fourni en matière de codecs, sécurité et qualité du service. Le 3GPP sert au développement de normes pour les technologies 2G, 3G et 4G et l'émergence de la 5 G.



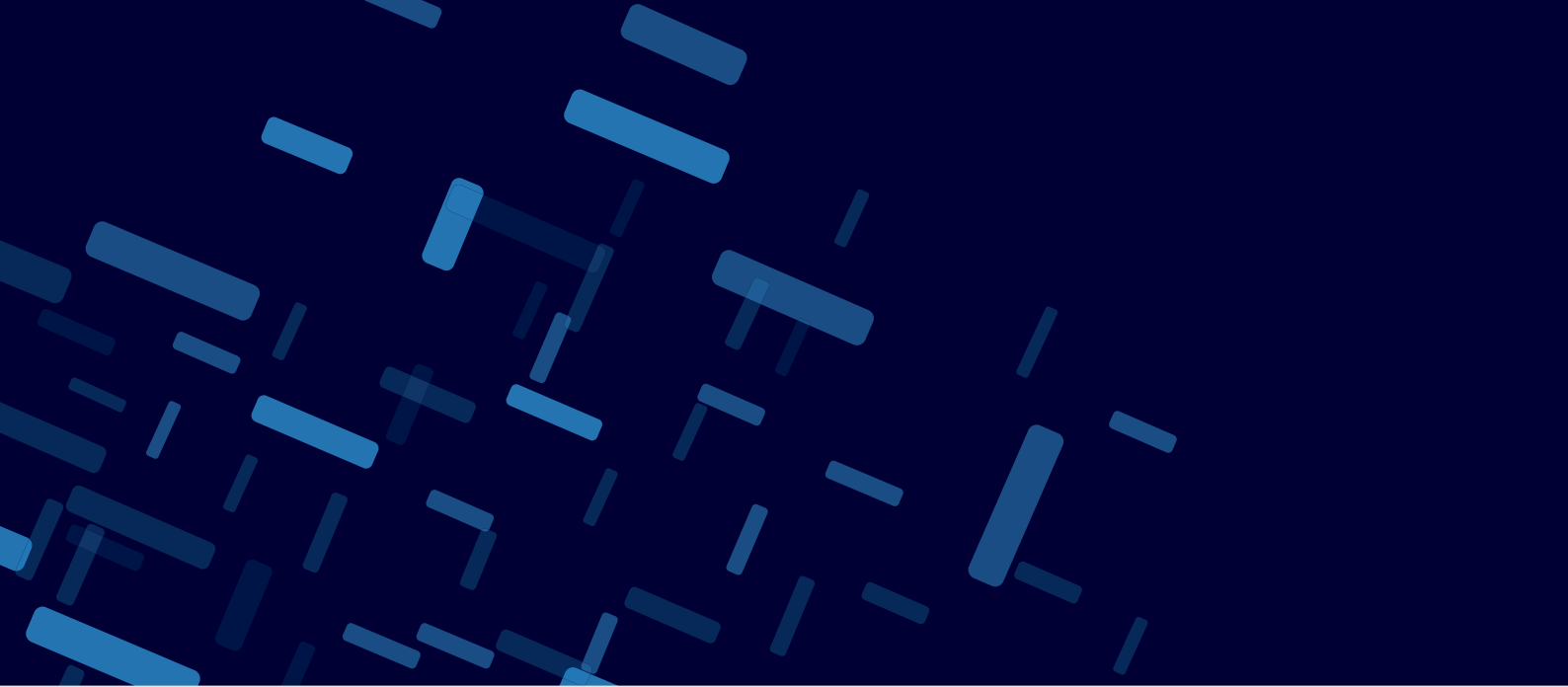
Institute of Electrical and Electronic Engineers Standards Association (IEEE-SA)

L'Institute of Electrical and Electronics Engineers³² (IEEE) est un organisme international qui spécifie les normes du secteur en ce qui concerne l'énergie, les appareils électroniques grand public et les ordinateurs, y compris les communications par ordinateur. La Standards Association de l'IEEE (IEEE-SA) est une organisation au sein de l'IEEE qui élabore des normes mondiales grâce à un processus visant à bâtir un consensus dans un éventail de secteurs technologiques, comme les technologies de l'information et de la communication et les télécommunications. À la différence de l'UIT, la IEEE-SA n'est pas un organisme officiellement approuvé par un gouvernement, mais constitue plutôt une communauté. L'IEEE-SA s'est imposé dans le monde des technologies sans fil grâce à son élaboration des normes sans fil 802.11 qui a permis la croissance des technologies Wi-Fi par l'intermédiaire de l'établissement de normes d'interopérabilité.



Institut européen des normes de télécommunications (ETSI)

L'Institut européen des normes de télécommunications³³ (ETSI) est un organisme européen qui définit les normes utilisées par les réseaux de télécommunications opérant dans plusieurs pays européens. L'ETSI produit des normes applicables mondialement pour les technologies de l'information et de la communication (TIC) notamment les technologies fixes, mobiles, radio, convergentes, aéronautiques et les technologies de diffusion et d'Internet. L'ETSI est reconnu officiellement par l'Union européenne en tant qu'organisme de normalisation européen. C'est une association indépendante et à but non lucratif qui compte 62 pays membres du monde entier. L'ETSI est aussi membre du 3GPP. Du point de vue du sans-fil, ses normes couvrent la technologie des ondes millimétriques, les standards 5G émergents, ainsi que les technologies des espaces blancs de télévision.



Le paysage actuel

4

L'UNE DES PLUS IMPORTANTES PROBLÉMATIQUES AUXQUELLES FONT FACE LES ORGANISMES DE RÉGLEMENTATION À L'HEURE ACTUELLE EST L'ACCÉLÉRATION DU CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE QUI MET AU DÉFI LE RYTHME TRADITIONNEL DE L'ATTRIBUTION DU SPECTRE. À ce défi s'ajoute la demande croissante de spectre pour les services sans fil de la part des opérateurs qui cherchent eux-mêmes à répondre à la demande croissante de la clientèle pour les services large bande. Ce chapitre explore les implications derrière ces tendances.

4.1 La vitesse du changement technologique

Cette section explore les tensions qui émergent en raison de la rapidité de l'évolution des technologies, de l'augmentation de la demande de spectre et des défis auxquels les organismes de réglementation sont confrontés pour la mise à disposition du spectre. Pour illustrer les difficultés imposées sur la réglementation du spectre par l'accélération du changement technologique, nous pouvons observer le processus de transition de la diffusion analogique à la diffusion numérique terrestre dans les pays d'Afrique. En 2006, les pays africains subsahariens ont accepté³⁴ de participer à un processus de transition vers la télévision numérique par lequel la diffusion télévisuelle analogique terrestre allait être remplacée par la télévision numérique. Un des avantages de cette transition est la libération du spectre pour d'autres finalités comme les services mobiles large bande, car les besoins en spectre de la diffusion numérique ne représentent qu'une fraction de ceux de la diffusion analogique. La date d'achèvement devait être juin 2015.

Au milieu de l'année 2018, moins de la moitié des pays d'Afrique subsaharienne³⁵ avaient achevé cette transition, et certains leaders économiques comme le Nigeria, l'Afrique du Sud et le Ghana se sont seulement engagés à terminer le processus début 2019 au plus

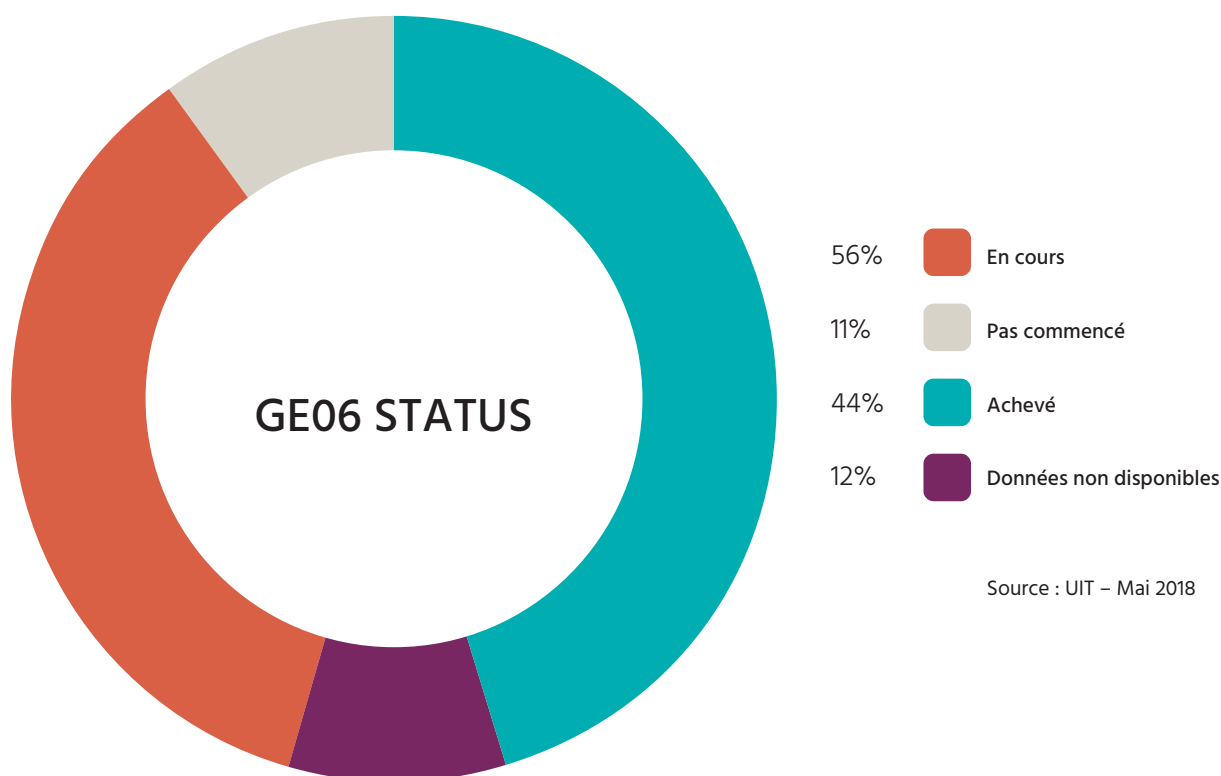
tôt.³⁶ Les raisons de ce retard sont dues à une combinaison de difficultés vis-à-vis des normes, des technologies, des finances et des pouvoirs politiques. Dans le cadre des processus de réglementation du spectre, il n'est pas rare que de telles échéances ne soient pas respectées. La redistribution du spectre, qui consiste à réaffecter des licences de spectre à de nouvelles fréquences, peut prendre des années, et affecte des millions de consommateurs et consommatrices.

Ce qui rend la décision de la transition en Afrique différente des décisions prises précédemment par rapport au spectre est ce qui s'est produit depuis. Nombre des technologies que nous considérons comme acquises aujourd'hui n'étaient pas encore sur le marché en 2006. Le premier iPhone d'Apple, héraut de l'ère moderne des smartphones, a été seulement introduit en janvier 2007. D'autres technologies comme les tablettes ne sont apparues qu'en 2010. Le service en ligne de Netflix a commencé à diffuser des films en streaming sur Internet en 2007. Le service de streaming de musique Spotify a été lancé en 2008. En 2018, une myriade de sociétés de distribution de vidéo par Internet ont émergé dans plusieurs pays d'Afrique, mettant au défi les canaux de distribution

traditionnels.³⁷ Dans le même temps, la télévision terrestre fait face à une concurrence grandissante de la télévision satellite dans les pays africains.³⁸ On peut tout à fait concevoir que la diffusion terrestre numérique sera largement dépassée par Internet et les services satellites³⁹ avant que la transition ne soit achevée. Cela signifie que les millions de dollars investis dans l'infrastructure de diffusion numérique terrestre ne produiront peut-être pas les retours sur investissement attendus, étant donné que regarder la télévision peut désormais se faire par le biais d'autres plateformes et technologies.

La leçon à tirer de cet exemple est que le changement technologique ne ralentit pas et les organismes de réglementation doivent adopter des stratégies qui réduisent les risques résultant des innovations inattendues mais inévitables du marché. Réserver le spectre à l'usage exclusif de certaines technologies peut entraîner des occasions manquées quant à l'exploitation de nouvelles innovations ainsi que des opportunités économiques perdues, si des parties précieuses du spectre restent inutilisées à la suite de changements technologiques.

Figure 3- Statut de la transition numérique en Afrique par pays



4.2 Les enchères et l'attribution du spectre en forte demande

Les enchères sont devenues le mécanisme dominant pour la mise à disposition du spectre en forte demande et sont largement considérées comme la «meilleure pratique» en ce qui concerne l'attribution des fréquences quand la demande est plus forte que la disponibilité — ce qui est typique pour les fréquences mobiles populaires.⁴⁰ Pourtant, de nombreux pays, notamment chez les pays en développement, sont lents à adopter cette méthode d'enchères. Ce n'est peut-être pas surprenant, étant donné que les enchères de spectre sont bien connues pour être difficiles à gérer tout en restant équitables et, pire encore, en veillant au développement de la concurrence.⁴¹

Autant pour les nouveaux que pour les anciens opérateurs, il est essentiel d'avoir accès aux fréquences du spectre pour réussir. Pour le meilleur comme pour le pire, les licences exclusives et nationales à long terme continueront certainement à jouer un rôle crucial dans l'augmentation de l'accès abordable aux communications. Avec l'émergence des enchères de spectre comme mécanisme favori pour l'attribution du spectre, les importantes sommes d'argent mises en jeu dans les processus d'enchères et d'octroi de licences ont vivement attiré l'attention du public. Si on regarde d'un peu plus près les récentes enchères, notamment en Afrique, on se rend compte que les résultats ne répondent pas à certains des objectifs de base que le processus d'enchères est censé remplir.

Le manque de participation aux enchères de spectre peut souvent être attribué directement au montant élevé du prix minimal imposé dans chaque pays. Il semble exister un conflit d'intérêts pour les gouvernements qui voient les enchères de spectre comme une source de revenus directe au lieu simplement d'un moyen efficace de distribuer les ressources équitablement. Une étude récente de NERA Economic Consulting⁴² a conclu que les larges sommes dépensées dans les acquisitions de spectre ont pour conséquences une mauvaise qualité de réseaux, une réduction de leur utilisation, une augmentation des prix pour les consommateurs et une perte de bien-être chez ces derniers. La GSMA a également publié un rapport sur les prix du spectre dans les pays

en développement, qui dresse des conclusions similaires.⁴³ On assiste à des fiascos comme celui du Mozambique en 2013, où aucune participation aux enchères n'a été reçue à cause du prix minimal trop élevé pour une petite partie de la bande de 800 MHz,⁴⁴ ou encore en Afrique du Sud où les priorités des calendriers politiques n'ont cessé de repousser les ventes aux enchères annoncées depuis 2010.⁴⁵ Résultat : des parties précieuses du spectre sont laissées pour compte depuis de nombreuses années. Plusieurs opérateurs ont annoncé que cet état de fait avait des conséquences directes sur leur capacité à déployer des infrastructures de télécommunications.⁴⁶

La perte de l'opportunité et du spectre qui n'est pas attribué ne semble pas être un facteur majeur dans la planification des enchères. Des exemples comme celui de l'enchère de 2,3 GHz remportée pour 23 millions de dollars US par Bitflux au Nigeria⁴⁷ suggèrent qu'il existe aussi une «malédiction du gagnant» qui inhiberait l'investissement dans le déploiement du réseau. La «malédiction du gagnant» fait référence au risque classique des enchères où le gagnant surenchérit trop et paye plus que la véritable valeur du spectre. Une autre conséquence inattendue des enchères de spectre est celle de l'établissement d'un précédent sur le prix du spectre pour les futures enchères. Une fois qu'un certain prix a été payé pour une partie du spectre, les prochaines enchères pour la même fréquence doivent s'aligner à ce prix initial, comme on l'a constaté avec le Ghana et sa vente aux enchères sur la fréquence de 800 MHz.^{48 49}

Le manque de participation ébranle le principe même d'une vente aux enchères, et toutes les enchères récentes ont témoigné de difficultés pour obtenir des participations de la part des opérateurs, notamment parce que le prix minimal était plus élevé que ce que les opérateurs étaient enclins à payer. Il est probable que l'on ait orienté les organisateurs des ventes aux enchères vers la priorisation d'une retombée financière immédiate et lucrative au lieu des avantages économiques à long terme (et plus diffus) que l'accès à prix abordable pourrait rapporter.

En Égypte, les prix minimaux très élevés et l'imposition d'une monnaie étrangère par les organismes de réglementation pourraient constituer une aubaine économique pour les finances du pays,⁵⁰ mais reste à voir si cela signifiera une augmentation de l'accès à prix abordable pour la population. Le manque d'opérateurs enclins à participer aux enchères de spectre suggère que les prix minimaux de celles-ci doivent être revus minutieusement.







Les innovations dans la gestion du spectre

5

LES IMPORTANTES SOMMES D'ARGENT MISES EN JEU DANS LES ENCHÈRES DE LICENCES DE SPECTRE NATIONALES À LONG TERME ONT TENDANCE À DÉVIER L'ATTENTION QUI DEVRAIT ÊTRE PORTÉE AUX INNOVATIONS EN MATIÈRE DE GESTION DU SPECTRE, CELLES-LÀ MÊMES QUI FAVORISERAIENT UN ENVIRONNEMENT PLUS PROPICE AUX RÉSEAUX COMMUNAUTAIRES ET AUX PETITS OPÉRATEURS.⁵¹

Au regard des infrastructures technologiques, on constate une transition vers une disponibilité généralisée des liaisons terrestres à bas coût, à la fois grâce à l'expansion des infrastructures utilisant la fibre et à une nouvelle génération de technologie satellitaire. Ajoutons à cela la chute drastique des prix des technologies d'accès sans fil, il existe une opportunité pour une approche plus dynamique et détaillée de la gestion du spectre qui compléterait les stratégies traditionnelles de licence à long terme. On pourrait imaginer un ensemble de réglementations qui permettraient aux fournisseurs d'accès locaux de combiner spectre exempt de licence, gestion dynamique et licence de spectre traditionnelle, en vue d'accroître l'accès dans les régions non desservies.

Dans ce chapitre, nous explorons en détail certaines de ces innovations et nous nous penchons sur les réglementations de sept pays : l'Argentine, le Brésil, le Canada, l'Inde, le Mexique, l'Afrique du Sud et les États-Unis.



5.1 Le spectre exempt de licence

Cette section décrit les réglementations autour du spectre exempt de licence. Tout d'abord, nous examinerons le sujet des bandes de Wi-Fi traditionnelles, avant d'étudier les options que certains pays explorent en vue d'appliquer cette approche intéressante à d'autres bandes. Enfin, nous nous pencherons sur les bandes d'ondes millimétriques dont la mise à disposition pour une exploitation sans licence se généralise dans plusieurs pays.

Le Wi-Fi

L'expérience réussie du spectre exempt de licence est celle des bandes de 2,4 GHz et 5 GHz, utilisées particulièrement pour la communication Wi-Fi. De ces débuts modestes où il connectait les ordinateurs portables dans les cafés, les hôtels, les universités et les aéroports, le Wi-Fi est désormais disponible dans presque tous les bâtiments commerciaux ou publics, sans parler de son utilisation par défaut à la maison ou au bureau à l'extrémité d'une connexion large bande. On estime que le nombre de points d'accès au Wi-Fi dans le monde en 2021 sera de plus de 540 millions.⁵² On a désormais accès au Wi-Fi sur les smartphones, les tablettes, les appareils photo, les imprimantes, et même les réfrigérateurs et les balances. C'est devenu la toute dernière technologie par défaut. Contre toute attente, il joue désormais un rôle crucial dans les réseaux mobiles, et permet de décharger la demande

florissante en matière de données sur les appareils mobiles. On estime que d'ici 2021, le Wi-Fi concernera 49 % du trafic IP mondial.⁵³ D'après le chercheur Raul Katz, la valeur économique générée par l'utilisation du spectre sans licence, y compris le Wi-Fi, le Bluetooth et d'autres technologies, atteindra 834,48 milliards de dollars d'ici 2020 pour les États-Unis uniquement.⁵⁴

On a souvent tendance à évaluer le spectre en mettant l'accent sur la valeur générée par sa vente ou par le potentiel revenu de l'opérateur de réseau, sans prendre en compte les répercussions positives à plus grande échelle que le spectre sans licence ou à bas prix pourrait engendrer. En 2012, le chercheur Richard Thanki a estimé la valeur économique supplémentaire de la contribution du Wi-Fi aux connexions large bande à la suite de l'expansion et du développement des services large bande grâce aux technologies Wi-Fi. Le tableau 2 ci-dessous illustre cette contribution par continent.⁵⁵ Son travail met en évidence le rôle important que le spectre exempt de licence — qui comprend une fraction minuscule du spectre utilisable à des fins commerciales — joue dans l'économie. Notons que cette évaluation n'inclut pas beaucoup de sources de valeur qui émanent des diverses utilisations du Wi-Fi : de l'utilisation additionnelle chez soi aux connexions fixes à haut débit, en passant par le déchargement du trafic des réseaux mobiles.

Tableau 2 – Valeur économique du Wi-Fi

	VALEUR FAIBLE (MILLION DE \$ PAR AN)	VALEUR ÉLEVÉE (MILLION DE \$ PAR AN)	CONNEXIONS GÉNÉRÉES PAR LE WI-FI (EN MILLIONS)
Afrique	69	901	0,5 - 1
Asie	10 820	41 516	21,2 - 48,2
Europe	21 657	30 164	15,4 - 35
Amérique du Nord	17 769	19 952	10,2 - 23,2
Océanie	1 049	1 217	0,6 - 1,4
Amérique du Sud	782	4 772	2,4 - 5,5



Que ce soit par l'intermédiaire des opérateurs commerciaux, des initiatives gouvernementales ou des réseaux communautaires, les réseaux Wi-Fi ne cesse de s'agrandir rapidement dans le monde entier. Les gouvernements et les opérateurs de réseaux se rendent compte qu'ajouter un point d'accès Wi-Fi à certains points clés là où il existe un réseau de liaison terrestre à haut débit ne représente d'un coût marginal. La combinaison de la performance et du faible coût du Wi-Fi en fait un choix de technologie d'accès évident dans les pays où il est difficile d'acquérir un droit d'accès au spectre sous licence.

En Afrique du Sud, une initiative municipale de gratuité du Wi-Fi, le projet Isizwe,⁵⁶ est en train d'évoluer du statut de projet à but non lucratif financé par le gouvernement à un modèle promu par la publicité. En 2017, le projet Isizwe est arrivé en deuxième place du Equal Rating Innovation Challenge organisé par Mozilla.⁵⁷ Facebook soutient également l'accès au Wi-Fi dans le monde grâce à son programme Express Wi-Fi. Express Wi-Fi est une plate-forme agent pour les opérateurs de Wi-Fi qui gère les souscriptions, la génération de revenus et le partage pour les agents Express Wi-Fi. La plate-forme dépend du réseau existant d'un fournisseur d'accès à Internet (FAI) sans fil mais apporte aussi un investissement pour aider le FAI à agrandir son réseau. En Inde, un opérateur sans fil rural bien établi, AirJaldi,⁵⁸ a annoncé son partenariat en 2017 avec Facebook afin de déployer des points d'accès Express Wi-Fi. Google a également investi dans le Wi-Fi en Inde avec sa Google Station, initiative consistant à déployer l'accès au Wi-Fi dans les gares ferroviaires du pays. Lancée en 2015, l'initiative couvre désormais plus de 400 gares de trains pour plus de 8 millions d'utilisateurs actifs par mois, offrant un accès limité gratuit ainsi que des services commerciaux.⁵⁹

La plupart des réseaux communautaires dans les pays étudiés utilisent les bandes Wi-Fi pour déployer leurs réseaux. En voici quelques-uns : Colectivo Ik Ta Kop au Mexique,⁶⁰ les réseaux Zenzeleni en Afrique du Sud,⁶¹ ceux facilités par Coolab⁶² et NUPEF au Brésil, et par Altermundi⁶³ en Argentine, la plupart des réseaux gérés par les communautés indigènes aux États-Unis et au Canada, y compris Tribal Digital Village⁶⁴ et K-NET,⁶⁵ et la Digital Empowerment Foundation (DEF) en Inde.⁶⁶

Dans la plupart des pays, l'utilisation du Wi-Fi est exempte de licence, ce qui évite les droits de licence de spectre et les coûts administratifs. Dans la majorité des pays, l'activité est régulée grâce à l'utilisation d'appareils qui ont reçu une homologation de type par l'organisme de réglementation, ainsi que grâce à la spécification de la puissance maximale que chaque appareil peut émettre sur une fréquence donnée, dans une direction donnée. Cette puissance est spécifiée dans la plupart des réglementations sous le nom de puissance isotropique rayonnée équivalente (PIRE)⁶⁷ en décibels-milliwatts (dBm). Il est important de noter que les organismes de réglementation ne sont que peu regardants sur ces spécifications, bien qu'il existe un certain degré de surveillance et d'auto-régulation dans les pays où le secteur des services Internet sans fil est conséquent. Dans d'autres pays, comme le Malawi ou le Nigeria, l'utilisation de ce spectre dans le cadre de certaines applications doit être autorisée par l'organisme de réglementation.

Les puissances de sortie légales pour les bandes utilisées par les technologies Wi-Fi dans les pays étudiés sont disponibles à l'annexe 1. Les valeurs indiquent une grande disparité entre chaque pays pour les niveaux de puissance autorisés sur les différentes bandes utilisées par les appareils avec Wi-Fi. Cette divergence vient du fait que la bande est régulée simultanément pour l'infrastructure fixe (point à point et point-multipoint) et pour l'accès utilisateur (points d'accès ou hotspots), et la plupart des pays limitent les niveaux de sortie de façon à réduire les interférences en mode d'accès utilisateur. Peu de pays font clairement la distinction à l'aide d'une réglementation séparée visant les liaisons point à point, pour lesquels l'utilisation d'antennes à gain élevé et leur faisceau plus étroit réduit par défaut les interférences avec les appareils proches. Les effets de cette méthode pour étendre la connectivité dans les régions rurales ne sauraient être sous-estimés. Par exemple, au Canada, la réglementation spécifique de la bande de 2,4 GHz rend possible les liaisons au-dessus de 30 km en point à point avec le matériel existant⁶⁸, tandis que les réglementations en Afrique du Sud ne permettent que des liaisons d'environ 2 km, et celles de l'Inde, de l'Argentine et du Brésil des liaisons de 10 km.

Dans la bande 5,8 GHz, le Canada, les États-Unis, l'Afrique du Sud et l'Argentine font la distinction entre l'infrastructure fixe et le mode d'accès utilisateur. En revanche, l'Inde, le Mexique et le Brésil ne font aucune distinction, ce qui limite la distance maximale de la liaison avec le matériel existant à environ 6 km comparativement aux 15 km de l'Afrique du Sud et de l'Argentine, et encore plus loin (20 km) pour le Canada et les États-Unis.⁶⁹ Comme expliqué dans l'introduction, plus la fréquence est basse, plus elle voyage ; donc les effets de cette marge sont plus importants dans la bande de 2,4 GHz que dans celle de 5,8 GHz.

Vu les faisceaux étroits des antennes directionnelles utilisées dans les liaisons point à point, les organismes de réglementation devraient revoir et augmenter leurs limites de niveau de puissance de ces bandes, et établir une distinction entre les deux modes d'utilisation du Wi-Fi.

L'expansion des bandes exemptes de licence

Le succès du Wi-Fi pose la question de savoir pourquoi l'exemption de licence n'est pas appliquée à une plus grande partie du spectre. Comme illustré dans l'annexe 1, les États-Unis sont l'un des champions dans le domaine, puisqu'ils ont mis à disposition pour le Wi-Fi 50 MHz entre 5600 et 5650 MHz, ce qui ne se trouve pas ailleurs. En outre, en février 2013, la FCC a publié un avis d'enquête dans le but d'harmoniser les règlements concernant la bande exempte de licence de 5 GHz, ce qui permettrait d'y faciliter l'agrégation de canaux. Cela donnerait accès à des vitesses plus rapides et permettrait d'affecter une portion de 75 MHz (entre 5,85 et 5,925 GHz) actuellement attribuée au secteur automobile, où elle est peu susceptible d'être utilisée.⁷⁰

Un autre processus est en cours aux États-Unis qui faciliterait l'expansion de la bande exempte de licence. En juillet 2017, la FCC a publié un avis d'enquête intitulé « Exploring Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 GHz and 24 GHz » (Exploration de l'utilisation flexible du spectre central entre 3,7 GHz et 24 GHz).⁷¹ En ce qui concerne la bande allant de 5,925 à 6,425 GHz, la FCC a appelé à commenter, entre autres, sur la compatibilité avec les bandes adjacentes, car « cela permettrait aux appareils d'opérer sur des largeurs de bande plus larges avec des débits de

données plus élevés ainsi qu'une flexibilité accrue pour tous les types d'opérations sans licence ». Elle a aussi étendu la question à la bande située entre 6,425 et 7,125 GHz.

Le résultat de ce processus a été la publication d'un Avis d'ébauche de règles en octobre 2018 dans lequel la FCC propose ce qui suit :⁷²

- « Sur les bandes de 5,925-6,425 GHz et de 6,525-6,875 GHz, les appareils sans licences seraient uniquement autorisés à émettre sous le contrôle d'un système de contrôle de fréquence automatique (AFC). »
- « Sur les bandes de 6,425-6,525 GHz et 6,875-7,125 GHz, les appareils sans licences seraient restreints à l'utilisation intérieure et opéreraient à plus faible puissance, sans système d'AFC. »

Cette proposition doit être soumise à l'avis du public, mais les experts estiment que le nouveau règlement sera finalisé en 2019.

Il serait intéressant de voir d'autres pays commencer à évaluer la faisabilité d'une expansion du spectre actuellement utilisé par le Wi-Fi. Vu la valeur économique que le spectre exempt de licence génère déjà, on ne peut que s'accorder sur la valeur que représenterait la mise à disposition du spectre de 6 GHz pour une utilisation exempte de licence.

Les bandes d'ondes millimétriques exemptes de licence

En plus des bandes de Wi-Fi traditionnelles exemptes de licence, il existe d'autres bandes qui peuvent actuellement être utilisées sans licence de spectre dans de nombreux pays,⁷³ dans la mesure où, comme pour le Wi-Fi, les appareils ont reçu une homologation de type et n'émettent pas au-dessus d'un certain niveau de puissance maximum. On trouve un intérêt particulier dans celle de 24 GHz, celle de 60 GHz (bande V) et celle de plus de 71 GHz (bande E), autrement appelées ondes millimétriques puisque la longueur d'onde de ces hautes fréquences se trouve dans les millimètres. Le tableau à l'annexe 1 décrit comment ces bandes sont réglementées dans les pays étudiés.



Parmi ces réglementations, les plus progressives (Mexique et États-Unis), rendraient techniquement possibles des liaisons d'environ 2 km dans la bande de 60 GHz,⁷⁴ qui serait utilisée par des petits opérateurs pour fournir une expérience similaire à celle de la fibre. Néanmoins, à l'instar du Wi-Fi, les valeurs de la puissance de sortie et les conditions d'utilisation diffèrent largement d'un régime réglementaire à l'autre. Par exemple, en Argentine, cette bande ne peut être utilisée qu'en intérieur. Il est possible que la situation en Inde relativement à cette bande change, car le ministère des Télécommunications (DOT) a exprimé son intérêt pour les recommandations de la Telecom Regulatory Authority of India (TRAI)⁷⁵ qui propose l'utilisation sans licence de la bande de 60 GHz.⁷⁶ Cette bande est particulièrement intéressante, car on commence à mettre à disposition des équipements qui suivent les normes 802.11ad et 802.11ay,⁷⁷ rendant l'interopérabilité et la certification Wi-Fi possible. Comme dans le cas du Wi-Fi dans certains pays d'Afrique, l'utilisation de la bande E requiert un enregistrement auprès des autorités chargées des réglementations au Brésil et aux États-Unis.

Pour ce qui est de la bande de 24 GHz, les États-Unis et le Canada ont uniformisé leurs réglementations et les deux pays autorisent l'utilisation sans licence d'une plage de 200 MHz

entre 24,05 et 24,25 GHz, pour les liaisons point à point. Cela représente une autre option pour obtenir des vitesses similaires à celle de la fibre jusqu'à 5-6 km.⁷⁸ Les antennes à gain élevé étant nécessaires dans la bande de 60 GHz (51 dBi contre 33 dBi pour la bande de 24 GHz), on s'attend à voir aussi apparaître des antennes à gain élevé pour l'équipement de 24 GHz. Ces antennes ont des faisceaux extrêmement fins qui rendent très improbables les interférences avec d'autres appareils, ce qui dispense du besoin d'une licence. À cet égard, davantage d'organismes chargés de la législation et des réglementations devraient envisager l'exemption de licence pour l'utilisation de ces bandes.

Au même titre que la bande de 60 GHz, le matériel à bas coût pour la bande de 24 GHz est disponible sur le marché,^{79 80} même si, dans ce cas, il n'existe pour le moment aucune norme favorisant l'interopérabilité. Dans les deux cas, ce matériel est bien plus cher que les appareils opérant dans les bandes Wi-Fi traditionnelles (2,4 à 5 GHz), mais reste considérablement moins cher que l'équipement classique des hyperfréquences. Si davantage de pays permettent l'exemption de licence pour l'utilisation de ces bandes, agrandissant le marché cible pour les fabricants, on estime que leur coût baisserait et permettrait à plus de personnes d'avoir accès à une connexion.

5.2 Le spectre sous licence pour les liaisons terrestres

L'adoption généralisée et les prix peu onéreux des appareils Wi-Fi font de ces derniers la technologie de choix pour les petits fournisseurs d'accès à Internet sans fil et les réseaux sans fil communautaires. Toutefois, la plupart de ces opérateurs qui desservent des zones en dehors des centres urbains font toujours face au défi des congestions (interférences) pour les bandes de Wi-Fi, dans les sites élevés utilisés pour relayer le signal depuis les points en amont des zones urbaines. L'augmentation de la disponibilité du spectre exempt de licence dans les bandes d'ondes millimétriques permet de remédier quelque peu à cette situation, mais elles ne couvrent pas la même distance que le Wi-Fi, ce

qui est crucial si on veut rester dans une optique de réduction des coûts et éviter le déploiement d'infrastructure intermédiaire supplémentaire.

Cette congestion pousse les petits opérateurs à obtenir du spectre sous licence pour ces liaisons point à point. Les liaisons point à point sous licence sont possibles sur de nombreuses bandes suivant le pays. Les opérateurs et les organismes de réglementation ont eu tendance à se concentrer sur les bandes de 7 GHz et 11 GHz. Cette dernière, en particulier, attire un intérêt considérable, stimulé par une nouvelle génération d'appareils qui couvrent cette bande à la fois pour les sociétés spécialisées dans les hyperfréquences comme Mimosas⁸¹ et Cambium, et les sociétés connues pour se focaliser sur les

bandes exemptes de licence comme Ubiquiti⁸² et Mikrotik. De la même façon que pour l'équipement des bandes d'ondes millimétriques, les coûts sont bien au-dessus de ceux de l'équipement des bandes Wi-Fi traditionnelles, mais tout de même bien moins chers que l'équipement classique des hyperfréquences.

Étant donné que le spectre sous licence est protégé des interférences, la puissance émise maximale autorisée est généralement plus élevée dans ces bandes,⁸³ ce qui compense quelque peu la perte de l'espace gratuit qu'on constate à ces fréquences plus élevées.

Comme on l'a décrit au chapitre 2, l'orientation de l'antenne fait partie des facteurs permettant la réutilisation des bandes de spectre. Des pays comme l'Afrique du Sud, les États-Unis et le Canada sont en train d'autoriser la mise à disposition des liaisons terrestres fixes point à point sur une bande servant traditionnellement aux services satellites fixes (10,7 -11,7 GHz). L'innovation en matière de gestion du spectre implique d'assurer une coordination, non seulement entre les différents licenciés terrestres mais aussi avec les satellites recevant les stations terrestres. Ce processus peut-être long, car la vérification est le plus souvent manuelle. Dans le but de rationaliser ce processus, des pays comme les États-Unis ont créé une base de données de géolocalisation, le Universal Licensing System.⁸⁴ Les opérateurs peuvent interroger cette base de données avant d'envoyer une demande, afin de s'assurer d'abord que la bande demandée est libre dans un emplacement donné.

De plus, certains pays ont recours à un processus automatique pour faire une demande de spectre, grâce auquel des ingénieurs habilités peuvent certifier la coordination. Parmi les pays étudiés, c'est le cas des États-Unis et de l'Argentine,⁸⁵ et ce processus est également bien établi en

Nouvelle-Zélande. Cette approche positive réduit la charge des organismes de réglementation qui géraient autrefois toute la coordination. En revanche, dans le même temps, les frais imposés par ces ingénieurs habilités peuvent s'avérer être un obstacle supplémentaire à l'accès à ces bandes pour les petits opérateurs et les réseaux communautaires.⁸⁶

Ce type d'approche automatique permet aussi d'ouvrir la voie à l'arrivée des bases de données de géolocalisation nationales logicielles pour la gestion des fréquences, phénomène déjà en cours pour les fréquences de TVWS (voir ci-dessous). Les appareils utilisant cette bande accèdent à une base de données de géolocalisation qui leur attribue dynamiquement du spectre. Cette méthode peut être un bon moyen pour les organismes de réglementation pour réduire les coûts administratifs et techniques.

Au Mexique, la situation est différente. Aucune opération n'est autorisée dans la bande de fréquences 10,7-11,7 GHz et, en outre, la bande allouée aux liaisons hyperfréquences point à point (10,15-10,3 et 10,5-10,65 GHz) a été attribuée régionalement par des enchères en 1998. À Oaxaca, région dont la population est largement rurale, une section de 120 MHz de ce spectre est laissée pour compte.⁸⁷ Même si toutes les licences stipulent que l'organisme de réglementation peut permettre une utilisation secondaire, le partage du spectre au Mexique en deçà de l'échelle régionale ne fait pas encore l'objet de réglementation.⁸⁸

Il serait encourageant de voir davantage de pays explorer la possibilité d'une coexistence avec les services satellites fixes, afin de permettre aux petits opérateurs et aux réseaux communautaires d'avoir recours aux nouveaux équipements à bas coût disponibles pour cette bande, comme le font déjà l'Afrique du Sud, le Canada et les États-Unis.

5.3 La gestion dynamique du spectre



La gestion dynamique du spectre fait référence à l'utilisation opportune des fréquences du spectre à titre secondaire quand la fréquence en question est déjà attribuée à une autre organisation à titre primaire. Cette approche trouve son origine dans la diffusion télévisuelle. Quand le spectre radio a été affecté pour la première fois à la télévision, au début du 20e siècle, la diffusion et la technologie de réception de diffusion étaient encore très rudimentaires, en comparaison avec les standards d'aujourd'hui. Pour illustrer, les émetteurs devaient « crier » pour se faire entendre des appareils récepteurs, un peu sourds. Afin de répondre à cette problématique, les organismes de réglementation ont alors décidé de conserver des zones vides servant de bandes de « sécurité » entre les fréquences de spectre allouées pour éviter les interférences entre les signaux de télévision. Ces bandes de sécurité sont également connues sous le nom d'espaces blancs de télévision à cause du signal de bruit blanc qui apparaît sur l'écran quand on cible une de ces bandes inutilisées. En raison de la transition entre la diffusion analogique et la diffusion numérique, le besoin de ces bandes de sécurité disparaît. La transition libère également une grande partie du spectre utilisé auparavant pour la diffusion. Ainsi, le principe de réutilisation opportune du spectre à titre secondaire est encore tout à fait viable pour les fréquences de télévision.

La nature de l'attribution dynamique du spectre est telle que les utilisateurs du spectre doivent toujours libérer toute fréquence que l'utilisateur licencié primaire décide d'utiliser. Le spectre dynamique ne tolère aucune forme d'interférence venant gêner les activités de l'utilisateur licencié primaire sur les fréquences en question. Il s'agit d'une stratégie intermédiaire entre l'octroi de licence traditionnel et l'exemption de licence. La gestion dynamique du spectre ne confère pas une exclusivité comme le fait l'octroi d'une licence mais il offre à l'organisme de réglementation un certain contrôle sur l'utilisation du spectre grâce à un système de base de données pour valider les appareils d'utilisation dynamique du spectre. Avoir un certain contrôle permet à l'organisme de réglementation de franchir le pas pour mettre à disposition ce spectre sans les risques élevés qu'implique la redistribution des fréquences sur le long terme à des sociétés ou des technologies qui peuvent ou non s'avérer être un succès.

Les méthodes de gestion dynamique du spectre comme celle de la réglementation sur les espaces blancs de télévision (TVWS) ou, plus récemment, le Citizens Broadband Radio Service (CBRS) aux États-Unis émergent comme d'autres approches possibles d'affectation du spectre.

Les espaces blancs de télévision (TVWS)

Les TVWS attirent particulièrement l'attention dans les régions comme l'Afrique subsaharienne car la plupart des pays de cette région disposent de peu de canaux terrestres de diffusion. Cela signifie que de nombreux canaux réservés aux fréquences de diffusion télévisuelle sont actuellement vides. En outre, comme on l'a évoqué précédemment, les fréquences plus basses allouées à la diffusion télévisuelle se propagent bien mieux que les fréquences plus hautes des bandes exemptes de licence, et présentent un avantage idéal pour couvrir de longues distances et atteindre les populations dispersées des zones rurales reculées. Par conséquent, l'Afrique subsaharienne dispose de plus de projets pilotes de spectre dynamique pour les TVWS que toutes les autres régions du monde, avec actuellement 12 pilotes pour huit pays.⁸⁹ Ces projets pilotes ont apporté des preuves convaincantes que les technologies de spectre dynamique peuvent coexister avec les radiodiffuseurs sans créer d'interférences, même dans les zones où l'utilisation du spectre de diffusion est relativement dense comme la ville du Cap.

Autour du globe, avec l'exception notable de quelques pays leaders,⁹⁰ l'adoption d'une réglementation vis-à-vis des TVWS est très lente. Cela peut être dû à différents facteurs. L'un d'eux est le manque de disponibilité à la vente pour le public d'appareils à prix abordables compatibles avec le spectre dynamique et les TVWS. C'est un cercle vicieux, car les fabricants attendent probablement le décret d'une réglementation relative au spectre dynamique avant de se lancer dans une fabrication à grande échelle.

La zone « intermédiaire » qu'occupent les TVWS entre le spectre sous licence et le spectre exempt de licence souligne une tension grandissante entre le succès économique du spectre exempt de licence, qui ne fait l'objet d'aucun droit de licence, et le spectre à usage exclusif pour les

services mobiles, souvent vendu aux enchères à plusieurs millions de dollars. Les opérateurs de réseaux traditionnels ont rejeté l'idée d'une mise à disposition gratuite d'un volume considérable du spectre très proche des bandes mobiles émergentes de 700 MHz. Les organismes de réglementation sont souvent coincés entre l'envie de mettre plus de spectre à disposition et la pression exercée par les gouvernements qui veulent générer des revenus par la vente de licences exclusives. Richard Thanki (voir le tableau plus haut) et d'autres ont bien souligné l'importance des répercussions positives sociales et économiques que le spectre exempt de licence permettrait de générer, mais ce refus des opérateurs traditionnels contribue à la lenteur de la progression des réglementations sur les TVWS.

États-Unis

La technologie des TVWS et leur réglementation trouvent leur origine aux États-Unis au début des années 2000 quand on a commencé à se rendre compte à la fois de l'impact grandissant des technologies sans fil conçues pour les bandes exemptes de licence, et de la baisse importante des coûts de production.

Les bandes de sécurités inoccupées des fréquences de télévision VHF et UHF ont témoigné du grand potentiel de l'expansion de l'exemption de licence, avec la possibilité d'encoder la réglementation dans l'appareil lui-même plutôt que dans des documents légaux.

L'idée originale des TVWS était d'opérer par « écoute » du spectre (spectrum-sensing en anglais), libérant immédiatement toute bande où était détectée une diffusion télévisuelle. Cependant, cette idée a reçu bon nombre de réactions négatives de la part des radiodiffuseurs en place préoccupés par les interférences potentielles avec leurs diffusions télévisuelles. Encore plus virulents dans leur objection aux TVWS : les fabricants de microphones sans fil et leur clientèle. Les fabricants de microphones sans fil et les ministères religieux populaires utilisant des microphones sans fil ont donné à la FCC leur point de vue sur le sujet.⁹¹

Le lobbying des groupes anti-TVWS inquiets des interférences et problèmes potentiels comme le problème du nœud caché⁹² a poussé

les tolérances d'écoute du spectre à un point tel qu'il allait être difficile de fabriquer des équipements de TVWS conformes à un prix raisonnable. Cela a mené à un compromis dans lequel on a proposé une solution de base de données. Une base de données d'authentification selon la géolocalisation permettrait de dresser la carte de l'utilisation du spectre actuelle par les radiodiffuseurs de télévision, et chaque appareil TVWS s'enregistrerait auprès de la base de données avant d'activer sa radio pour assurer l'absence totale d'interférences. Il ne s'agissait pas de la solution qu'avaient espéré les défenseurs des TVWS, en imaginant le même type d'innovation pour les TVWS que le monde avait vu avec le Wi-Fi et le Bluetooth, mais ce compromis fonctionnait, et la FCC autorisa en 2010 la régulation des appareils TVWS en passant par une authentification sur une base de données de géolocalisation gérée par un prestataire de services habilité par l'organisme de réglementation. La géolocalisation est désormais la norme mondiale dans le cadre de la réglementation des TVWS.

Canada

Le Canada a largement emboîté le pas aux États-Unis en ce qui concerne la réglementation des TVWS. Le Canada a lancé des consultations sur les fréquences des bandes de télévision en 2011.⁹³ Fin 2012, il a publié un plan concernant la réglementation des TVWS.⁹⁴ En 2015, l'accès à ce spectre a été « officiellement » permis mais l'utilisation commerciale était limitée en raison du manque de prestataire de services proposant des bases de données de géolocalisation. En octobre 2017, le ministère de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique (ISDE) a nommé Key Bridge Wireless comme administrateur de services de base de données pour les espaces blancs au Canada.⁹⁵

Cependant, la technologie de l'espace blanc n'est toujours pas commercialisable comme il n'existe pas d'équipement entièrement approuvé et compatible avec la base de données. Les fabricants d'équipement sont en pourparlers avec Key Bridge pour permettre à leur équipement de communiquer avec la base de données, moment à partir duquel l'équipement pourra enfin être certifié par ISDE pour être utilisé au Canada. On ne sait pas encore quand cette question sera résolue.



Afrique du Sud

La promotion de la réglementation des TVWS en Afrique du Sud a commencé en 2009.⁹⁶ Cependant, il a fallu attendre octobre 2011 pour faire avancer la discussion, quand l'Association for Progressive Communications (APC) et la Wireless Access Providers Association (WAPA) ont organisé un atelier pour rassembler les experts internationaux, les organismes de réglementation de la région et les représentants de la loi, de l'industrie et du gouvernement pour discuter des TVWS et de leur potentiel. À la suite de cet atelier, un essai technologique a été organisé pour prouver aux organismes de réglementation que la technologie ne provoquerait pas des interférences nuisibles. Un partenariat s'est alors créé entre Google, sponsor, le Tertiary Education and Research Network (TENET) d'Afrique du Sud, chef de projet, le Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), partenaire de recherche, ainsi que WAPA, le réseau d'écoles en ligne, comme partenaire bénéficiaire et ISP Comsol comme responsable de la mise en œuvre de l'essai.⁹⁷ L'essai a commencé en septembre 2012 avec ICASA, organisme de réglementation des communications sud-africain, qui a autorisé le CSIR et ses partenaires à établir un réseau TVWS au Cap. Le projet pilote initial n'a duré qu'un an, mais a fait l'objet d'un succès retentissant. En plus de délivrer du haut débit sans interférer avec les diffusions télévisuelles, ils l'ont fait en opérant sur des bandes immédiatement adjacentes aux canaux de diffusion télévisuelle. Les données rassemblées pendant cet essai ont même été utilisées par les États-Unis pour modifier leur réglementation sur les TVWS.⁹⁸ À la suite de ces résultats positifs, ICASA a prolongé la licence expérimentale pour permettre au projet de continuer à fournir un accès.

En mars 2018, ICASA a officiellement publié la réglementation sur l'utilisation du spectre TVWS.⁹⁹ Cela signifie que, sous réserve d'homologation et d'autorisation par une base de données de géolocalisation, les équipements de communication sans fil TVWS peuvent être utilisés légalement en Afrique du Sud. Bien qu'il s'agisse d'un grand pas d'un point de vue réglementaire, cela ne permet pas encore aux opérateurs licenciés de déployer une technologie TVWS, car l'organisme de réglementation doit également

approuver un prestataire de service de base de données pour la géolocalisation. Cela devrait avoir lieu en 2018.

La réglementation des TVWS en Afrique du Sud diffère légèrement des réglementations des autres pays : elle exige que tous les équipements TVWS intègrent un GPS et que les installations soient réalisées par un ingénieur qualifié par l'IEEE. Le temps nous dira si cela s'avère être un obstacle au déploiement d'une technologie à prix abordable.

Inde

Le projet de large bande rurale de Gram Marg¹⁰⁰ au département du génie électrique de l'Indian Institute of Technology (IIT) de Bombay avait pour but de montrer comment fonctionnent l'utilisation des TVWS et d'autres technologies sans fil innovantes, dans l'idée de connecter les populations non connectées de l'Inde rurale. Cet essai a permis de fournir un accès Wi-Fi pour les villageois d'un groupe de 10 communautés rurales du district de Palghar (état de Maharashtra). À l'origine, les liaisons terrestres ont été mises en œuvre à l'aide d'équipement TVWS fabriqué par l'IIT, mais l'IIT n'a pas pu obtenir le renouvellement de sa licence de spectre pour l'essai. Cela a causé des coûts plus élevés car l'IIT a été obligé de répliquer les liaisons terrestres avec un équipement Wi-Fi de 5 GHz, ce qui a nécessité de se procurer des pylônes beaucoup plus hauts afin d'avoir un accès en visibilité directe aux communautés. On a aussi constaté que le déploiement des TVWS était plus rapide et plus simple car l'antenne n'avait pas besoin de pointage précis, à la différence de l'équipement de 5,8 GHz qui nécessitait d'être précisément aligné. Ce projet a également mis en avant un résultat inattendu, à savoir, la preuve que les TVWS représentent un coût d'investissement moins élevé que celui du Wi-Fi dans des communications point à point en visibilité indirecte.

L'IIT continue d'exercer une pression sur l'organisme de réglementation, TRAI, pour obtenir l'accès au spectre, mais, actuellement, le gouvernement n'approuve pas l'idée d'utiliser les fréquences de télévision pour les services TVWS commerciaux¹⁰¹. Il est tout de même possible d'obtenir l'accès à une licence expérimentale pour

la recherche; grâce à cela, l'International Institute of Information Technology (IIITB) à Bangalore a aussi pu réaliser des expériences avec les TVWS.¹⁰²

Argentine, Brésil, Mexique

Bien que Microsoft avait annoncé des essais avec les TVWS au Brésil en 2014,¹⁰³ et que la White Space Alliance avait fait de même en 2015,¹⁰⁴ aucun essai n'a encore eu lieu au Brésil. De la même façon, en Argentine, Microsoft a signé un protocole d'entente¹⁰⁵ avec l'organisme de réglementation pour conduire des essais de TVWS, mais rien n'avait encore été fait au troisième trimestre 2018. Le gouvernement mexicain, quant à lui, a décidé de prendre en compte le spectre dynamique, mais n'a fait aucun pas vers l'introduction d'une réglementation quant aux TVWS.¹⁰⁶

Le service radio large bande communautaire (CBRS)

Adopter le spectre dynamique dans la réglementation relative au spectre ne se limite pas aux fréquences de télévision. Aux États-Unis, on s'intéresse à une autre bande à incorporer dans la gestion dynamique du spectre, celle de 3,5 GHz (150 MHz de spectre entre 3550 MHz et 3700 MHz). En 2015, la FCC des États-Unis a mis à disposition ce spectre en vue d'une utilisation flexible et partagée grâce à un système de base de données de géolocalisation. Sous le nom de Citizen Broadband Radio Service (CBRS, service radio large bande communautaire), ce système fonctionne à l'aide de trois niveaux coordonnant le partage de l'accès à la bande. Au sein de cette structure, le premier niveau d'accès est composé des titulaires existants principaux, y compris les systèmes radars américains et les stations terrestres de service fixe par satellite. Ils sont protégés des interférences de la même façon que le titulaire d'une licence de spectre traditionnel le serait. Le second niveau d'accès appartient aux licences d'accès prioritaire (LAP), que les opérateurs peuvent obtenir par enchères tous les deux ans. Enfin, le troisième

niveau d'accès va aux détenteurs d'une licence d'accès autorisé général (AAG), qui s'apparente davantage aux équipements exempts de licence conventionnels. Les LAP du deuxième niveau sont protégés des opérations des AGG, tandis que les AAG doivent accepter les interférences venant des niveaux supérieurs. Le CBRS est conçu pour une prestation de services LTE. La multiplication récente des stations de base LTE à bas coût peut en faire une option intéressante pour les FAI sans fil souhaitant se lancer dans des services mobiles.

Au cours de la progression de l'établissement des règlements régissant le CBRS, la taille de la zone géographique couverte par une licence a été l'un des sujets les plus contestés. Initialement, la proposition consistant à attribuer une licence pour chacun des 74 000 secteurs de recensement existants. Cela permettrait d'ouvrir la porte à de nombreux petits opérateurs pour gagner accès au spectre. Les grands opérateurs se sont battus contre cette idée et la FCC a répondu en troquant les secteurs de recensement contre les comtés, lesquels ne sont qu'au nombre de 3 141 aux États-Unis.¹⁰⁷

À ce jour, les États-Unis sont les seuls à utiliser le spectre dynamique dans cette bande. Ces mêmes fréquences sont également convoitées pour les services de 5 G. Au Royaume-Uni, elles ont récemment été mises aux enchères dans le cadre de la première vente aux enchères du pays pour la 5G.¹⁰⁸ L'organisme de réglementation canadien, l'ISDE, a lancé une consultation concernant l'avenir de cette bande et étudie à la fois l'approche des États-Unis et celle du Royaume-Uni.¹⁰⁹ Au Brésil, il est question de mettre cette fréquence aux enchères en 2019.¹¹⁰ L'Inde n'est pas en reste et semble avoir réservé ce spectre pour les enchères de 5G.¹¹¹ Pour le moment, il semblerait que seuls les États-Unis ont recours à l'approche du CBRS, ce qui pourrait changer à mesure que les autres pays observent la popularité de cette méthode innovante de gestion du spectre.

5.4 Les services de réseau mobile



La téléphonie mobile a métamorphosé l'accès à la communication dans les pays en développement. En 1994, la ville de New York disposait de plus de lignes téléphoniques que l'intégralité du continent africain.¹¹² Aujourd'hui, en Afrique subsaharienne, environ quatre personnes sur cinq sont couvertes par un signal de téléphone mobile.¹¹³ Ce changement est à la fois remarquable et fort de sens; mais il n'en reste pas moins que des millions de gens n'ont toujours pas accès à un réseau mobile. Pourquoi? Typiquement, la raison se résume au fait qu'il n'existe aucune analyse de rentabilité pour inciter les opérateurs de téléphonie mobile à étendre la couverture à ces régions. Cela peut être dû à la faible densité de la région, à son relief qui rendrait les infrastructures onéreuses, à la faible capacité de financement, ou à une combinaison de ces raisons.

D'autres technologies GSM à bas coût existent depuis quelque temps et plusieurs jeunes entreprises ont vu le jour comme NuRAN¹¹⁴, Fairwaves,¹¹⁵ l'Open Cellular de Facebook, et d'autres. Les fabricants comme NuRAN Wireless produisent des systèmes radioélectriques à bas prix qui peuvent servir de plate-forme robuste pour les initiatives comme Osmocom¹¹⁶ qui fournissent à leur tour une alternative open source aux logiciels propriétaires de gestion et d'exploitation des réseaux GSM. Cela signifie qu'il est possible de monter une station de base GSM pour quelques milliers de dollars. On commence à voir ces innovations s'investir dans les technologies LTE (Parallel Wireless, Baicells et des nouvelles versions du matériel Open Cellular), et cette technologie représente une grande opportunité pour les petits opérateurs et réseaux communautaires à mesure que les appareils utilisateurs pénètrent dans les zones rurales. Mais les petits opérateurs et les réseaux communautaires peuvent difficilement profiter de ces innovations, car les bandes de spectre populaires ont déjà largement été attribuées aux opérateurs de réseaux mobiles existants. Cependant, les innovations réglementaires dans certains pays commencent à changer cette réalité.

L'attribution du spectre aux opérateurs mobiles ruraux

Le Mexique est le seul pays du monde où une fraction du spectre dédié aux services de réseaux mobiles a été réservée à l'utilisation des réseaux communautaires et des petits opérateurs dans les régions peu desservies. Après le succès du projet pilote Rhizomatica à Oaxaca,¹¹⁷ l'organisme de réglementation des communications mexicain (IFETEL) a analysé les affectations dans la bande de 850 MHz et a remarqué qu'une petite partie de ce spectre n'était pas affectée. Le fait que cette modeste quantité de spectre restait disponible signifiait qu'elle n'était que d'une faible valeur aux yeux des opérateurs commerciaux. Par conséquent, le Programme annuel de l'utilisation et de l'exploitation des bandes de fréquences 2015 d'IFETEL¹¹⁸ a attribué plusieurs segments par région¹¹⁹ à une «utilisation sociale».¹²⁰ En particulier, il s'agit de deux fois 5 MHz du spectre de 850 MHz dans sept régions (à l'exception des villes de Mexico, Guadalajara et Monterrey) et de deux fois 2,54 MHz de spectre dans une autre région à condition de remplir les critères suivants :

- L'utilisation est réservée à des villages de moins de 2500 habitants ;
- L'organisme de réglementation se réserve le droit d'attribuer ce spectre à l'usage commercial dans le futur.

Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias (TIC), une organisation à but non lucratif établie à Oaxaca au Mexique est détentrice d'une concession en tant qu'opérateur social de services de télécommunications. Elle fournit des services de données et de voix 2G et dessert actuellement 3350 utilisateurs actifs au quotidien répartis sur 63 villages et communautés de l'état d'Oaxaca. Ces utilisateurs sont desservis par 14 stations cellulaires détenues et opérées par la communauté.

En Afrique subsaharienne, on commence à voir des petits opérateurs de réseaux qui se focalisent sur des déploiements à bas coût dans les zones rurales et peu denses. Au Rwanda, la start-up de télécoms américaine Vanu¹²¹ a négocié avec l'organisme de réglementation rwandais pour obtenir l'accès au spectre GSM dans le but de déployer un réseau rural 2G de services de gros. Vanu n'offre pas de

services de détails, mais génère des revenus grâce aux frais payés par les opérateurs existants pour faire accéder leurs clients au réseau de Vanu.

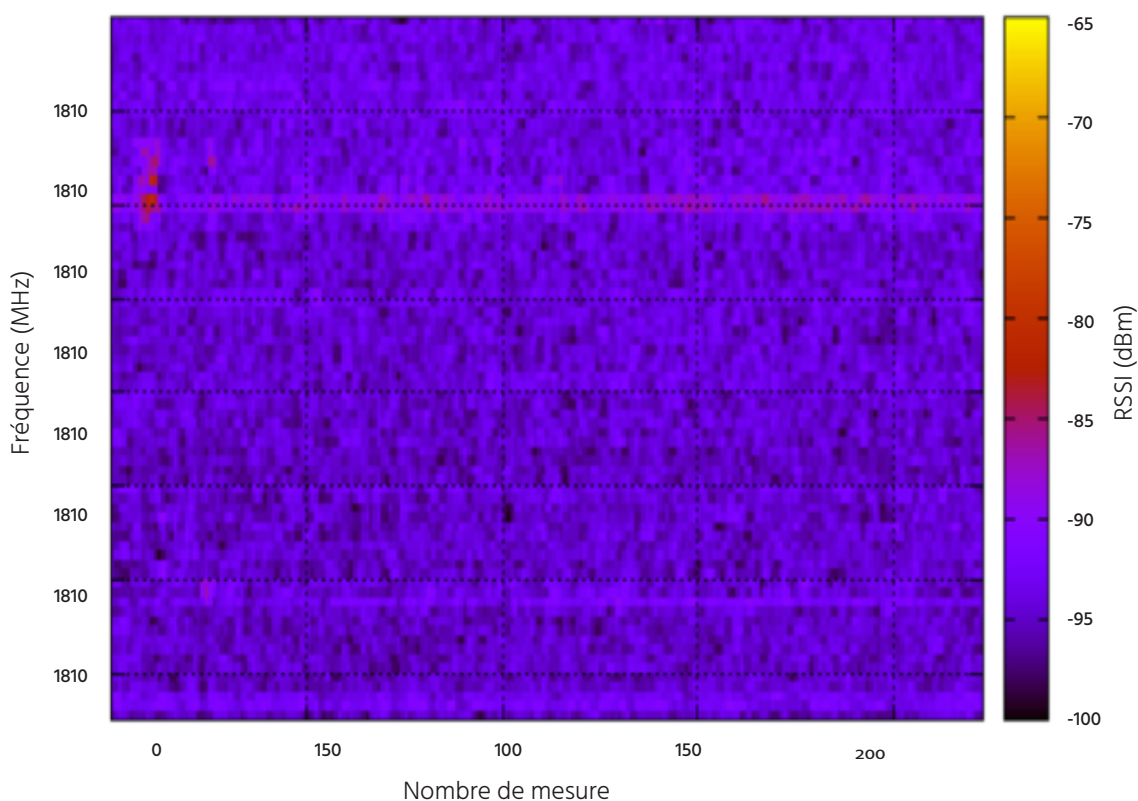
Le partage du spectre entre les opérateurs mobiles ruraux

Au Canada, les communautés fournissent aussi des services de réseaux mobiles, mais doivent passer par une entente avec un des opérateurs de télécommunications détenant une licence exclusive de spectre nationale à long terme. Le service de KMobile, détenu et contrôlé par les peuples autochtones, a été lancé en 2008 dans la région de Sioux Lookout au nord-ouest de l'Ontario, en partenariat avec Keewaytinook Okimakanak, organisation soutenant le développement des infrastructures dans ses communautés membres. KMobile a réussi à obtenir le droit d'utiliser deux fois 5 MHz dans la bande de 850 MHz de la part du fournisseur national qui ne comptait pas utiliser ces fréquences dans cette région, car les communautés autochtones ne remplissaient par ses critères en matière de population.¹²² Légalement, KMobile est enregistré

en tant qu'entreprise non dominante titulaire d'une licence subordonnée (800 à 900 MHz). Actuellement, 26 communautés ont accès aux services 3G, couvrant une population d'environ 22 000 personnes dans toute la région autochtone.

Un autre petit opérateur, Africa Mobile Networks, a conclu des partenariats avec des opérateurs multinationaux pour accéder à leur spectre GSM et déployer une infrastructure GSM à bas coût au Cameroun, en République démocratique du Congo, en Guinée et en Zambie¹²³, et planifie de s'étendre au Liberia et au Soudan.¹²⁴ Au total, il exploite des centaines de stations de base à bas prix dans des régions non desservies de ces pays. Grâce à son petit capital et à son modèle de dépenses d'exploitation, cet opérateur est viable et durable là où les opérateurs de téléphonie mobile traditionnels ne le seraient pas. En revanche, dans le but d'obtenir l'accès au spectre des services sans fil, il sous-loue du spectre à des opérateurs qui sont libres de fixer les prix, et cela pourrait le rendre vulnérable.

Figure 4 - Mesure de l'occupation du spectre dans la bande de 1 800 MHz dans une zone rurale du Cap-Oriental en Afrique du Sud



En Afrique du Sud, malgré les débats autour de la pénurie du spectre, de grandes quantités de bandes de spectre dédiées aux communications mobiles sont inoccupées dans les régions rurales.¹²⁵ La figure ci-dessous illustre l'occupation du spectre dans la bande de 1800 MHz dans une zone rurale du Cap-Oriental en Afrique du Sud. À l'heure actuelle, utiliser ce spectre inoccupé nécessite de conclure d'abord un accord avec l'un des titulaires de licence de ce spectre. De plus, il faut présenter une demande d'approbation à ICASA pour obtenir un accord de partage du spectre en vertu de la Réglementation du spectre des radiofréquences de 2015.

En Argentine, il sera peut-être bientôt possible d'accéder au spectre dans les régions mal desservies : le parlement est à un stade avancé de l'approbation d'une loi qui autorisera les opérateurs locaux à accéder au spectre pour la téléphonie mobile.¹²⁶

Les licences expérimentales

Dans de nombreux pays, l'utilisation de licences expérimentales peut s'avérer un moyen puissant pour démontrer le potentiel de nouvelles technologies. Par exemple, au Brésil et en Argentine, où certaines fréquences n'ont pas été attribuées dans plusieurs états et provinces,¹²⁷ des licences expérimentales peuvent être octroyées directement par l'organisme de réglementation. C'est ce qu'ont fait les organisateurs de CELCOM, projet pilote mené par l'Université fédérale de Pará (UFPA),¹²⁸ dans le but de fournir des services GSM dans des régions rurales.

Que ce processus soit possible ne veut pas dire qu'il est simple. CELCOM s'est lancé en 2016 dans l'état de Pará grâce à une licence expérimentale de deux fois 200 KHz avec pour objectif de prouver la viabilité de services GSM open source et à bas coût dans la région de l'Amazonie. Le projet est en train de s'étendre aux états de Rio de Janeiro et Goiás, mais le processus est à l'état de pause car la gamme de fréquence GSM disponible varie d'un état à l'autre.

Dans le cas du Mexique, comme évoqué plus haut, des essais GSM ont d'abord été menés par le biais d'une licence expérimentale pour démontrer qu'une concession sociale était non seulement

faisable, mais aussi porteuse d'importants bénéfices pour une population autrement non connectée.

La prolongation et le renouvellement des licences expérimentales sont également importants. En Inde, par exemple, la durée initiale d'une licence expérimentale est de trois mois, et elle ne peut être prolongée que de trois mois en plus. Pendant les trois mois initiaux, le licencié est exempt de droits de licence de spectre, mais des droits sont exigés pendant la deuxième période de trois mois.¹²⁹ Au Brésil, ce type de licence est d'une durée de deux ans et est renouvelable,¹³⁰ mais des droits de licence de spectre doivent être payés pour toute la durée de l'expérience. Dans le cas de l'Afrique du Sud, aucune limite dans le temps n'est imposée pour les licences expérimentales. En conséquence, l'expérience de TVWS dans la ville du Cap mentionnée à la section 5.3.1, qui a été lancée en 2013, fournit toujours des services de connectivité précieux dans les écoles secondaires en 2018.

À notre connaissance à l'heure actuelle, il n'existe aucun projet pilote en Inde concernant la prestation de services mobiles par des petits opérateurs et des réseaux communautaires. En Argentine, l'Internet Society est en discussion avec l'organisme de réglementation argentin, Enacom, au sujet d'un projet expérimental pour une initiative LTE gérée par la communauté.

Les réseaux sans fil de services de gros

Le défi lié aux enchères de spectre exploré ci-dessus dans la section 4.2 a poussé les organismes de réglementation à réfléchir à d'autres solutions. Une de ces solutions, relativement nouvelle, consiste à affecter une bande de spectre entière à un réseau de services de gros, commander sa création et la rendre disponible à tous les opérateurs licenciés pour qu'ils y proposent leurs services. Il est assez commun dans les réseaux de fibre optique de voir des réseaux en accès libre réservés aux services de gros, mais il s'agit d'un concept assez nouveau du côté du spectre des services sans fil, et cela n'a pas été mis en œuvre à grande échelle.

Le Rwanda est le premier pays à avoir mis en œuvre avec succès un réseau sans fil de services

de gros dans la bande LTE relativement neuve de 800 MHz. Ce réseau faisait l'objet d'un partenariat entre le gouvernement rwandais et Korea Telecom sous le nom de marque Olleh Networks (aujourd'hui KT Rwanda Networks). Il a été mis en service en 2014. En décembre 2017, l'organisme de réglementation rwandais faisait rapport que le réseau couvrait une zone géographique représentant 84,7 % du pays, pour 89 % de la population¹³¹ Aucune autre statistique ne semble avoir été publiée sur son usage, donc il est difficile de juger du succès de ce réseau; mais Korea Telecom a annoncé en octobre une réduction de ses tarifs pour les prestataires de services utilisant son infrastructure, qui pourrait aller jusqu'à 66 %.¹³² Cela semble indiquer un succès mitigé à ce jour. En mai 2018, Korea Telecom a annoncé prévoir exporter ce modèle dans d'autres pays.¹³³

Le Mexique a également lancé un réseau sans fil en accès libre (WOAN) sous le nom de Red Compartida qui utilise 90 MHz de spectre dans la bande de 700 MHz. Annoncé en 2014, le projet a mis du temps à se mettre en place, mais il a enfin été mis en service en mars 2018 et couvre 32 % du pays.¹³⁴ En juin 2018, le premier client opérateur a été annoncé.¹³⁵ Il est encore trop tôt pour estimer quelle sera la réussite de ce réseau.

En Afrique du Sud, le gouvernement a annoncé son projet de créer un réseau sans fil en accès libre (WOAN) dans les bandes 700 MHz, 800 MHz et 2,6 GHz et peut-être d'autres bandes que les opérateurs auraient attribuées mais n'utiliseraient pas.¹³⁶ Ceci résulte du sentiment d'échec vis-à-vis du modèle actuel et de sa capacité à fournir un accès abordable universel. Parmi les marchés africains les plus forts, l'Afrique du Sud reste l'un des pays les plus chers en ce qui concerne les services mobiles large bande.¹³⁷ La mise en œuvre de ce projet requiert des modifications de politiques importantes, et la proposition de loi¹³⁸ — dont l'approche a entraîné un débat houleux dans le pays¹³⁹ — est actuellement en examen. Le processus de consultation a poussé le gouvernement à revoir son approche initiale. Il recueille actuellement des avis sur la quantité de spectre qui devrait être attribué au WOAN.¹⁴⁰ Le reste du spectre devrait être mis aux enchères début 2019.¹⁴¹

La GSMA, association industrielle pour les opérateurs de réseaux mobiles, a publié une étude qui critique les WOAN,¹⁴² avançant que le manque de mises en œuvre réussies des réseaux de services de gros ne justifie pas cette stratégie. Cependant, il ne s'agit que de l'aube de ce type de réseaux et, après avoir constaté les résultats négatifs du système de vente aux enchères du spectre, il convient d'explorer d'autres options.

La cinquième génération de standards pour la téléphonie mobile (5G)

Génération après génération, les technologies mobiles ont évolué pour présenter à chaque fois de nouvelles capacités et caractéristiques. Ce que nous appelons aujourd'hui le réseau mobile a commencé dans les années 1990 avec la technologie de seconde génération (2G), capable de services de voix et de services très limités de données. Les réseaux de troisième génération (3G), lancés en 2001, offraient les premiers services mobiles large bande avec des vitesses de quelques mégabits par seconde. Les réseaux 3G opèrent sur une fréquence séparée des réseaux 2G et avaient besoin à la fois d'une nouvelle technologie de réseau et de nouveaux combinés téléphoniques pour être capables de profiter des nouvelles vitesses. Les opérateurs de réseau mobile devaient maintenir à la fois les services 2G et 3G afin de pouvoir proposer des services de voix et des services large bande à leur clientèle. Avec l'arrivée de la quatrième génération (4G), aussi connue sous le nom de technologie d'évolution à long terme (LTE), l'efficacité des réseaux a permis d'optimiser l'utilisation du spectre disponible et d'augmenter les vitesses de chargement, bien plus élevées qu'avec la 3G. La 4G représentait le passage à une plate-forme basée entièrement sur le protocole IP, permettant de proposer à la fois des services de voix (VoLTE) et des services de données sur la même plate-forme. Dans la réalité, la plupart des opérateurs préfèrent continuer à fournir leur service de voix en passant par les réseaux 2G afin de garantir la qualité du service. La 4G a ajouté une autre difficulté : la capacité à opérer sur plusieurs fréquences. Il existe plus de 40 bandes de spectre de 4G à disposition des fabricants et des opérateurs.¹⁴³ Les smartphones modernes peuvent prendre en charge plusieurs bandes de spectre mais sont généralement limités à une poignée de fréquences 4G.



Les innovations que chacune des générations de technologie mobile a apportées jusqu'aujourd'hui sont assez simples à décrire. En revanche, la technologie de cinquième génération (5G) est moins facile à expliquer. La technologie 4G se rapproche de la limite de Shannon et, par conséquent, des limites de ce qui est réalisable avec le spectre radioélectrique. Pour faire mieux que la 4G, la 5G doit porter son regard ailleurs. La 5G est différente de la génération précédente parce qu'elle se repose sur de nombreux changements visant à améliorer la performance du réseau.¹⁴⁴ Ces changements technologiques passent par :

- l'utilisation des ondes millimétriques qui peuvent émettre de grandes quantités de données mais sur des distances beaucoup plus courtes que les générations de réseaux mobiles précédentes ;
- le recours à des petites cellules pour augmenter l'efficacité du spectre grâce à la réutilisation des fréquences ;
- l'utilisation de MIMO (entrées multiples, sorties multiples) massives pour regrouper de grandes quantités d'antennes aux niveaux de l'émetteur et du récepteur, pour fournir un meilleur débit et une meilleure efficacité du spectre ;
- la « formation de faisceau » qui tire profit des interférences constructives pour délivrer des communications plus nettes ;
- la technologie en duplex intégral qui permet aux radios de recevoir et d'émettre simultanément.

À l'instar de la 4G, la 5G peut fonctionner dans plusieurs bandes de spectre mais, plutôt que de n'utiliser qu'une fréquence, la 5G combine plusieurs fréquences pour livrer un service large bande ultra rapide et à très faible latence. Le fait que la 5G tire profit d'un éventail de fréquences et d'innovations technologiques présente un bon et un mauvais côtés. Du bon côté, cette combinaison permettra de fournir une gamme de services allant des services de réseaux à bande étroite à très

faible latence, à des vitesses similaires à la fibre pour les utilisateurs à capacité élevée. La capacité à fournir des services de réseau présentant des caractéristiques spécifiques, comme la latence, la vitesse, la capacité, etc., s'appelle le « network slicing », ou découpage de réseaux en tranche.¹⁴⁵ Le découpage des réseaux crée un service de réseau virtuel avec des caractéristiques personnalisées selon les besoins d'une industrie en particulier. Il est possible que cette spécificité entre en conflit avec les principes de neutralité des réseaux, mais il est encore difficile de se prononcer comme il n'existe pas encore d'exemple commercial de ce type de virtualisation de réseau.

Un inconvénient potentiel de la 5G et du fait qu'elle couvre de nombreuses fréquences et technologies est la possibilité de voir tout le pouvoir et l'influence se concentrer chez les opérateurs existants. De plus, comme la plupart des fréquences 5G visent les zones urbaines et que leur objectif réside dans l'augmentation de la performance et de la capacité, cela pourrait aggraver le fossé grandissant entre les zones urbaines et les zones rurales. Les pays en développement pourraient bien avoir à attendre des années avant que la 5G ne représente un choix technologique pratique pour un accès à prix abordable. Selon les estimations de la GSMA, l'adoption de la 5G en Afrique subsaharienne d'ici 2025 ne serait que de 3 %.¹⁴⁶

Pour les opérateurs de réseaux communautaires, la 5G se prête à la mise en œuvre de technologies en point à point exemptes de licence dans la bande de 60 GHz, qui offrirait une solution à courte distance et à capacité élevée.¹⁴⁷ De surcroît, cette technologie doit être surveillée, du fait de son potentiel empiétement sur les fréquences exemptes de licence. La 4G a déjà vu l'arrivée des LTE sans licences (LTE-U) dans la bande de 5 GHz. Il sera important de veiller à ce que les avantages du spectre exempt de licence ne soient pas érodés.

5.5 Les redevances relatives au spectre

Les innovations quant aux réglementations du spectre sont passées par des changements dans la méthode de calcul des droits et des redevances que les opérateurs doivent payer pour avoir le droit d'utiliser la portion de spectre en question.

Le travail de l'UIT sur les redevances relatives au spectre

Les lignes directrices de l'UIT établissent la différence entre des droits de gestion du spectre et les droits d'utilisation du spectre.¹⁴⁸ Les premiers sont censés être utilisés pour recouvrer les coûts de la gestion du spectre, tandis que les derniers sont facturés par le gouvernement « à titre de loyer du spectre pour s'assurer que les utilisateurs du spectre exploitent celui-ci de manière efficace ». De surcroît, les droits d'utilisation du spectre, sont censés contribuer également à « atteindre l'objectif budgétaire fixé par les pouvoirs publics »¹⁴⁹. Dans cette section, nous nous concentrerons principalement sur les innovations concernant les droits d'utilisation du spectre. Les droits de gestion seront abordés plus en détails à la section 5.7.

L'UIT a élaboré des lignes directrices pour définir les droits d'utilisation du spectre à la suite du travail d'un des groupes d'étude créé dans le but de mettre en place la Résolution 9 du CMDT 2006.¹⁵⁰ Bien qu'elles préconisent la simplicité, ces lignes directrices fournissent différentes formules pour chaque type de service. Dans le cas des affectations fixes point à point, la formule inclut un facteur de largeur de bande ainsi qu'un facteur qui considère l'emplacement de l'affectation dans le spectre de fréquences. Comme on l'a déjà expliqué plus haut, la différence de performance entre les différentes portions du spectre rend ces dernières plus ou moins utiles ou précieuses que d'autres. Dans d'autres lignes directrices plus récentes, l'UIT a introduit un « modèle universel prix-performance du système » qui consiste en une formule intégrant divers facteurs.

De plus, le groupe d'étude a créé une base de données sur la façon dont les pays appliquent les formules de tarification.¹⁵¹ Parmi les pays étudiés dans le présent rapport, seul le Mexique a mis à disposition des informations, elles-mêmes n'indiquant que les facteurs pris en compte dans

les formules et non pas la façon dont les droits sont calculés, ce qui complique la comparaison entre les pays. Des recherches ont été menées pour savoir quels mécanismes ont été utilisés par chaque pays. Les résultats sont présentés dans la section 5.5.2 ci-dessous.

Les droits d'utilisation du spectre pour les liaisons terrestres sous licence

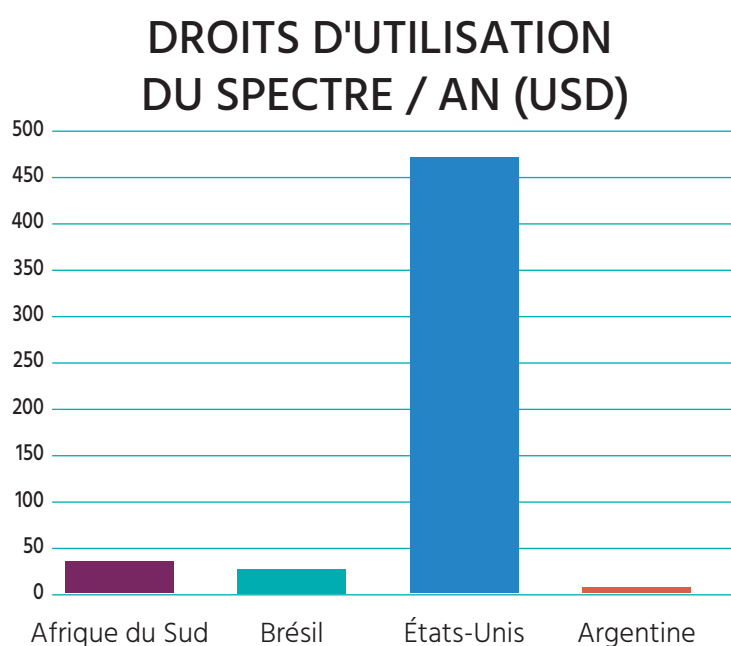
Dans la plupart des cas étudiés, une formule est utilisée pour déterminer le montant à payer par l'opérateur. Cependant, les paramètres de cette formule sont très variables, et cela peut grandement influencer les droits demandés par les opérateurs :

- Le Canada facture un droit annuel auquel s'ajoute un autre montant selon la capacité de la liaison.¹⁵²
- En Inde, le gouvernement prend uniquement en compte la largeur de bande affectée et l'utilise comme pourcentage du revenu que l'opérateur génère dans cette zone¹⁵³
- En Afrique du Sud,¹⁵⁴ en Argentine¹⁵⁵ et au Brésil,¹⁵⁶ une formule plus complexe, proche du « modèle universel prix-performance du système » de l'UIT¹⁵⁷, prend en compte davantage de niveaux de détails : la fréquence centrale, la valeur de la bande, le facteur géographique,¹⁵⁸ le type d'utilisation (partagée ou exclusive), la population couverte,¹⁵⁹ etc.
- Aux États-Unis, les droits de licence de la FCC comprennent des frais de dossiers et des frais de réglementations. Ces derniers sont payés une fois par emplacement, tandis que les premiers sont payés à chaque ajout d'antenne.¹⁶⁰ Ces frais sont indépendants de la qualité du canal, de sa taille ou des fréquences.
- Au Mexique, les bandes de 7 GHz et de 11 GHz ont été mises aux enchères et ne seront donc pas abordées dans cette section.

Par conséquent, la structure encadrant les droits à payer est fondamentalement différente dans

chaque pays pour des services similaires. Le graphique ci-dessous compare les droits de licence de spectre payés dans les différents pays étudiés pour une liaison de 10 km utilisant 20 MHz sur la fréquence de 10,65 GHz dans une zone rurale.¹⁶¹ Bien que l'Argentine bénéficie des droits les moins chers,¹⁶² il n'y est pas permis d'utiliser les fréquences entre 10,7 et 11,7 GHz, donc les opérateurs ne peuvent pas avoir recours aux équipements plus abordables désormais disponibles pour ces bandes. Il en va de même pour le Brésil. L'Afrique du Sud dispose donc du cadre le moins cher et le plus viable pour cette bande.

Figure 5 - Comparaison des droits d'utilisation du spectre pour les liaisons terrestres sous licence



La réglementation actuelle en Afrique du Sud concernant les droits d'utilisation du spectre est entrée en vigueur en 2012 et a « réussi, dans une certaine mesure, à donner une meilleure estimation de valeur aux parts du spectre et à gagner en efficacité, en particulier là où le spectre affecté aux réseaux d'accès était utilisé pour des liaisons point à point ».¹⁶³

En Afrique du Sud, Telkom, le titulaire historique, a vu ses frais augmenter drastiquement. Cela a été dû notamment au fait qu'il utilisait une part de

spectre point-multipoint pour des liaisons point à point et les nouvelles règles exigeaient donc qu'il paye des redevances inhérentes au point-multipoint. Ces changements ont poussé Telkom à commencer à renoncer à ses licences dans ces fréquences. Pour les mêmes raisons, Sentech, la société de diffusion publique, s'est également départi d'une partie de son spectre. Cette nouvelle disposition signifiait donc que les opérateurs qui n'utilisaient pas leur spectre efficacement devaient choisir entre mieux l'utiliser ou le perdre. Cette méthode a été reconnue comme une réussite en ce qui concerne l'application de pénalités en cas d'utilisation inefficace ; néanmoins, elle a aussi fait l'objet de critiques selon lesquelles les redevances actuelles « n'encouragent pas suffisamment une utilisation efficace du spectre ».¹⁶⁴

Le Canada et l'Inde n'ont pas été inclus dans le graphique car leurs prix sont respectivement 1000 et 67000 fois plus chers que ceux de l'Argentine. Au Canada, l'obligation de passer par une procédure parlementaire pour changer la structure des droits de licence de spectre met un frein à tout changement. En Inde, les calculs ont été établis selon la formule recommandée par TRAI:¹⁶⁵ les droits sont calculés selon un pourcentage du revenu de l'opérateur.

Les stratégies qui encouragent l'utilisation efficace du spectre comme celle de l'Afrique du Sud sont porteuses d'opportunités pour les réseaux communautaires et les petits opérateurs, qui peuvent fournir un accès durable dans les zones reculées et rurales. Cela pourrait permettre de respecter les objectifs budgétaires du gouvernement tout en veillant à ce que « la gestion soit dans l'intérêt de toute la communauté nationale », c'est-à-dire, qu'elle inclut les personnes non connectées et celles qui ne peuvent pas se permettre de payer les prix des communications.¹⁶⁶

Les droits d'utilisation du spectre pour la téléphonie mobile

Les bandes de fréquences pour la téléphonie mobile sont toutes sous licence. Pour les petits opérateurs et les réseaux communautaires qui souhaitent fournir des services de téléphonie mobile, cela signifie qu'ils doivent payer les droits d'utilisation attendus. Dans la majorité des pays, ces droits doivent être payés avant de pouvoir accéder au spectre en question. Comme dans

le cas des liaisons terrestres sous licence, on a recours à diverses approches pour calculer les droits d'utilisation du spectre.

Le Brésil et l'Afrique du Sud appliquent les mêmes formules que pour les liaisons terrestres, à quelques différences près. Le Brésil ajoute un facteur correspondant à la population couverte, et l'Afrique du Sud prend en compte la surface couverte au lieu de la distance du bond. Cette formule est utilisée pour l'intégralité du spectre, indépendamment de la région. Dès lors, un opérateur local (Afrique du Sud) ou régional (Brésil) est soumis au même régime qu'un opérateur national.

L'Inde a également recours à la même formule que pour le point à point, c'est-à-dire une fraction du revenu de l'opérateur dans une zone desservie donnée. Toutefois, la licence Access Service (ou Unified License) est le seul type de licence qui peut convenir actuellement à un prestataire de services mobiles de voix, mais ces licences ne visent que les opérateurs à grande échelle (par exemple, l'investissement de capitaux minimal doit

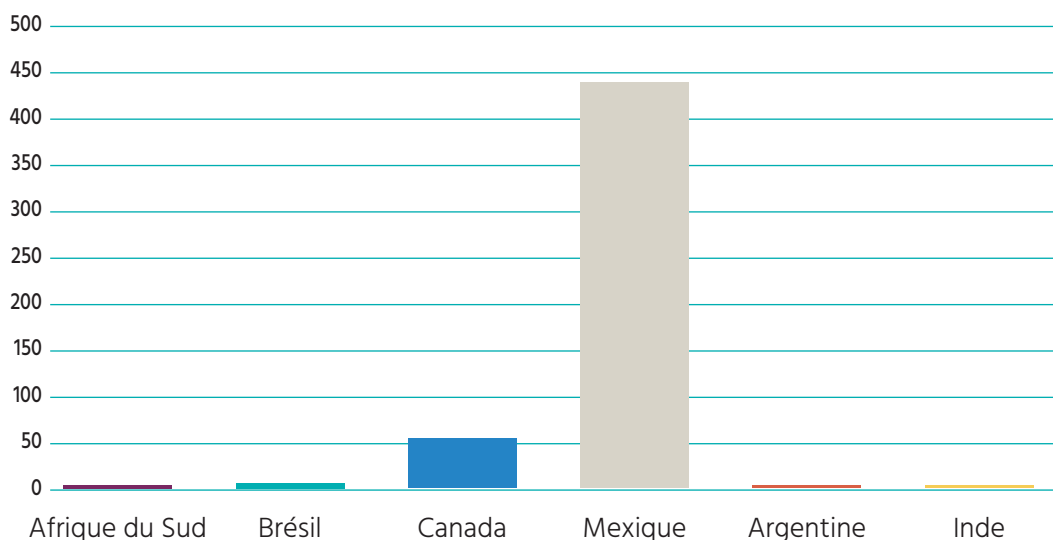
être de 2,2 M\$)¹⁶⁷ En raison des exigences prévues dans cette catégorie de licence et des montants encore plus élevés de la Unified License, les réseaux mobiles à petite échelle ne peuvent être considérés comme une option adéquate pour les réseaux communautaires d'Inde, et ne sont donc pas abordés plus avant dans cette section.

Pour ses services mobiles, l'Argentine a recours à une formule similaire basée sur les revenus. Au Mexique, il existe une formule qui inclut un facteur régional selon la bande utilisée et la taille des fréquences affectées. Le Canada prend en compte un facteur par fréquence utilisée pour la communication mobile, corrigé selon le type de population (métropolitaine ou non), auquel s'ajoutent des redevances pour chaque station de base de services mobiles.

Pour comparer les effets de ces approches sur les petits opérateurs et les réseaux communautaires, prenons l'exemple suivant : une tranche de 1,4 MHz¹⁶⁸ de la bande de 900 MHz pour couvrir une communauté rurale de 2 000 utilisateurs potentiels occupant une zone de 20 km².¹⁶⁹

Figure 6 - Comparaison des droits d'utilisation du spectre pour les réseaux mobiles

DROITS D'UTILISATION DU SPECTRE / AN (USD)



Comme le montrent les chiffres de l'Afrique du Sud (presque sept fois moins cher que le Brésil, 100 fois moins cher que le Canada et 800 fois moins cher que le Mexique), plus les facteurs sont détaillés et précis, plus les prix sont bas pour l'utilisateur. Notons que cette formule est la même qui est utilisée pour calculer les droits d'utilisation de spectre payés par les grands opérateurs de réseau mobile.

Les calculs établis à partir de données de recherches récentes,¹⁷⁰ combinés aux tarifications proposées par les fournisseurs en amont de VoIP existants, indiquent qu'il serait possible pour une communauté de diminuer ses coûts de moitié grâce à cette approche. D'autre part, cette approche détaillée permet la réutilisation de fréquences similaires dans des communautés de la même région, ce qui optimise la valeur sociale d'une ressource qui a été attribuée mais qui reste inutilisée. Malgré tout, comme le souligne le rapport de l'UIT, ces frais ne sont pas assez

importants pour encourager l'utilisation efficace du spectre, ainsi que le prouve le manque d'utilisation de la bande de 1800 MHz dans les zones rurales, mentionné en section 5.4.2.

Dans certains cas au Mexique, il est possible d'être exempté de certains frais, notamment dans le cas des établissements médicaux, des œuvres de bienfaisance et des organisations qui luttent pour la prévention des accidents et des catastrophes et qui sont exonérés d'impôts.¹⁷¹ Récemment, Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias (TIC) a été facturée pour ces frais,¹⁷² et a fait la demande d'en être exemptée auprès de l'IFT, du fait d'être exonérée d'impôts et de contribuer à la prévention des accidents et des catastrophes. Cette demande a d'abord été refusée, mais TIC a fait appel aux tribunaux qui ont ordonné à l'IFT de réexaminer la situation. Finalement, TIC est désormais exonérée de ces frais étant donné qu'elle est autorisée à recevoir des dons déductibles d'impôts.¹⁷³

5.6 Les innovations en matière de gestion du spectre en dehors du cadre réglementaire

Les innovations dans la gestion du spectre ne doivent pas forcément toutes émaner des pouvoirs publics et des organismes chargés de la législation et des réglementations. Comme le démontrent les deux exemples suivants, les utilisateurs de spectre peuvent établir leurs propres règlements pour optimiser l'utilisation et les avantages socio-économiques du spectre radio.

Les associations professionnelles

Aux États-Unis, les FAI sans fil sont représentés par la WISPA, une organisation de défense autorisée, qui aide plus de 800 organisations membres comprenant entre autres des FAI sans fil, des FAI municipaux et des FAI coopératifs. Tous ensemble, ils connectent plus de 3 millions d'utilisateurs aux États-Unis et constituent souvent le seul fournisseur dans les zones rurales. La WISPA représente et défend ses organisations membres auprès de l'organisme de réglementation, notamment sur la question de l'accès au spectre des petits opérateurs.

En Afrique du Sud, en 2006, la majorité des FAI sans fil se sont regroupés pour former la WAPA (Wireless Access service Providers Association),¹⁷⁴ une association industrielle qui compte aujourd'hui plus de 200 membres et dessert 164 000 utilisateurs, selon sa dernière enquête. Cette plateforme leur permet d'échanger des informations, de coordonner les déploiements pour éviter les interférences et de partager l'infrastructure. Une grande partie des frais reçus est consacrée au conseil légal et réglementaire, ce qui leur permet de rester à la page des changements réglementaires dans le pays et de contribuer de façon cohérente aux consultations publiques organisées par le gouvernement sud-africain et l'organisme de réglementation. En retour, cette protection collective a permis d'inclure dans les politiques et le cadre réglementaire des dispositions facilitant leur travail, comme une concession plus élevée de la PIRE pour les liaisons point à point de la bande 5,8 GHz ainsi que des règlements régissant les TVWS. De plus, leur conseiller réglementaire tient à jour une plateforme clairement structurée des réglementations

qui s'appliquent aux différentes activités des FAI sans fil,¹⁷⁵ plate-forme qui serait apparemment consultée par l'organisme de réglementation lui-même.

Parmi les pays étudiés, une telle plate-forme aurait été extrêmement utile étant donné l'abondance de règlements interconnectés qui se rapportent à la prestation de services sans fil, entre lesquels il n'est pas évident d'établir les liens. Les sites Web des organismes de réglementation ont encore largement matière à s'améliorer, notamment en ce qui concerne la communication des politiques et des réglementations du sans fil destinées aux petits opérateurs.

L'infrastructure des télécommunications appartenant aux biens communs

Une autre innovation inductive de gestion du spectre vient de la gestion de l'infrastructure des télécommunications comme d'un bassin de ressources communes, grâce à l'adaptation des travaux de la lauréate du Prix Nobel Elinor Ostrom sur la gestion collective des ressources naturelles, déjà évoquée à la section 2.3. Ce modèle considère l'infrastructure des liaisons terrestres à laquelle les différents participants ont contribué comme une ressource commune (telle une forêt). Si on prend bien soin de cette ressource, elle peut en retour fournir la connectivité dont tous les participants ont besoin. Pour que cela fonctionne, il faut

établir des mécanismes clairs pour reconnaître et dédommager les investissements des participants, ainsi que des lignes directrices claires pour la résolution de conflits. Cela permet non seulement une meilleure efficacité de la gestion du spectre à disposition des petits opérateurs et des réseaux communautaires, mais crée aussi une économie d'échelle permettant la réduction des coûts pour l'utilisateur final. De bien des manières, ce modèle constitue un bon cadre pour gérer les WOAN définis plus haut.

Même si de nombreux réseaux communautaires ont recours à ce modèle, l'exemple le plus notable de cette mise en œuvre est [guifi.net](#),¹⁷⁶ auquel plus de 20 petits opérateurs ont contribué à hauteur de 7,3 millions d'euros pour créer un bassin de ressources communes qui dessert plus de 100 000 utilisateurs dans la région de la Catalogne en Espagne.

Vu les avantages de ce modèle, les gouvernements qui allouent des ressources grâce à des fonds d'accès universels dans le but de fournir une connectivité abordable dans des régions peu profitables aux opérateurs traditionnels, devraient envisager un modèle économique dans lequel toute l'infrastructure déployée à l'aide de fonds publics serait gérée comme un bassin de ressources communes, facilitant la contribution d'autres participants et l'agrandissement de la ressource.

5.7 L'octroi de licence

Dans la plupart des pays, une licence d'opérateur constitue un pré-requis avant de pouvoir exploiter un équipement de spectre radio, que ce spectre soit exempt de licence ou non. Les conséquences de ceci divergent d'un pays à l'autre et dépendent du service à fournir et de la zone à couvrir. Par exemple, en Inde, pour pouvoir prétendre à fournir

des services de VoIP interconnectés au Public Switched Telephone Network (PSTN), il faut d'abord obtenir soit une licence Access Service, soit une Unified License. Le tableau ci-dessous récapitule les coûts relatifs aux licences pour les opérateurs dans les plus petites zones autorisées par la réglementation.

Tableau 3 - Coût d'une licence d'exploitation pour la plus petite zone autorisée par la réglementation dans chacun des pays étudiés

	MEXIQUE ¹⁷⁷	AFRIQUE DU SUD ¹⁷⁸	BRÉSIL ¹⁷⁹	ARGENTINE ¹⁸⁰	ÉTATS-UNIS	INDE ¹⁸¹	CANADA
Droits ¹⁸² (USD/an)	1 482	1 848	108	764	S. O.	1 350	S. O.



En outre, d'autres redevances annuelles peuvent être demandées, comme les cotisations au Universal Service Access Fund (Fonds d'accès au service universel), ou au fonds de soutien de la radiodiffusion publique dans le cas du Brésil.¹⁸³

Il existe d'autres redevances à payer selon les pays. En Inde, l'opérateur doit payer des droits pour chaque site élevé où il construit une tour. Au Brésil, tous les équipements utilisés dans le réseau, y compris les combinés, donnent lieu à des redevances.¹⁸⁴ Cela peut s'avérer très onéreux. Par exemple, les redevances prélevées pour 3 stations de base et 60 combinés sont plus élevées que les droits de licence de spectre annuels pour exploiter cette bande.¹⁸⁵

Ces redevances peuvent jouer le rôle des frais d'administration du spectre recommandés par l'UIT. Dans ses lignes directrices, l'UIT conseille d'établir ces redevances de manière transparente et de façon à recouvrer les coûts. Malgré cette recommandation, très peu de pays publient ces redevances. Dans l'Union européenne, la publication de ces redevances est imposée par une directive¹⁸⁶ et cela fournit une indication des coûts de gestion des différents services, comme le montre le tableau d'OFCOM ci-dessous.

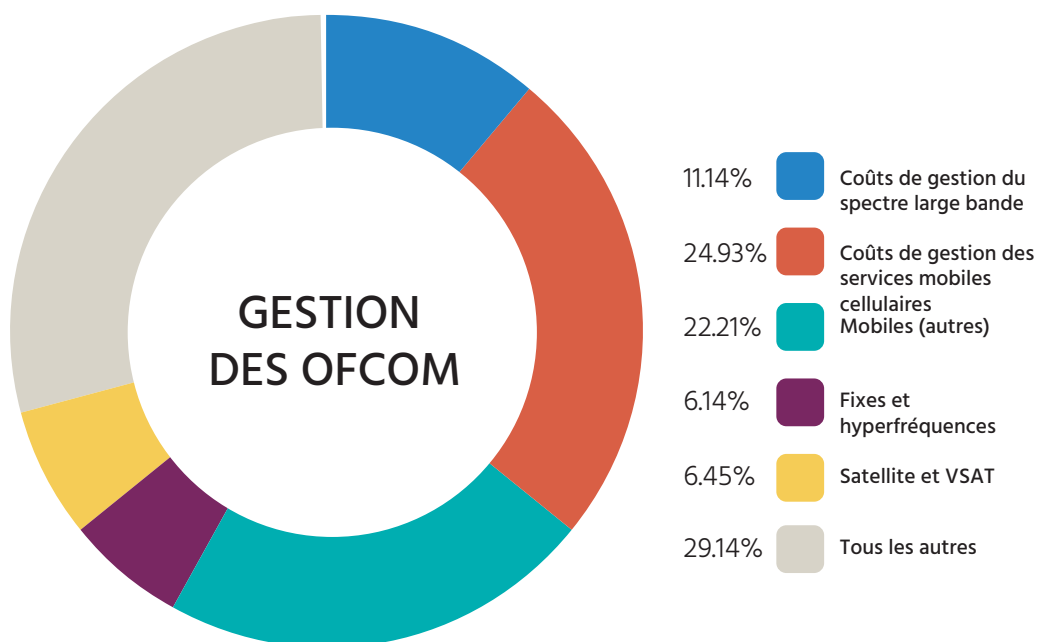
Au sein des pays étudiés, il est difficile de remettre en question l'appropriation des frais administratifs, comme aucune référence n'est faite à ces coûts. Il est important de noter que dans certains pays comme l'Afrique du Sud et le Mexique, il existe des exemptions pour les opérateurs qui agissent sans but lucratif. Au Brésil, les opérateurs sont exonérés s'ils ont moins de 5 000 abonnés et utilisent des fréquences mentionnées dans la réglementation sur les équipements utilisant un rayonnement restreint. Grâce à une résolution adoptée récemment en Argentine, les réseaux

communautaires sont exonérés de droits de licence du moment qu'ils n'opèrent que dans des villages de moins de 5 000 habitants.¹⁸⁷

En plus des coûts relatifs à l'octroi de licence, la demande de licence (et son maintien) peut s'avérer également très chère. Par exemple, au Brésil et en Argentine, il est obligatoire de fournir un modèle économique et un plan technique signé par un ingénieur habilité par une association professionnelle. Cette exigence se fonde sur l'idée bien ancrée chez les organismes chargés de la législation et des réglementations que seuls des professionnels hautement qualifiés sont capables de fournir des services de qualité suffisante à un prix abordable. Cette fausse idée s'est peut-être répandue à cause d'un manque de connaissance des autres solutions existantes, mais également en raison de la difficulté pour les populations rurales de se faire entendre et d'exprimer leurs difficultés quant à la médiocrité du service fourni par les opérateurs nationaux chez elles. Par ailleurs, les exigences de conservation des données et d'établissement de rapports réguliers représenteraient un coût trop élevé pour les petits opérateurs.

L'exploration des effets de l'octroi de licence ne rentre pas dans la portée de cet article, mais ces frais et ce fardeau administratif comptent pour beaucoup dans les coûts globaux de chaque entité, surtout en ce qui concerne les réseaux communautaires. Cela devient un obstacle pour entrer sur le marché quand ces dépenses doivent être faites en avance et qu'elles ne sont pas proportionnelles à la taille ou aux revenus. L'Internet Society a récemment publié un article sur le sujet.¹⁸⁸ Un suivi plus en profondeur aiderait à identifier les implications de ces facteurs et à faire davantage de lumière sur les répercussions sur la faisabilité économique de ces modèles.

Figure 7 - Coûts de gestion des différents services sans fil selon OFCOM



Transparence, données ouvertes et spectre



À MESURE QUE LA VALEUR DE L'ACCÈS À UNE INFRASTRUCTURE DE COMMUNICATION AUGMENTE, CELLES ET CEUX QUI N'EN BÉNÉFICIENT PAS SONT DE PLUS EN PLUS LAISSÉS POUR COMPTE. Afin de veiller à ce que tout le monde ait un accès à des services de communication, il est nécessaire d'améliorer la transparence dans le secteur des télécommunications pour mieux comprendre qui sont les personnes non connectées et quels moyens existent pour pallier ce manque de connectivité. L'adoption de politiques et d'approches de données ouvertes permet d'assurer qu'un débat plus constructif sur l'accès ait lieu au sein des organisations de société civile, de la communauté technique d'Internet au sens large, du gouvernement et de l'industrie.

Le premier pas est simple et consisterait à normaliser la transparence en ce qui concerne l'attribution des fréquences de spectre. Il n'est pas possible de tenir un débat public sur les innovations dans la gestion du spectre sans comprendre d'abord clairement les affectations actuelles et les modalités qui y affèrent. L'organisme de réglementation du Royaume-Uni, OFCOM, représente un exemple à suivre à cet égard,¹⁸⁹ tout comme celui du Mexique, IFETEL.¹⁹⁰

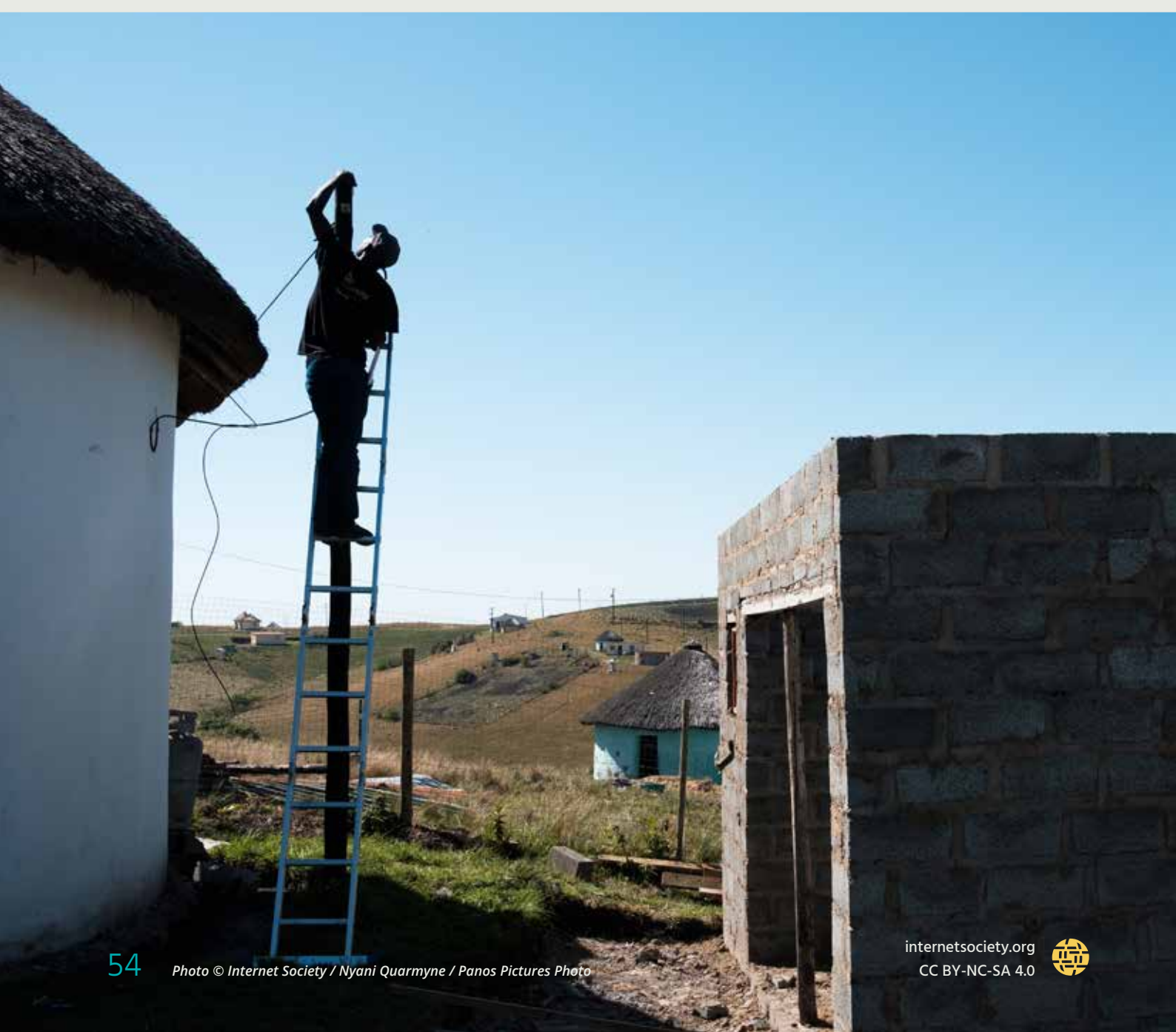
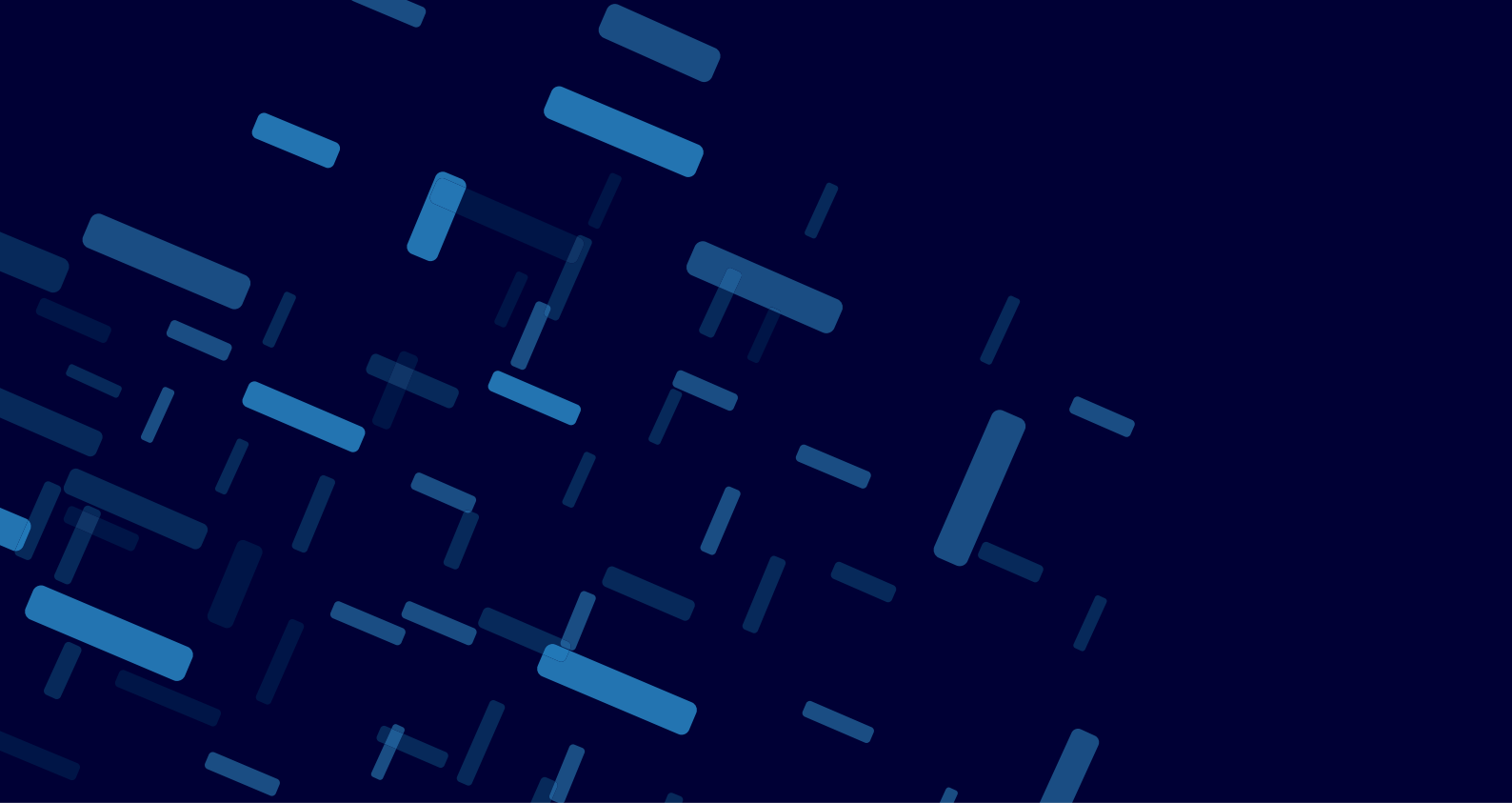
Un autre pas vers la transparence consiste à informer le public en ce qui concerne les tours de réseaux et leur occupation. L'accès à prix abordable pour toute la population étant devenu une priorité stratégique de plus en plus importante, comprendre rigoureusement les limites de la couverture existante est désormais essentiel. Les cartes indiquant les zones couvertes par les opérateurs de réseau sont des outils utiles, mais il faut établir un mécanisme pour vérifier celles-ci de façon indépendante. Pour ce faire, l'accès public aux informations comme l'emplacement des tours et leur occupation représente la solution la plus simple. Tout comme pour les affectations de spectre, il existe aussi déjà des bons exemples à suivre. L'organisme de réglementation canadien, ISDE, met à disposition une base de données téléchargeable¹⁹¹ de toutes les tours et de leurs radios associées. Un très bel exemple de l'utilité des données ouvertes est celui de Steven Nikkel, qui a converti ces données pour en faire une carte visuelle facile à utiliser.¹⁹² En Inde, l'opérateur Airtel a publié une carte¹⁹³ de l'intégralité de son réseau de tours sous le slogan « Because you have a lot

to say. And we have nothing to hide.» (Parce que vous avez beaucoup à dire et que nous n'avons rien à cacher.)

La transparence dans le déploiement de l'infrastructure de la fibre optique est également importante. Les points de présence de la fibre optique sont les «ports en eau profonde» d'Internet, dans le sens où ils permettent une connexion Internet mondiale à capacité très élevée et à latence très faible. L'accès des liaisons terrestres à la fibre est souvent primordial pour profiter pleinement des innovations en gestion du spectre qu'on a abordées dans cet article. Pourtant, les opérateurs publient rarement des cartes des réseaux de fibre détaillées. Malgré quelques exceptions, les pouvoirs publics et les organismes de réglementation ne montrent pas d'entrain à encourager la transparence dans ce domaine. Un bon exemple à suivre de ce côté-ci est celui de l'opérateur Dark Fibre Africa en Afrique du Sud, qui a publié une carte détaillée¹⁹⁴ de son réseau de fibre depuis sa formation il y a plus de dix ans.







Conclusion et recommandations

7

DANS LES 25 DERNIÈRES ANNÉES, LES TÉLÉCOMMUNICATIONS SE SONT MÉTAMORPHOSÉES POUR PASSER D'UN MONOLITHE DOMINÉ PAR DES OPÉRATEURS PUBLICS À UN ÉCOSYSTÈME COMPLEXE D'OPÉRATEURS, DE TECHNOLOGIES, DE FABRICANTS ET DE PRESTATAIRES DE SERVICES. Ce nouvel environnement a ouvert la porte aux réseaux communautaires et aux petits opérateurs, disposés à remplir les vides que les grands opérateurs sont peu enclins à remplir. La réglementation, qui fonctionnait bien dans les marchés prévisibles et peu changeants, n'est plus capable de suivre le rythme du changement technologique et ne parvient généralement pas à reconnaître le potentiel des organisations plus petites et plus agiles qui pourraient solutionner le défi de l'accès grâce à de nouvelles technologies et à de nouveaux modèles économiques. Les preuves que les modèles économiques existants ne parviendront pas à procurer un accès abordable pour tous s'accumulent. Pour atteindre cet objectif, il nous faut faire preuve d'innovation.

Nous recommandons aux organismes de réglementation de comparer leur rôle à celui d'un garde forestier ou d'un jardinier, qui cherchent à prévenir les mauvais comportements tout en poussant les bons à fleurir. Le Wi-Fi est un excellent exemple de réussite exceptionnelle qui a pu être semée puis cultivée grâce à une bonne réglementation, tandis que les effets des frais excessifs à travers les enchères sont comparables à une coupe rase qui ne produirait aucun bénéfice à long terme. Ci-dessous, nous énonçons des recommandations sur cette stratégie et sur d'autres, qui devraient permettre de récolter des résultats positifs.



7.1 Le spectre exempt de licence

La progression rapide de l'utilisation de spectre exempt de licence sous la forme du Wi-Fi est une leçon importante sur le pouvoir que peut avoir une innovation sans friction et sur la demande accumulée pour un accès à Internet

abordable. Il serait logique pour les organismes de réglementation de tirer parti de ce succès en élargissant l'accès au spectre exempt de licence et en réduisant les coûts liés à son utilisation.

RECOMMANDATION

BONNE PRATIQUE

Reconnaître officiellement que le Wi-Fi a deux objectifs majeurs mais distincts. La plupart des gens expérimentent le Wi-Fi comme un point d'accès grâce auquel ils peuvent se connecter avec l'appareil de leur choix; cependant, le Wi-Fi est aussi clairement devenu une technologie qui permet de créer des liaisons point à point ou point-multipoint large bande et longue distance. Ces cas d'utilisation distincts pourraient tirer profit d'une approche réglementaire plus détaillée qui reconnaîtrait le besoin de niveaux de puissances de sortie plus élevés pour les liaisons point à point. Cela amplifierait les effets d'une technologie d'accès déjà puissante.

Canada

Revoir les niveaux de puissance de sortie pour le Wi-Fi. Les niveaux de puissance de sortie autorisés pour le Wi-Fi varient considérablement d'un pays à l'autre. De nombreux pays en développement imposent des limites plus contraignantes que nécessaire. Il est possible d'harmoniser la réglementation sur les niveaux de puissance de sortie du Wi-Fi, ce qui stimulerait le potentiel de cette technologie et permettrait de connecter les populations non connectées.

États-Unis

Étendre l'exemption de licence à de nouvelles bandes de fréquences. Le succès du Wi-Fi laisse entendre qu'il faudrait ouvrir davantage de portions du spectre à l'utilisation sans licence. Les efforts actuels pour ouvrir la bande de 6 GHz à une utilisation exempte de licence sont très prometteurs.

États-Unis (en cours)

Envisager l'utilisation sans licence de bandes de fréquences plus élevées pour les liaisons terrestres point à point. Il faudrait examiner le potentiel d'autres bandes de fréquences pour les liaisons terrestres comme celles de 24 GHz et 60 GHz. Elles permettraient d'offrir aux réseaux communautaires et aux petits opérateurs une infrastructure sans fil à capacité élevée et à faible coût. Étant donné leur faible capacité à interférer avec d'autres liaisons, on pourrait envisager d'étendre les limites maximales de puissance et de réduire les obstacles qui entravent leur utilisation.

États-Unis (en cours)

7.2 Allègement des licences pour le spectre de liaisons terrestres

Grâce à la réduction des interférences des antennes conçues pour les liaisons point à point et capables de canaliser les communications sans fil sur des faisceaux très étroits, des organismes de réglementation ont étendu l'utilisation de certaines bandes, traditionnellement affectées aux services satellites, désormais aux liaisons terrestres point à point. Par ailleurs, la technologie des hyperfréquences à bas coût, inventée par les fabricants des équipements de Wi-Fi, peut être utilisée sur presque toutes les bandes de fréquences.

Les organismes de réglementation devraient prendre en considération la disponibilité des solutions hyperfréquences à bas coût sur le marché et adapter les réglementations pour encourager leur utilisation. Cela pourrait prendre la forme d'un allègement des licences comme le font les États-Unis et la Nouvelle-Zélande, pour permettre une attribution coopérative des affectations de fréquences géolocalisées.

RECOMMANDATION

BONNE PRATIQUE

Étendre l'utilisation de la bande de 11GHz et d'autres fréquences pour les liaisons terrestres point à point.

États-Unis, Nouvelle-Zélande

Revoir et réduire les droits de licence de spectre pour les liaisons terrestres point à point afin de veiller à ce qu'ils soient à des niveaux adéquats aux technologies et aux solutions mises en œuvre. Augmenter le niveau de détail des réglementations en reconnaissant la zone géographique et la probabilité des interférences comme facteurs.

Afrique du Sud



Explorer des mesures d'incitation administratives qui imposeraient des frais pour toute portion de spectre sous licence non utilisée, ce qui encouragerait les détenteurs de licence à renoncer au spectre qu'ils n'utilisent pas. **Afrique du Sud, Royaume-Uni**

Envisager de revenir sur les licences d'utilisation exclusive pour les bandes comme celle de 11 GHz, afin de permettre une utilisation plus large et plus équitable de la technologie.

7.3 Le spectre dynamique

L'augmentation des prix du spectre sous licence et à usage exclusif, en particulier par l'intermédiaire des ventes aux enchères, est à l'opposé du principe du spectre exempt de licence, disponible gratuitement. Grâce au spectre dynamique, on a l'occasion d'établir un terrain d'entente entre les deux approches. Bien que la réglementation concernant les espaces blancs de télévision

(TVWS) ait été mise en œuvre aux États-Unis, au Royaume-Uni, à Singapour et dans quelques autres pays, le véritable potentiel de ces espaces blancs reste encore à développer : ils pourraient faire l'objet d'une technologie d'accès à prix abordable dans les pays en développement où le spectre UHF est largement inoccupé. L'Afrique du Sud est pionnière dans ce domaine.

RECOMMANDATION

BONNE PRATIQUE

Accélérer l'adoption de la réglementation concernant les TVWS et faire la promotion d'une réglementation normalisée, tout en reflétant les besoins et les priorités des pays en développement.

Mozambique, Afrique du Sud, Royaume-Uni, États-Unis

Explorer la possibilité d'appliquer des approches de gestion dynamique du spectre à d'autres bandes de fréquences comme le font les États-Unis avec le CBRS dans la bande de 3,5 GHz.

États-Unis

Envisager d'adopter une gestion dynamique du spectre pour une nouvelle bande de fréquences comme celle de 3,7 à 4,2 GHz ou d'autres.

Royaume-Uni ?

Envisager des approches régionales pour les services de base de données géolocalisées.

7.4 Le spectre pour les services de réseau mobile

Tandis que la demande de spectre surpasse souvent sa disponibilité administrative dans les zones urbaines, de grandes parties du spectre sous licence restent inutilisées dans les régions pauvres et peu peuplées. Ces dernières années, on a vu l'apparition de plusieurs fabricants d'équipements

de 2G et de 4G à bas coût, qui offrent la possibilité de changer drastiquement le modèle de prix et de déployer des réseaux mobiles ruraux durables. Les opérateurs en place ne sont généralement pas encouragés à déployer ces nouvelles technologies.

RECOMMANDATION

BONNE PRATIQUE

Mettre de côté des petites portions de spectre de GSM et LTE pour les organisations fournissant une connectivité à faible coût dans les zones sous-desservies.

Mexique

Dans les pays où tout le spectre a été attribué mais où il n'est pas occupé dans les zones considérées comme non rentables, explorer des façons innovantes de rendre ce spectre accessible aux réseaux communautaires et aux petits opérateurs.

Établir des redevances relatives au spectre pour encourager une utilisation plus efficace du spectre et définir une approche plus localisée du recours à ces frais, permettant ainsi l'arrivée de nouveaux acteurs dans les zones jugées non rentables pour les opérateurs.

Royaume-Uni

Avec l'arrivée de la 5G, il est important que les organismes de réglementation s'assurent que les avantages du spectre exempt de licence ne s'estompent pas, et envisagent des « cas spéciaux » pour les petits opérateurs et les réseaux communautaires.

Envisager de réaliser une étude économique pour comprendre le coût du spectre inutilisé.

7.5 Méthodes d'affectation du spectre par des services de gros

Attribuer le spectre équitablement tout en continuant de servir au mieux les intérêts stratégiques nationaux reste un défi. Les enchères de spectre se sont avérées difficiles à réaliser de façon pleinement satisfaisante. Les montants élevés des enchères sont peut-être une aubaine pour les finances du pays, mais il a été démontré que les résultats de cette démarche étaient une augmentation des prix pour la clientèle et une perte de bien-être chez celle-ci en raison d'un déploiement de réseau réduit. Les réseaux de services de gros et les bassins de ressources

communes, qui établissent une infrastructure de réseau partagée utilisable par tous les opérateurs pour fournir leurs services, pourraient s'avérer être une bonne solution de remplacement du système d'enchères. Il est encore trop tôt pour tirer des conclusions puisque peu d'exemples existent encore et que ceux qui existent sont trop jeunes pour être évalués. Cela dit, les modèles de services de gros sont ordinaires dans le cas de l'infrastructure de la fibre, ce qui suggère qu'il s'agit d'un bon potentiel à explorer.

RECOMMANDATION

BONNE PRATIQUE

Faire l'expérience de diverses stratégies de réseaux de services de gros par l'intermédiaire de projets pilotes limités (limite géographique ou limite de fréquences). Renforcer les projets qui réussissent et interrompre ceux qui ne s'avèrent pas concluants.

7.6 Transparence et données ouvertes

Les politiques et les réglementations en matière de spectre restent traditionnellement du domaine des ingénieurs, économistes et spécialistes du droit dans le secteur des télécommunications. Cependant, le spectre devenant une ressource de plus en plus cruciale pour obtenir un accès à prix abordable, il devient de plus en plus important de tenir un débat plus inclusif. Les recommandations au sujet des réglementations régissant le spectre sont généralement dominées par les grands opérateurs de réseaux ou les grands fabricants d'équipement. Évidemment, il est essentiel d'avoir le point de vue de l'industrie, mais on passe à côté des avis d'autres acteurs importants

qui représentent le grand public, comme la société civile. Les organismes de réglementation peuvent créer davantage d'opportunités pour engager la société civile par l'intermédiaire d'une transparence et d'une communication accrues. Le manque de participation de la société civile dans les processus qui façonnent le secteur des télécommunications peut s'expliquer, dans de nombreux cas, par le manque d'informations essentielles mises à sa disposition. Les auteurs de ce rapport ont fait face à de nombreux obstacles pour réussir à accéder à des informations de base sur les affectations de fréquences de spectre, les frais et les réglementations en général.

RECOMMANDATION

BONNE PRATIQUE

Veiller à ce que toutes les affectations de spectre et les réglementations soient disponibles publiquement en ligne, sous une forme à la fois accessible et compréhensible.

Royaume-Uni

Travailler à promouvoir les normes de partage d'informations qui faciliteront la comparaison des réglementations d'un pays à l'autre et rendront possible une discussion sur l'harmonisation.



7.7 Renforcement des capacités et collaborations

À mesure que les preuves s'accumulent sur les impacts d'être non connecté, les organismes de réglementation dans le monde entier montrent de plus en plus d'intérêt à se familiariser avec ces approches innovantes de gestion du spectre et les façons de les mettre en œuvre. L'Internet Society, l'Association pour le progrès des communications et la Mozilla Foundation, ainsi que d'autres associations de l'industrie, sont disposées à fournir leur soutien dans différents domaines pour faire de ces objectifs une réalité, en :

- offrant des formations aux organismes chargés de la législation et des réglementations aux niveaux national et régional pour les aider à s'adapter à cette nouvelle réalité;
- collaborant avec les organismes chargés de la législation et des réglementations pour étudier les répercussions des mises en œuvre de ces innovations dans leurs cadres réglementaires respectifs;
- analysant d'autres facteurs susceptibles d'influencer l'utilisation de ces innovations par les petits opérateurs et les réseaux communautaires, comme créer un régime d'octroi de licence où on prend en compte les licences pour « utilisation sociale », entre autres;
- élaborant des lignes directrices pour des sites Web modèles, où l'information est clairement

organisée et disponible à la consultation et à l'analyse d'un grand nombre de parties concernées;

- étudiant les effets de tous les réseaux déployés à l'aide de fonds publics et en adoptant un modèle de bassin de ressources communes;
- explorant des moyens de recourir aux fonds de services universels et aux droits de licence de spectre dans le but de soutenir des initiatives qui vont dans ces directions, en étudiant et en collectant des données, et en mettant en œuvre ces solutions.



Remerciements



Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leurs précieux avis et commentaires sur les versions préliminaires de cet article. Sans elles, la version finale ne serait pas ce qu'elle est : Rodrigo Huerta, Peter Bloom, Dominic Cull, Rolf Blom, Brenda Vilas Boas, Aldebaro Klautau, Lauro Brito, Rob McMahon, Onna Castro, Marcelo Saldanha, Jane Coffin, Erick Huerta, Ali Akbari, Christian O'Flaherty, Nico Pace, Nico Echaniz, Juan Matías Cattaneo, Danilo Lujambio, (Airjaldi), Brian Beaton, Rafael Diniz, Leandro Navarro, Ramon Roca, Alan Norman, Noelle Francesca de Guzman, Lee McKnight, Vasilis Chryssos, George Klissiaris, Benson Olobo, A. Paventhan, Jon Brewer, Jochai Ben-Avie, et encore bien d'autres personnes des communautés de l'ISOC et de Mozilla.



Tableaux

9

Puissance de sortie réglementée dans les bandes utilisées par la technologie Wi-Fi dans les pays étudiés

	2400 – 2483.5 MHZ	5150 – 5250 MHZ	5250 – 5350 MHZ	5470 – 5600 MHZ	5600 – 5650 MHZ	5650 – 5725 MHZ	5725 – 5850 MHZ							
	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	
Mexique	33 dBm en point à point	27 dBm en point à point, 24 dBm en point-multipoint	23 dBm	17 dBm	30 dBm	24 dBm	30 dBm	24 dBm			30 dBm	24 dBm	36 dBm	30 dBm
30 dBm en point-multipoint	27 dBm en point à point, 24 dBm en point-multipoint	23 dBm	17 dBm	30 dBm	24 dBm	30 dBm	24 dBm			30 dBm	24 dBm	36 dBm	30 dBm	30 dBm
Afrique du Sud	20 dBm		23 dBm		20 dBm		30 dBm				30 dBm		36 dBm (point à point 53 dBm)	30 dBm
Brésil	36 dBm	30 dBm	23 dBm		23 dBm		30 dBm	24 dBm			30 dBm	24 dBm	36 dBm	30 dBm
Argentine	36 dBm	30 dBm	23 dBm	17 dBm	36 dBm	30 dBm	36 dBm	30 dBm			36 dBm	30 dBm	36 dBm	30 dBm
(53 dBm pour liaison point à point jusqu'à 5,825 GHz)	30 dBm	30 dBm	20 dBm		20 dBm								20 dBm et 36 dBm (5,825 à 5,875 GHz)	30 dBm (5,825 à 5,875 GHz)
États-Unis	36 dBm en point-multipoint. En point à point 1 dBm de moins en TXPWR pour chaque 3 dBi de plus en gain d'antenne de plus de 6 dBm	30 dBm	36 dBm en point-multipoint et 53 en point à point	30 dBm	24 dBm	30 dBm	24 dBm	30 dBm	24 dBm	30 dBm	24 dBm	36 dBm en point-multipoint et aucune limite dans le gain d'antenne en point à point	30 dBm	

Puissance de sortie réglementée dans les bandes utilisées par la technologie d'ondes millimétriques dans les pays étudiés

	24,05 – 24,25 GHz		57 - 64 GHz (bande V)		64 - 71 GHz (bande V)		71 – 76 GHz (bande E)		81 - 86 GHz (bande E)	
	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR	PIRE	TXPWR
Mexique			82 dBm (si gain d'antenne inférieur à 51 dBi, 2 dBm de TXPWR de moins pour chaque dBi en dessous)				85 dBm	35 dBm	85 dBm	35 dBm
Afrique du Sud			55 dBm (40 dBm jusqu'à 66 GHz)	10 dBm						
Brésil							85 dBm		85 dBm ⁹⁵	
Argentine			40 dBm							
États-Unis	Gain d'antenne d'au moins 33 dBi	0 dBm	82 dBm (si gain d'antenne inférieur à 51 dBi, 2 dBm de TXPWR de moins pour chaque dBi en dessous)		82 dBm (si gain d'antenne inférieur à 51dBi, 2 dBm de TXPWR de moins pour chaque dBi en dessous)		55 dBm ⁹⁶	35 dBm	55 dBm	35 dBm
Inde										
Canada	Gain d'antenne d'au moins 33 dBi	0 dBm	82 dBm (si gain d'antenne inférieur à 51 dBi, 2 dBm de TXPWR de moins pour chaque dBi en dessous) ⁹⁷	27 dBm						

Les post-scriptum

- 1 Mozumder, P, Marathe, A. Role of information and communication networks in malaria survival. *Malaria Journal*. 10 octobre 2007. <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2875-6-136>
- 2 Connecting The Unconnected: Working together to achieve Connect 2020 Agenda Targets. A background paper to the special session of the Broadband Commission and the World Economic Forum at Davos Annual Meeting 2017 http://broadband-commission.org/Documents/ITU_discussion-paper_Davos2017.pdf
- 3 GSMA. State of Mobile Internet Connectivity 2018. 3 septembre 2018. <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/programme/connected-society/state-of-mobile-internet-connectivity-2018/>
- 4 *ibid.*
- 5 <https://www.gsmaintelligence.com/research/2018/02/unique-subscribers-and-mobile-internet-users-understanding-the-new-growth-story/653/>
- 6 Mary Meeker. Internet Trends 2018. Mai 2018. <https://www.slideshare.net/kleinerperkins/internet-trends-report-2018-99574140>
- 7 GSMA Intelligence. What's Driving the Mobile Industry? Septembre 2018. <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=8535289e1005e-b248a54069d82ceb824&download>
- 8 Recommandation UIT-D 19. Rapport final CMDT-17. https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/WTDC/WTDC17/Documents/WTDC17_final_report_fr.pdf
- 9 Les ressources sont disponibles sur <https://www.internetsociety.org/fr/issues/reseaux-communautaires/>
- 10 Argentine, Brésil, Canada, Inde, Mexique, Afrique du Sud et États-Unis d'Amérique
- 11 L'évolution constante du langage et des acronymes relatifs à la gestion du spectre pose des difficultés aux gens du métier, sans parler des non-spécialistes.
- 12 Pour voir un exemple, vous pouvez consulter une carte détaillée des affectations de fréquences aux États-Unis sur https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/january_2016_spectrum_wall_chart.pdf
- 13 Shannon Bound. Arimas. 17 octobre 2016. <https://www.laroccasolutions.com/shannon-bound/>
- 14 Spectral Efficiency <http://www.cablefax.com/archives/spectral-efficiency> Ron Hranac CableFax. 1er octobre 2012. Consulté le 24 juin 2018.
- 15 Ronald H. Coase, "The Federal Communications Commission," 2 *Journal of Law and Economics* 1 (1959).
- 16 Le spectre en forte demande fait référence au spectre pour lequel la demande du marché dépasse la disponibilité administrative actuelle du spectre. Il s'agit typiquement des bandes de spectre utilisées pour la communication mobile.
- 17 Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press
- 18 Article Wikipédia « Tragedy of the Commons » https://en.wikipedia.org/wiki/Tragedy_of_the_commons Concept original chez Hardin, G (1968). « The Tragedy of the Commons ». *Science*. 162 (3859): 1243–1248.
- 19 https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.FEES-1-2010-PDF-F.pdf
- 20 Elinor Ostrom's 8 Principles for Managing A Commons. 2 octobre 2011. On The Commons <http://www.onthecommons.org/magazine/elinor-ostroms-8-principles-managing-commons> Consulté le 24 juin 2018.
- 21 Exemple de titres similaires. The Spectrum Crunch Cometh <https://www.tvtechnology.com/news/the-spectrum-crunch-cometh> TVTechnology, Steve

- Harvey, 16 octobre 2017. Consulté le 4 juin 2018.
- 22 Cooper, Martin. The Myth of Spectrum Scarcity. 2010 (exposé de position) <http://dynallc.com/wp-content/uploads/2012/12/themythofspectrumscarcity.pdf> Consulté le 18 juin 2018.
- 23 Il est important de remarquer que, grâce à l'utilisation d'antennes directionnelles, le Wi-Fi peut également être utilisé pour des connexions large bande point à point, en visibilité directe et très précises, souvent sur des dizaines de kilomètres.
- 24 How selective hearing works in the brain: 'Cocktail party effect' explained. 18 avril 2012. Science Daily. <https://www.sciencedaily.com/releases/2012/04/120418135045.htm> Consulté le 24 juin 2018.
- 25 Article Wikipédia « Noise Floor » https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_floor
- 26 L'IEEE a mis à disposition une vidéo d'explication utile sur la 5G qui inclut une section sur la formation de faisceau : https://youtu.be/GEx_d0SjvS0?t=201
- 27 C. Rey-Moreno, J. Simo-Reigadas, and A. Martinez-Fernandez, "WiMAX-An Uncertain Promise for Bridging the Digital Divide," IEEE Technology and Society Magazine, vol. 30, no 4, p. 26-33, décembre 2011.
- 28 Overview of ITU's History, UIT <https://www.itu.int/en/history/documents/itu-history-overview.pdf> Consulté le 10 juin 2018.
- 29 Constitution de l'Union Internationale des Télécommunications <https://www.itu.int/council/pd/constitution.html> Consulté le 2 juillet 2018.
- 30 Rapport final. Conférence mondiale de développement des télécommunications (CMDT-14) Dubai, Émirats arabes unis, du 30 mars au 10 avril 2014 <https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/WTDC/Documents/D-TDC-WTDC-2014-PDF-F.pdf> Recommandation 19 p. 634
- 31 <http://www.3gpp.org/>
- 32 <http://www.ieee.org/>
- 33 <http://www.etsi.org/>
- 34 Communiqué de presse de l'UIT : Digital broadcasting set to transform communication landscape by 2015 https://web.archive.org/web/20170318185816/http://www.itu.int/newsroom/press_releases/2006/11.html Version originale supprimée du site Web de l'UIT. Récupéré via [Archive.org](https://archive.org) 24 juin 2018
- 35 UIT - Status of the transition to Digital Terrestrial Television Broadcasting : Figures <https://www.itu.int/en/ITU-D/Spectrum-Broadcasting/Pages/DSO/figures.aspx> Consulté le 24 juin 2018
- 36 Présentation à l'atelier de l'UIT « Digital Broadcasting Technologies » pour les pays d'Afrique subsaharienne -- Nairobi, mars 2018, Kezias MWALE <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Africa/Documents/Nairobi%202018%20ITU%20Broadcast%20Workshop%20-%20DSO%20-%20Digital%20Migration%20Status%20%28Update%29%20in%20Africa.pdf>
- 37 The rise of OTT and VOD services in Africa, ScreenAfrica, David Cornwell 14 mai 2018 <http://www.screenafrica.com/2018/05/14/digital/vod-ott/an-inside-look-at-the-meteoric-rise-of-ott-and-vod-services-in-africa/>
- 38 African pay TV subscriber numbers to grow 74% by 2023, Andrew McDonald, 8 janvier 2018 <https://www.digitaltveurope.com/2018/01/08/african-pay-tv-subscriber-numbers-to-grow-74-by-2023/>
- 39 Cornwell, David. 14 mai 2018. ScreenAfrica. The rise of OTT and VOD services in Africa <http://www.screenafrica.com/2018/05/14/digital/vod-ott/an-inside-look-at-the-meteoric-rise-of-ott-and-vod-services-in-africa/>
- 40 Friend, G. (2 juin 2011). Best practice spectrum renewal and pricing (Rep.). <http://documents.worldbank.org/curated/en/908691468210579972/pdf/832430WPOPI22200Box379886B00PUBLIC0.pdf> Récupéré le 18 juin 2018
- 41 Jochum, J., & Leonhard, M. (23 novembre 2015). Impact of Spectrum Auctions (Publication). <http://www.detecon.com/en/Publications/impact-spectrum-auctions> Récupéré le 18 juin 2018.
- 42 Effective Spectrum Pricing: Supporting Better Quality and More Affordable Mobile Services. 22 février 2017. Par Richard Marsden, Dr. Bruno Soria, et Hans-Martin Ihle <http://www.nera.com/publications/archive/2017/effective-spectrum-pricing--supporting-better-quality-and-more-a.html>
- 43 Spectrum pricing in developing countries. Evidence to support better and more affordable mobile services. Juillet 2018. <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=5a8f746015d3c1f72e5c8257e4a9829a&download>
- 44 The Failure of Spectrum Auctions in Africa, Steve Song, ManyPossibilities <https://manypossibilities.org>



- ties.net/2017/04/the-failure-of-spectrum-auctions-in-africa/ Consulté le 18 juin 2018
- 45 Mawson, N. (6 septembre 2016). Spectrum melt-down. Brainstorm Magazine. <http://www.brainstormmag.co.za/technology/12667-spectrum-melt-down> Consulté le 18 juin 2018
- 46 McLeod, D (1er août 2017). We have run out of spectrum: Vodacom. TechCentral. <https://techcentral.co.za/run-spectrum-vodacom/76040/> Récupéré le 18 juin 2018
- 47 Despite massive investment, broadband plan totters. Punch Nigeria. 21 décembre 2017 <http://punchng.com/despite-massive-investment-broadband-plan-totters/> Consulté le 18 juin 2018
- 48 Spectrum pricing: politics vrs industry, consumer interest. Ghana Business News. <https://www.ghanabusinessnews.com/2017/01/12/4g-spectrum-pricing-politics-vrs-industry-consumer-interest/> Consulté le 18 juin 2018.
- 49 Adepouju, P. (20 juillet 2017). Ghana's govt rejects calls for 4G license price slash. ITWeb Africa. <http://www.itwebafrica.com/networks/341-ghana/238882-ghanas-govt-rejects-calls-for-4g-license-price-slash> Consulté le 18 juin 2018.
- 50 Egypt's Minister for ICT says 4G will launch this month. Telecom Review, 23 septembre 2017. <http://www.telecomreview.com/index.php/articles/reports-and-coverage/1614-egypt-s-minister-for-ict-says-4g-will-launch-this-month> Consulté le 24 juin 2018.
- 51 <https://www.internetsociety.org/policybriefs/spectrum/>
- 52 Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper, 28 mars 2017 <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> Consulté le 18 juin 2018.
- 53 *ibid.*
- 54 Katz, Raul. A 2017 Assessment of the Current & Future Economic Value of Unlicensed Spectrum in the United States. Avril 2018. <http://glenechogroup.isebox.net/wififorward/economic-value-of-unlicensed-spectrum-to-reach-more-than-834-billion-by-2020>. Consulté le 21 novembre 2018.
- 55 « The Economic Significance of Licence-Exempt Spectrum to the Future of the Internet » par Richard Thanki, 2012. https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/spectrum-economic-significance-of-license-exempt-spectrum-report_thanki.pdf
- 56 Project Isizwe <http://www.projectisizwe.org>
- 57 Announcing the Equal Rating Innovation Challenge Winners <https://blog.mozilla.org/press/2017/03/announcing-the-equal-rating-innovation-challenge-winners/> 29 mars 2017. Consulté le 22 novembre 2018.
- 58 AirJaldi <https://airjaldi.com>
- 59 Google says over 8 million people use its free WiFi service at railway stations in India, 7 juin 2018, Jon Russell, TechCrunch. <https://techcrunch.com/2018/06/07/google-says-over-8-million-people-use-its-free-wifi-service-at-railway-stations-in-india/> Consulté le 18 juin 2018
- 60 Colectivo IK' ta Kop <http://www.iktakop.org/>
- 61 Zenzeleni Networks, <https://zenzeleni.net>
- 62 Coolab <http://www.coolab.org>
- 63 Altermundi community wireless network <http://altermundi.net>
- 64 Tribal Digital Village <https://sctdv.net/>
- 65 KNET, <http://knet.ca/>
- 66 Wireless for Communities, Inde, <http://defindia.org/access-infrastructure-2/#W4C>
- 67 Lors de l'établissement des limites de puissance de transmission, les agences chargées de la réglementation utilisent généralement la puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) comme mesure de puissance. La PIRE se rapporte à la puissance effectivement rayonnée par l'antenne, à la différence de la puissance de sortie de la radio.
- 68 <https://www.ubnt.com/airmax/rocketdish-antenna/>
- 69 Combiner https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_5XHD_DS.pdf et <https://www.ubnt.com/airmax/rocketdish-antenna/>, par exemple.
- 70 https://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2013/db0220/FCC-13-22A1.pdf
- 71 https://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2017/db0713/DOC-345789A1.pdf.
- 72 FCC Notice of Proposed Rulemaking In the Matter of Unlicensed Use of the 6 GHz Band. 2 octobre 2018. <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-354364A1.pdf>
- 73 Dans la plupart des pays des Amériques, la bande

de 900 MHz est également exempte de licence. Au Mexique, l'espace entre 1920 et 1930 MHz est aussi exempt de licence. En Afrique du Sud, la bande entre 17,1 et 17,3 GHz est aussi exempte de licence.

- 74 Pour calculer le budget des liaisons à ces fréquences, on doit prendre en compte l'absorption de la vapeur qui entraîne la perte de 20 dB/km <http://frankrayal.com/2013/08/12/new-fcc-rules-give-60-ghz-a-boost/>
- 75 https://www.trafi.gov.in/sites/default/files/Consultation-Paper_Final%2028-3-14.pdf
- 76 <https://telecom.economicstimes.indiatimes.com/news/government-likely-to-allocate-backhaul-spec-trum-without-auction/64556846>
- 77 <https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/05/30/qualcomm-extends-benefits-80211ad-wi-fi-enterprises-and-outdoor>
- 78 Bien que des distances plus longues sont possibles dans des milieux secs, les fortes pluies peuvent rendre la liaison instable voire inutilisable au-delà des distances mentionnées plus haut : <https://help.ubnt.com/hc/en-us/articles/204977614-airFiber-Rain-fade-effects-on-AF24-24HD-links>
- 79 <https://mimosa.co/products/specs/b24>
- 80 https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_DS.pdf
- 81 <https://mimosa.co/products/specs/b11>
- 82 <https://www.ubnt.com/airfiber/airfiber-11fx>
- 83 Le Canada permet une PIRE de 85 dBm. <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf10414.html#s8>
- 84 <https://wireless.fcc.gov/uls/index.htm?job=transaction&page=weekly>
- 85 <https://www.entirety.biz/argentina-enacom-introduces-hertz-a-new-application-system-for-rf-approvals-e2%80%a8/>
- 86 <https://www.balticnetworks.com/fcc-standard-coordination-ubiquiti.html>
- 87 <http://ucswb.ift.org.mx/vrpc/>
- 88 http://www.ift.org.mx/sites/default/files/content/general/espectro-radioelectrico/tecnologias-deaccesodinamicoyosocompartidodelespectro_0.pdf
- 89 La Dynamic Spectrum Alliance tient à jour une liste des projets pilotes concernant les espaces blancs de télévision dans le monde sur <http://dynamicspectrumalliance.org/pilots/>
- 90 États-Unis, Royaume-Uni et Singapour
- 91 Schiffman, Betsy. White Spaces Debate Becomes Religious War. Wired Magazine. 7 novembre 2008. <https://www.wired.com/2008/10/god-gets-in-on/> Consulté le 22 novembre 2018.
- 92 Article Wikipédia « Hidden Node Problem » https://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_node_problem
- 93 Consultation sur un cadre politique et technique pour l'utilisation d'applications autres que la radiodiffusion dans les bandes de télévision inférieures à 698 MHz <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf10058.html>
- 94 Cadre visant l'utilisation de certaines applications autres que la radiodiffusion dans les bandes de télévision inférieures à 698 MHz <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf10493.html> 30 octobre 2012
- 95 <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf10942.html>
- 96 Tackling the spectrum question. Brainstorm Magazine. Samantha Perry. 1er avril 2009 <http://www.brainstormmag.co.za/features/11746-tackling-the-spectrum-question> Consulté le 2 juillet 2018
- 97 The Cape Town TV White Spaces Trial. Site Web de TENET. <https://www.tenet.ac.za/tvws> Consulté le 2 juillet 2018
- 98 TV white space for South Africa. <http://www.ee.co.za/article/tv-whitespace-south-africa.html> par Chris Burger et Dr. Moshe Masonta. 13 septembre 2018. EE Publishers. Consulté le 2 juillet 2018.
- 99 Regulations On The Use of Television White Spaces 2018. ICASA <https://www.icasa.org.za/legislation-and-regulations/regulations-on-the-use-of-television-white-spaces-2018> Consulté le 2 juillet 2018
- 100 Gram Marg. IIT Bombay. <http://grammarg.in/>
- 101 DoT says no to releasing TV White Space spectrum, clarifies it is for experiments. The Hindu - Business Line. 16 juin 2016. Varun Aggarwal. <https://www.thehindubusinessline.com/info-tech/dot-says-no-to-releasing-tv-white-space-spectrum-clarifies-it-is-for-experiments/article8737575.ece> Consulté le 2 juillet 2018.
- 102 Techies tease out Internet from 'White Space'. The New Indian Express. Ramzaava Chhakhuak. 9 mars 2018 <http://www.newindianexpress.com/cities/bengaluru/2018/mar/09/techies-tease-out-internet-from-white-space-1784600.html> Consulté le 2 juillet



- 2018.
- [103](#) Microsoft to Introduce “White Space” Broadband to Vast Areas of Brazil. NearShore Americas. Dan Tucker. 27 mars 2014 <http://www.nearshoreamericas.com/microsoft-introduce-white-space-broadband-brazil/> Consulté le 18 juin 2018.
- [104](#) LatAm: Alliance conducting white space trial for broadband in Brazil. RCRWireless. Roberta Prescott. 22 janvier 2015 <https://www.rcrwireless.com/20150122/americas/latam-white-space-trial-brazil-tag5> Consulté le 18 juin 2018.
- [105](#) Enacom firmó un convenio con Microsoft https://www.enacom.gob.ar/institucional/enacom-firmo-un-convenio-con-microsoft_n1326
- [106](#) Présentation par le délégué de l’IFT, Adrian Labardini au Canadian Spectrum Summit 2017 <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/presentaciones/adriana-sofia-labardini-inzunza-presidenta/spectrumsummit2017iftlabardinimexicoorafinale-170816174510.pdf>
- [107](#) Ajit Pai’s 5G plans make it harder for small ISPs to deploy broadband. Ars Technica. 10 octobre 2018 <https://arstechnica.com/tech-policy/2018/10/ajit-pais-5g-plans-make-it-harder-for-small-isps-to-deploy-broadband/> Consulté le 22 octobre 2018.
- [108](#) UK mobile operators pay close to £1.4bn for 5G spectrum. The Guardian Mark Sweney. 5 avril 2018 <https://www.theguardian.com/business/2018/apr/05/uk-mobile-operators-pay-close-to-14bn-for-5g-spectrum>
- [109](#) Consultation sur l’examen de la bande de 3 500 MHz pour permettre une utilisation flexible et consultation préliminaire sur les changements à apporter à la bande de 3 800 MHz <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf11401.html> Juin 2018
- [110](#) Challenges to Universal and Affordable Connectivity in Brazil. Leonardo Euler de Moraes. Présentation au Dynamic Spectrum Alliance Summit. 3 mai 2018 http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2018/05/Day3-5-1_ChallengesToUniversalAndAffordableConnectivity_CommissionerLeonardo_Anatel.pdf
- [111](#) Indian Government harmonising spectrum for 5G services. OpenGov Asia. Priyankar Bhunia, 9 mars 2018 <https://www.opengovasia.com/articles/indian-government-harmonising-spectrum-for-5g-services>
- [112](#) M’Bayo, Ritchard. 1997. « Africa and the Global Information Infrastructure. » International Communication Gazette 59 (4): 345–64. doi:10.1177/0016549297059004007.
- [113](#) Ericsson Mobility Report – Sub-Saharan Africa. Novembre 2015. <https://www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/emr-nov-2015-regional-report-sub-saharan-africa.pdf>
- [114](#) Page d’accueil NuRan Wireless <http://nuranwireless.com/>
- [115](#) Page d’accueil FairWaves <http://fairwaves.co/>
- [116](#) Page d’accueil Osmocom <https://osmocom.org/>
- [117](#) http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387867&fecha=06/04/2015
- [118](#) <http://www.ift.org.mx/industria/espectro-radioelectrico/programa-anual-de-uso-y-aprovechamiento/programa-2015>
- [119](#) *ibid.*
- [120](#) L’utilisation sociale donne le droit d’utiliser et d’exploiter des bandes de fréquences dans le spectre radioélectrique pour fournir des services de télécommunications à des organisations communautaires culturelles, scientifiques et éducationnelles à but non lucratif.
- [121](#) Vanu Rwanda <http://www.vanurwanda.com/about/>
- [122](#) <http://firstmile.ca/wp-content/uploads/2015-Beaton-Burnard-Linden-ODonnell-Keewaytinook-Mobile.pdf>
- [123](#) Can a for-profit company bring connectivity to ultra-remote villages? Devex. Sophie Edwards. 16 juin 2017 <https://www.devex.com/news/can-a-for-profit-company-bring-connectivity-to-ultra-remote-villages-90484> Consulté le 24 juin 2018.
- [124](#) Correspondance électronique avec Mike Darcy, PDG d’Africa Mobile Networks
- [125](#) Données collectées à l’aide de RF Explorer 6G Combo <http://rfexplorer.com/models/> et l’application GSM Track (<http://wireless.ictp.it/gsm/gsmtrack/GsmTrack.apk>) créée par ICTP, pendant un trajet en voiture dans la province du Cap-Oriental en Afrique du Sud, entre les embouchures des rivières Mthatha et Mdumbi. Informations supplémentaires et résultats disponibles sur <http://wireless.ictp.it/gsm>
- [126](#) <http://www.aimdigital.com.ar/ley-corta-media-sanccion-la-semana-proxima/>
- [127](#) Par exemple, dans l’état de Pará on trouve deux fois 2,5 MHz.

- [128](#) Caravana CELCOM em Boa Vista do Acará. 9 mars 2018. <https://www.lasse.ufpa.br/2018/03/09/caravana-celcom-em-boa-vista-do-acara/>
- [129](#) GSR.325(E). The Gazette of India. 14 mai 2009. <http://www.dot.gov.in/sites/default/files/DOC260413.pdf>
- [130](#) Serviço Especial para Fins Científicos e Experimentais. 4 février 2015. <http://www.anatel.gov.br/setor-regulado/servico-especial-para-fins-cientificos-e-experimentais>
- [131](#) RURA Statistics And Tariff Information In Telecom, Media And Postal Service As Of The Fourth Quarter 2017. http://www.rura.rw/uploads/media/Telecom_Statistics_Report_Fourth_Quarter_2017.pdf
- [132](#) Rwandan operator KTRN to slash 4G prices. 9 octobre 2018. Telegeography <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2018/10/09/rwandan-operator-ktrn-to-slash-4g-prices/>
- [133](#) KT Increases African Ambitions Following Rwanda LTE Success. Developing Telecoms. 29 mai 2018 <https://www.developingtelecoms.com/business/operator-news/7839-kt-increases-african-ambitions-following-rwanda-lte-success.html>
- [134](#) Mexican wholesale 4G network opens for business. MobileWorldLive, 23 mai 2018 <https://www.mobileworldlive.com/featured-content/top-three/mexican-wholesale-4g-network-opens-for-business/>
- [135](#) Islim Telco first operator to join Mexico's Red Compartida. 18 juin 2018 <https://www.telecompaper.com/news/islim-telco-first-operator-to-join-mexicos-red-compartida--1248842>
- [136](#) South Africa: National Integrated ICT Policy White Paper. 3 octobre 2016. <https://www.ellipsis.co.za/wp-content/uploads/2016/10/National-Integrated-ICT-Policy-White-Paper.pdf>
- [137](#) Data pricing trends in South Africa. Présentation PPC par Research ICT Africa. 31 octobre 2017 <https://researchictafrica.net/wp/wp-content/uploads/2017/11/2017-presentation-to-the-PPC-on-the-cost-to->
- [138](#) South Africa: Invitation to Provide Written Comments on Electronic Communications Bill. 17 novembre 2017. <https://www.ellipsis.co.za/wp-content/uploads/2017/11/gg41261-Invitation-to-provide-written-comments-on-Electronic-Communications-Amendment-Bill-1.pdf>
- [139](#) Electronic Communications Amendment Bill 2018 <https://www.ellipsis.co.za/electronic-communications-amendment-bill-2017/>
- [140](#) Invitation to Provide Written Comments on Proposed Policy And policy Directions to the Authority on Licensing of Unassigned High demand Spectrum. 27 septembre 2018. Dept of Posts and Telecommunications. <https://techcentral.co.za/wp-content/uploads/2018/09/DTPS-Policy-Direction-on-the-licensing-of-High-Demand-Spectrum.pdf>
- [141](#) South Africa to start 4G spectrum auction by April 2019, says Cwele. 11 octobre 2018. Fin24. <https://www.fin24.com/Companies/ICT/south-africa-to-start-4g-spectrum-auction-by-april-2019-says-cwele-20181011>
- [142](#) GSMA Wholesale Open Access Networks. Juillet 2017 https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2017/07/GSMA_SWN-8-pager_R3_Web_Singles.pdf
- [143](#) Article Wikipédia « LTE frequency bands » https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_frequency_bands
- [144](#) Everything You Need to Know About 5G, IEEE Spectrum, 6 février 2017, https://www.youtube.com/watch?v=GEx_d0SjvSO
- [145](#) An Introduction to Network Slicing. GSMA 2017. <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2017/11/GSMA-An-Introduction-to-Network-Slicing.pdf>
- [146](#) The Mobile Economy 2018. GSMA <https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2018/05/The-Mobile-Economy-2018.pdf> Page 19. Consulté le 22 octobre 2018.
- [147](#) Terragraph est un exemple de technologie de réseau maillé qui utilise le spectre de 60 GHz et des puces WiGig pour fournir une solution de substitution à la fibre à bas coût. Voir https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_Gigabit_Alliance et <https://terra-graph.com/#terra-graph>
- [148](#) Lignes directrices relatives à l'examen des méthodes de détermination des prix pour l'utilisation du spectre et à l'élaboration de barèmes des redevances d'utilisation. UIT 2016. https://www.itu.int/en/ITU-D/Spectrum-Broadcasting/Documents/Publications/Guidelines_SpectrumFees_Final_F.pdf
- [149](#) Lignes directrices pour l'établissement d'un système cohérent de redevances liées à l'utilisation des fréquences. UIT-D 2006 https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.FEES-1-2010-PDF-F.



- pdf
- [150](#) [ibid.](#)
- [151](#) ITU-D : Study Groups : Spectrum Fees Database - Spectrum Management. <http://www.itu.int/net4/ITU-D/CDS/SF-Database/index.asp> Ces lignes directrices stipulent un pourcentage du revenu du prestataire de services dans une zone de service donnée, qui constitue les frais d'utilisation de blocs de deux fois 28 MHz, ou une partie de ceux-ci.
- [152](#) Gouvernement du Canada. CIR-42 — Guide pour le calcul des droits de licence radio <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf01027.html> Consulté le 22 octobre 2018.
- [153](#) Ces lignes directrices stipulent un pourcentage du revenu du prestataire de services dans une zone de service donnée, qui constitue les frais d'utilisation de blocs de deux fois 28 MHz, ou une partie de ceux-ci. <http://wpc.dot.gov.in/WriteReadData/Orders/Guidelines%20Dated%2016th%20October%202015%20for%20Interim%20allotment%20of%20MWA%20and%20MWB%20Carriers%20.pdf>
- [154](#) Radio Spectrum License Fees. 23 mars 2018. <https://www.ellipsis.co.za/radio-frequency-spectrum-fees>
- [155](#) Argentina: Ente Nacional de Comunicaciones. Resolución 137 - E/2017 <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/270000-274999/270502/norma.htm>
- [156](#) Brazil: Resolução nº 387, de 3 de novembro de 2004. <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2004/326-resolucao-387>
- [157](#) Lignes directrices relatives à l'examen des méthodes de détermination des prix pour l'utilisation du spectre et à l'élaboration de barèmes des redevances d'utilisation. UIT-D. UIT 2016. https://www.itu.int/en/ITU-D/Spectrum-Broadcasting/Documents/Publications/Guidelines_SpectrumFees_Final_F.pdf Consulté le 3 juillet 2018.
- [158](#) Notons que le Canada utilise aussi ce facteur.
- [159](#) Notons que l'Afrique du Sud ne prend pas ce facteur en considération.
- [160](#) United States: FCC – Fee Filing Guide <https://www.fcc.gov/document/fee-filing-guide-0>
- [161](#) Valeurs fournies en USD au taux de change en date du 11 juin 2018.
- [162](#) Taux de change trouvé sur xe.com le 22 juin 2018.
- [163](#) « Review of Policy and Formulation of Recommendations for the Department of Communications by BMI-TechKnowledge: As Is, Historical Review, Transformation & International Benchmarking Reports » Auteurs : Denis Smit, Tertia Smit, Brian Neilson, Penny Smith, Tim Parle, Dominic Cull (Ellipsis), Dave Rogerson (Incyte), Harm Aben (Incyte) en date d'août 2013
- [164](#) Lignes directrices relatives à l'examen des méthodes de détermination des prix pour l'utilisation du spectre et à l'élaboration de barèmes des redevances d'utilisation. UIT-D. UIT 2016. https://www.itu.int/en/ITU-D/Spectrum-Broadcasting/Documents/Publications/Guidelines_SpectrumFees_Final_F.pdf Consulté le 3 juillet 2018
- [165](#) TRAI recommande de retirer le revenu présumé et de calculer les frais selon la formule fournie dans la réglementation existante qui prend en compte la distance et la largeur du canal : http://www.trai.gov.in/sites/default/files/Recommendations_07032017.pdf
- [166](#) UIT-D. 2006. Résolution 9. Lignes directrices pour l'établissement d'un système cohérent de redevances liées à l'utilisation des fréquences. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.FEES-1-2010-PDF-F.pdf Voir page 1.
- [167](#) India: Guidelines for Grant of Unified License. 28 mars 2016. http://dot.gov.in/sites/default/files/2016_03_28%20ULG%20AS-l.pdf
- [168](#) Une tranche de cette taille permet d'avoir quatre canaux GSM qui n'interfèrent pas entre eux.
- [169](#) Dans le cas du Brésil, ces affectations sont régionales, nous prenons donc en compte la population et la taille de l'état de Pará. Dans le cas du Mexique, nous prenons en compte la région d'Oaxaca pour ces calculs.
- [170](#) Carlos Rey-Moreno, Renette Blignaut, William D. Tucker & Julian May (2016). An in-depth study of the ICT ecosystem in a South African rural community: unveiling expenditure and communication patterns, Information Technology for Development, 22:sup1, 101-120, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02681102.2016.1155145>
- [171](#) Article 239, Ley Federal de Derechos. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/107_221217.pdf
- [172](#) Nájera, Jacobo and Salazar, Giovanna. The First Mobile Phone Network for Indigenous Communities in Mexico Is Under Threat. Global Voices. 24 janvier 2018. <https://rising.globalvoices.org/>

- blog/2018/01/24/the-first-mobile-phone-network-for-indigenous-communities-in-mexico-is-under-threat/
- 173 Galindo, José Soto. Otorgan amparo a las telecomunicaciones de comunidades Indígenas. El Economista. 8 avril 2018. <https://www.economista.com.mx/opinion/Otorgan-amparo-a-las-telecomunicaciones-de-comunidades-indigenas-20180408-0004.html>
- 174 South Africa: Wireless Access Providers Association. <http://www.wapa.org.za/>
- 175 Ellipsis Regulatory Solutions <https://www.ellipsis.co.za/>
- 176 R. Baig et al., [guifi.net](http://www.guifi.net), a crowdsourced network infrastructure held in common. Computer Networks (2015) <http://people.ac.upc.edu/leandro/pubs/crowds-guifi-en.pdf>
- 177 http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/107_221217.pdf
- 178 <https://www.ellipsis.co.za/icasa-fees/>
- 179 <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2013/465-resolucao-614>
- 180 <https://www.enacom.gov.ar/multimedia/normativas/2017/res697MM.pdf>
- 181 http://dot.gov.in/sites/default/files/2016_03_28%20ULG%20AS-1.pdf?download=1
- 182 Frais calculés selon le taux de change en date du 14 juin 2018 sur xe.com.
- 183 Brazil: Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. LEI Nº 11.652, DE 7 DE ABRIL DE 2008. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/11652.htm
- 184 India: Order. Subject: Licence fee and other fees, Surcharge/ late fee and Charging Methodologies for Royalty / licence fees for 'Captive Users' (users being charged on formula basis) including all Government Users. <http://www.wpc.dot.gov.in/static/a1.pdf>
- 185 Brazil: Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. LEI Nº 9.691, DE 22 DE JULHO DE 1998. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9691.htm
- 186 Union européenne. Autorisation de réseaux et services de communications électroniques. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISUM%3AI24164>
- 187 Argentina: Boletín Oficial. ENTE Nacional De Comunicaciones. Resolución 4958/2018 <https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/190061/20180817>
- 188 Libérer le potentiel des réseaux communautaires : Approches d'octroi de licences innovantes. 14 mai 2018. Internet Society. <https://www.internetsociety.org/fr/resources/2018/unleashing-community-networks-innovative-licensing-approaches/>
- 189 OFCOM Radiocommunications licences. <https://www.ofcom.org.uk/manage-your-licence/radiocommunication-licences>
- 190 Instituto Federal de Telecomunicaciones: Registro Público de Concesiones <http://ucsweb.ift.org.mx/vrpc/>
- 191 Gouvernement du Canada : Données du système de gestion du spectre http://sms-sgs.ic.gc.ca/eic/site/sms-sgs-prod.nsf/fra/h_00010.html
- 192 Canadian Cellular Towers Map https://www.ertyu.org/steven_nikkel/cancellsites.html
- 193 Airtel Open Network <https://www.airtel.in/open-network/>
- 194 Dark Fibre Africa Coverage <http://www.dfafrica.co.za/network/coverage/>
- 195 Brazil: Resolução nº 642, de 3 de outubro de 2014 <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2014/824-resolucao-n-642-de-3-de-outubro-de-2014>
- 196 FCC: Allocations and Service Rules for the 71-76 GHz, 81-86 GHz, and 92-95 GHz Bands <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-05-45A1.pdf>
- 197 Canada : CNR-210 — Appareils radio exempts de licence : matériel de catégorie I <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf01320.html#aJ> Annexe J 2.2







internetsociety.org | @internetsociety