



La technologie

5G



**Assurer
notre avenir
numérique**



Recherche par :



Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC)

Financement fourni par :

Canada 

Programme d'initiatives sectorielles du gouvernement du Canada

Préface

Le Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC) est un centre d'expertise national pour l'économie numérique. Fort de plus de 25 ans d'expérience en recherche et élaboration de programmes liés à la technologie, le CTIC vise à renforcer l'avantage numérique du Canada dans une économie mondiale. Grâce à des recherches prospectives, à des conseils stratégiques fondés sur des données probantes et à des programmes créatifs de renforcement des capacités, le CTIC favorise des industries canadiennes novatrices et concurrentielles à l'échelle mondiale, habilitées par une main-d'œuvre talentueuse et diversifiée.

Pour citer le présent rapport

Davidson, R., McLaughlin, R. (2018). *La technologie 5G : Assurer notre avenir numérique*. Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC). Ottawa, Canada.

Recherche et rédaction par Robert Davidson (analyste principal des données) et Ryan McLaughlin (économiste et analyste de la recherche), avec le généreux soutien d'Alexandra Cutean (directrice de la politique et de la recherche) et de l'équipe de la politique et de la recherche du CTIC.

Remerciements

Les contributions faites dans le cadre du présent rapport par les membres de notre comité consultatif et d'autres experts en la matière sont grandement appréciées. Particulièrement, nous aimerions remercier les personnes suivantes pour leur participation à la rédaction du présent rapport.

Anne Mainville-Neeson : Vice-présidente des affaires réglementaires, TELUS

Eric Smith : Vice-président des affaires réglementaires, ACTS

James Maunder : Vice-président des affaires publiques et des communications, Xplornet Communications, Inc.

Joel Thorp : Directeur de la stratégie et de la politique du spectre, Rogers

Jim Patrick : Président, Jim Patrick and Associates, Inc.

Pierre Boucher : Directeur général de l'innovation, ENCQOR

Sumitra Seshan : Présidente-directrice générale, Fifth Generation Technologies, Inc.

Tho Le-Ngoc : Chaire de recherche du Canada, Accès à large bande et communications, gouvernement du Canada

Viet Nguyen : Directeur des relations gouvernementales, Ericsson

Robert Barton : Chef de produit, services techniques, Cisco

Bhavani Krishnan : VP Programme et gestion de produit, Cengn

3GPP : Organisation d'élaboration de normes regroupant sept grandes organisations de normes en télécommunications. En décembre 2017, 3GPP a annoncé l'approbation de la première spécification « nouvelle radio (NR) » de cinquième génération.

Dollars indexés : Dollars qui ont été rajustés en fonction de l'indice des prix à la consommation pour être représentés selon la valeur d'une année donnée. Le présent rapport utilise des dollars chaînés (2007), permettant ainsi de voir l'impact « réel » sur le produit intérieur brut, sans égard à l'inflation.

HSPA(+) : L'accès haut débit en mode paquet est un ensemble de technologies qui permet aux réseaux de troisième génération d'obtenir une vitesse semblable à la large bande. Le réseau HSPA+ s'applique à la technologie de quatrième génération.

Hyperfréquences : En ce qui concerne le réseau mobile, les hyperfréquences sont utilisées comme technologie de transmission point à point à haute vitesse. Étant donné les exigences de ligne de visée entre l'émetteur et le récepteur hyperfréquence, les hyperfréquences sont principalement utilisées dans les réseaux de cinquième génération pour assurer une liaison terrestre à partir des réseaux d'antennes cellulaires.

Liaison terrestre : Infrastructure reliant les antennes cellulaires au principal réseau câblé. Il peut s'agir d'une technologie câblée ou sans fil, comme les hyperfréquences et les satellites.

LTE : La technologie d'évolution à long terme est une norme de communication sans fil à haute vitesse qui a été améliorée grâce aux technologies HSPA. La technologie LTE a été conçue à l'origine pour les réseaux de quatrième génération.

MATLAB/Simulink : Progiciel de calcul matriciel d'ingénierie qui, lorsque associé à Simulink (outil de simulation créé par MATLAB), permet d'exécuter des modèles complexes de simulation de réseaux et de circuits qui facilitent la conception de l'infrastructure de cinquième génération.

MIMO : La technologie « entrées multiples, sorties multiples » est la concentration de nombreuses antennes dans l'émetteur et le récepteur. La technologie MIMO massif est l'itération de cinquième génération de la technologie MIMO, laquelle nécessite plus d'antennes pour chaque réseau, permettant à ce dernier de supporter plusieurs utilisateurs ayant une connectivité haute vitesse tout en utilisant les mêmes ressources de réseau, sans nécessiter un spectre radioélectrique supplémentaire.

NFV : La virtualisation des fonctions réseau permet aux fonctions réseau d'être découplées du matériel exclusif et transférées vers un logiciel, ce qui permet de réduire les coûts en immobilisations, de faire des gains en matière d'efficacité opérationnelle, et de faire une mise à niveau rapide et agile par le biais du déploiement de logiciels.

NR (nouvelle radio) : Nouvelle spécification d'interface hertzienne pour supporter la capacité de cinquième génération de connecter tous les appareils qui mettent à profit

l'écosystème du réseau de cinquième génération.

Ondes millimétriques : Les ondes millimétriques sont la bande de fréquences située entre 30 et 300 GHz. Cette fréquence est utilisée pour la connectivité de réseau haute vitesse entre les antennes cellulaires et les appareils mobiles, comme les téléphones, les dispositifs de l'Internet des objets et les véhicules automatisés. Sa portée n'est pas très grande (100 à 200 mètres), ce qui nécessite un positionnement plus dense des antennes, surtout dans les zones urbaines.

Régression : Mesure statistique utilisée pour déterminer la relation entre deux variables. Au minimum, elle peut déterminer une corrélation et, au mieux, elle peut déterminer une relation de causalité (des changements touchant une variable entraînent directement des changements pour une autre variable).

RF : La radiofréquence est un terme général pour qualifier de nombreux aspects des architectures de radiofréquence. Plusieurs offres d'emploi ont mentionné les radiofréquences comme une expérience ou une compétence obligatoire.

SDN : Le réseau défini par logiciel est une autre abstraction de réseau comme la NFV, mais qui est davantage axé sur la séparation des fonctions de contrôle des réseaux par rapport à la transmission des fonctions alors que la NFV est davantage axée sur la virtualisation des services plutôt que sur les limites matérielles.

Table des matières

Avant-propos	8
Sommaire	10
Introduction	12
SECTION I : Aperçu de la technologie 5G – Qu’est-ce que c’est et pourquoi est-elle importante?	13
Quels changements la technologie 5G apportera-t-elle?	13
Les technologies de cinquième génération	14
Petites cellules	14
Technologie « entrées multiples, sorties multiples » (MIMO) et formation de faisceaux	15
Découpage réseau (« network slicing »)	15
Informatique en périphérie	15
Horizon temporel du déploiement	16
Déploiement international de la 5G	16
Déploiement de la 5G au Canada	17
SECTION II : Incidence potentielle de la 5G sur les entreprises	17
Quelles innovations la 5G rendra-t-elle possibles?	18
Aperçu sectoriel : La 5G et les soins de santé, la réalité augmentée et la réalité virtuelle	18
Aperçu sectoriel : La 5G et les technologies agricoles et l’Internet des objets	20
Aperçu sectoriel : La 5G et le secteur manufacturier	20
SECTION III : Répercussions de la technologie 5G sur la main-d’œuvre	21
Le Canada et la hausse des emplois en technologie de cinquième génération	22
Coup d’œil sur les emplois et les compétences liés aux technologies 5G	22
Conclusions : Emplois et compétences	23
Portraits des principaux emplois liés à la technologie 5G	24
Architecte de systèmes 5G	24
Spécialiste des technologies radio par hyperfréquences et ondes millimétriques	24
Ingénieur principal en logiciels (IdO)	25
Compétences recherchées liées aux langages de programmation et à la technologie 5G	25
« Grappes de mots » fréquemment relevés dans les emplois liés à la technologie 5G	26
SECTION IV : Prévisions en matière de main-d’œuvre et d’économie de la 5G	28
Base des prévisions du PIB et de l’emploi	29
Augmentation des abonnements mobiles liés à la 5G	30
Prévisions de l’impact sur le PIB	31
La 5G et la croissance de l’ensemble de l’économie canadienne (PIB) d’ici 2030	31
Impact de la 5G sur le PIB	32
Prévisions de l’impact de la 5G sur l’emploi	33
Conclusion	35
Annexes	36
I. Méthodologie de recherche	36
II. Méthodologie de prévision	37
III. Limites de la recherche	38
Ouvrages cités	41

Avant-propos

Je suis ravi de contribuer au rapport du Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC), *La technologie 5G : Assurer notre avenir numérique*. Le rapport lui-même arrive à point nommé. Dès l'an prochain, la mise en service de matériel de cinquième génération (5G) au Canada promet de transformer notre industrie des télécommunications telle que nous la connaissons.

La convergence de la technologie fixe sans fil et de la technologie mobile, illustrée par le lancement des essais 5G déjà en cours au Canada, a estompé de façon permanente les distinctions entre la large bande fixe et la large bande mobile. Le résultat de cette convergence est la large bande sans fil, laquelle permettra aux Canadiens d'avoir accès à la connectivité 5G dans les années à venir.

Alors que l'arrivée de la technologie 5G et de l'Internet des objets rend l'accès à Internet encore plus omniprésent, les moyens par lesquels ils sont offerts deviendront de moins en moins pertinents pour les consommateurs. Par contre, la disponibilité de la large bande sans fil (à partir de connexions mobiles ou fixes) deviendra de plus en plus importante : elle sera dotée d'une capacité et d'une vitesse considérablement accrues pour les consommateurs canadiens.

Nous avons fondé Xplornet il y a près de 15 ans en nous donnant pour mission de mettre à la disposition des collectivités rurales des services Internet haute vitesse rapides et abordables. Nos activités visent les endroits éloignés des centres urbains, les localités rurales dans chaque province et territoire.

Le Canada est le deuxième pays en importance au monde et l'un des moins densément peuplés, comptant moins de quatre personnes par kilomètre carré. Nos besoins en matière de connectivité sont donc différents de ceux de nombreux autres pays. La densité de population encore plus faible des régions rurales du Canada fait en sorte que la façon de se connecter à Internet est différente. Chez Xplornet, nous croyons fermement que les services 5G ne doivent pas être le privilège exclusif des Canadiens vivant dans les villes et qu'il est, au contraire, possible d'acheminer cette technologie jusque dans les coins les plus reculés du Canada.

Il y a 10 ans, la plupart des Canadiens souhaitaient simplement avoir accès à une connexion Internet. La réalité était différente pour le Canada rural, et la connectivité était alors définie comme la nécessité de couvrir la totalité du territoire canadien. En 2011, les préoccupations relatives à la connectivité de nombreux Canadiens des régions rurales étaient semblables à celles des citadins, en ce sens qu'ils voulaient eux aussi visionner en continu des vidéos à partir de la nouvelle application Netflix, récemment arrivée au Canada.

Aujourd'hui, plus de 99 % des Canadiens ont accès à une connexion Internet, et le Canada se classe au quatrième rang du G20 quant au nombre d'habitants ayant accès à des connexions à large bande supérieures à 15 mégabits par seconde. Dans les mois à venir, le Canada et son industrie des télécommunications doivent se recentrer sur la définition de la connectivité appliquée aux collectivités rurales il y a 10 ans, c'est-à-dire sur la nécessité de faire en sorte

que tous les Canadiens bénéficient du même niveau de services, quel que soit l'endroit où ils choisissent de vivre.

L'innovation a toujours été au cœur de la mission de Xplornet. Nous avons été la première entreprise en Amérique du Nord et la deuxième au monde à mettre à l'essai la technologie LTE, en utilisant le spectre DRT (duplex à répartition dans le temps) de 3 500 MHz, et à déployer des efforts pour améliorer la vitesse et la qualité de la large bande sans fil. En s'appuyant sur cette culture de l'innovation, Xplornet fait sans relâche des essais sur le terrain dans les collectivités rurales à l'aide de technologies antérieures à la 5G et de technologies 5G. Pour ce faire, nous avons lancé un ambitieux programme de déploiement de la fibre optique, de petites cellules sans fil et de spectre sous licence dans les bandes 5G reconnues afin d'atteindre un objectif clé, soit celui d'établir un réseau national de technologie 5G capable d'augmenter de façon spectaculaire la vitesse et la capacité de téléchargement dans les régions rurales du Canada.

Bien des choses ont été dites sur la technologie 5G, ses capacités et ses possibilités. Certaines de ces applications sont extrêmement prometteuses pour les villes, allant de lampadaires intelligents aux voitures autonomes, pour ne nommer que celles-là. Grâce à une faible latence et à une grande fiabilité, les réseaux 5G ont même la capacité de nous ramener à la belle époque où les médecins se déplaçaient pour soigner les malades, en permettant aux médecins de faire des visites à domicile virtuelles. Dans les collectivités rurales où l'accès aux soins de santé est plus limité, des patients doivent actuellement parcourir de longues distances pour obtenir des soins. Le fait d'avoir accès à un médecin qui utilise des appareils d'imagerie et de diagnostic à haute résolution fonctionnant avec la technologie 5G permettrait non seulement d'économiser du temps et de l'argent, mais également de sauver des vies.

La technologie 5G ne se limite pas à l'amélioration de la connectivité ou de l'efficacité de nos villes. Elle rend possibles des services et des développements uniques partout au Canada, à la maison, au travail et dans les loisirs.

Les applications de cinquième génération seront sans aucun doute différentes dans les régions rurales, mais le besoin de ces régions d'être desservies par de solides réseaux 5G sera le même que dans les centres urbains. Quel que soit l'endroit où se trouvent les clients et peu importe les applications qu'ils choisissent d'utiliser, il faudra des réseaux capables de servir de base à notre trafic et à nos données IP qui ne cessent de croître.

Les réseaux 5G arrivent au Canada plus rapidement que la plupart des gens l'imaginent, et les possibilités qu'ils pourront offrir à tous les Canadiens seront illimitées. Je remercie le Conseil des technologies de l'information et des communications de participer à cette passionnante aventure aux côtés de notre industrie.

James Maunder, vice-président, Affaires publiques et communications, Xplornet

Sommaire



La technologie de cinquième génération (5G) est souvent décrite comme la prochaine génération de la connectivité et d'Internet. Cependant, la cinquième génération est bien plus encore. Alors que les vitesses estimées de transmission des données sont près de 20 fois supérieures aux connexions de la technologie d'évolution à long terme (LTE) de quatrième génération, la technologie 5G permettra au fervent utilisateur de Netflix de télécharger un film en quelques secondes seulement. Cependant, elle permettra également le développement de technologies et d'applications qui peuvent changer la prestation de services de base comme les soins de santé, et grâce à une véritable capacité pour la connectivité liée à l'Internet des objets (IdO), elle peut entièrement moderniser nos villes et communautés. Cette étude est une incursion profonde dans une révolution technologique qui devrait jouer un rôle important dans l'économie du Canada au cours de la prochaine décennie.

Bien que certains impacts de la technologie 5G se révéleront plus clairement une fois que ses capacités de réseau avancées seront entièrement mises en place, la 5G est rapidement en train de devenir la nouvelle norme mondiale en matière de connectivité. Par conséquent, certains de ses effets se font déjà sentir, avant même son déploiement, notamment par une demande croissante pour des talents qualifiés, mais aussi par l'avancement du discours sur des sujets clés que les capacités de la 5G activeront et influenceront. Par exemple, la réalité augmentée et la réalité virtuelle peuvent être utilisées pour trouver des solutions en matière de soins de santé, comme les chirurgies à distance ou le déploiement d'instruments de surveillance des cultures activés par des technologies 5G dans le secteur agricole, lesquels peuvent jouer un rôle fondamental dans un secteur qui est extrêmement vulnérable aux moindres changements environnementaux. La technologie 5G peut même permettre le déploiement sécuritaire de véhicules autonomes, lesquels devront communiquer rapidement et efficacement avec leur environnement et qui influenceront même l'élaboration de solutions, comme un « jumeau numérique » pour aider à gérer la logistique et obtenir des gains d'efficacité notamment dans le secteur manufacturier et le commerce. Ce ne sont là que quelques-uns des exemples d'applications de cinquième génération qui peuvent ultérieurement habilitier une société connectée qui évolue réellement grâce à l'Internet des objets.

Grâce à ce type de potentiel, il n'est pas surprenant que de nouveaux emplois liés à la technologie 5G soient déjà créés aujourd'hui au Canada, même si le déploiement n'est prévu qu'au début des années 2020. Alors qu'ils en sont encore à l'étape du développement, bon nombre de ces emplois touchent les secteurs de la recherche, du

développement de logiciels et de la mise à l'essai de réseaux. Cependant, au fur et à mesure que nous avançons sur cette voie, l'impact de la 5G sur l'emploi total sera considérable, touchant une variété de secteurs et de types d'emplois. En plus de faciliter le développement de révolutions technologiques comme les véhicules autonomes, la technologie 5G engendrera des occasions d'emploi notamment dans les domaines de la réglementation, des infrastructures, de la mise à l'essai, de la mise en œuvre et de l'accessibilité.

Les retombées de cette prochaine génération de connectivité auront inévitablement un impact sur l'ensemble des Canadiens, mais seront également une force remarquable pour le produit intérieur brut (PIB)¹ du Canada, de sorte que, selon les scénarios économiques actuels, le CTIC estime que **l'impact de la 5G sur l'économie canadienne sera de quelque 14 milliards de dollars², enregistrant une hausse du nombre de 46 000 emplois d'ici 2030 si des ventes aux enchères du spectre³ ont lieu en 2021.**

Parallèlement, si des ventes aux enchères (600 MHz, 3,5 GHz et ondes millimétriques) **ont lieu seulement 2 années plus tôt, soit en 2019, les retombées économiques de la 5G pourraient être de 23 milliards de dollars d'ici 2030 grâce à la création de quelque 73 000 emplois.** Il s'agit de gains économiques substantiels pour notre pays qui doivent être appuyés. De plus, si la conjoncture économique change et favorise des développements clés comme les investissements étrangers directs dans des secteurs à forte croissance, le commerce international accéléré et de nombreux autres, les retombées économiques totales pourraient atteindre jusqu'à **26 milliards de dollars et créer 82 000 emplois d'ici 2030 si des ventes aux enchères ont lieu en 2021.**

Grâce à des vitesses ultrarapides, à la large bande passante et à la capacité de transmission de données de masse, le potentiel vaste et exhaustif de la technologie 5G est clair. Elle peut créer des emplois, faire croître l'économie et faciliter le développement de révolutions technologiques qui étaient tout simplement inimaginables précédemment. Pour ces raisons, les manchettes ne manquent pas de rappeler la vague que la technologie 5G devrait créer non seulement au Canada, mais dans le monde entier. Grâce à son potentiel de renforcement de la croissance économique et de l'emploi, la technologie 5G sera l'un des facteurs clés déterminants pour le Canada, ajoutant de nombreuses voies à l'autoroute de l'information de notre avenir numérique.

¹ Le présent rapport mesure le PIB à l'aide de l'approche du revenu selon le PIB. Cette approche se définit comme la somme des salaires des employés, des bénéfices des entreprises, des revenus des propriétaires, des revenus de location, des intérêts nets, et des revenus nets provenant de la taxe de vente du gouvernement. Ainsi, les revenus du PIB supplémentaire seront redistribués dans ces nombreux domaines, y compris la main-d'œuvre.

² En dollars canadiens indexés de 2007.

³ 600 MHz, 3,5 GHz et ondes millimétriques.

Alors que la technologie numérique se propage rapidement dans tous les secteurs, de nombreuses innovations dépendent du transfert des bits et des octets d'un endroit à un autre. L'infonuagique, qui devient graduellement la norme pour le stockage et le transfert de données, en est un exemple. Même la plus simple des analyses de données nécessite un téléchargement constant en aval et en amont. Ce n'est qu'un exemple de notre progression vers une véritable société de l'Internet des objets. Dans le cadre de la présente économie d'information, l'amélioration de la performance d'Internet et de la transmission des données a un effet semblable aux réductions du prix du carburant pour une économie industrielle, c'est-à-dire qu'il s'agit d'améliorations qui peuvent grandement influencer la productivité, l'efficacité et, au bout du compte, la croissance des revenus. La technologie 5G, un des développements en télécommunications les plus attendus des dernières années, est la prochaine génération non seulement de l'Internet mobile, mais aussi de la connectivité dans son ensemble. Elle améliorera considérablement notre capacité de transmettre, de stocker et d'analyser des données, mais au bout du compte, sa force et son potentiel reposent dans sa capacité de mettre en œuvre une gamme de nouvelles technologies qui peuvent changer nos vies. Des véhicules autonomes aux chirurgies à distance, la technologie 5G a un potentiel immense pour véritablement façonner un avenir connecté.

Le présent document analysera et estimera les répercussions de cette amélioration technologique sur l'économie canadienne. La section I traitera des technologies qui soutiennent ce réseau de connectivité de prochaine génération et les horizons temporels de déploiement prévu. La section II donnera des exemples clés de la capacité de la technologie 5G de favoriser un avenir numérique en abordant des cas d'utilisation viables dans trois secteurs. La section III examinera les besoins précis en main-d'œuvre et compétences liés à cette technologie, et la section IV présentera les impacts potentiels de la technologie 5G sur l'économie et le marché du travail du Canada. Précisément, ces prévisions estimeront l'impact de la technologie 5G sur le PIB du Canada et l'emploi total d'ici 2020 selon deux horizons temporels de déploiement possibles.

Section I : Aperçu de la technologie 5G – Qu’est-ce que c’est et pourquoi est-elle importante?



À bien des égards, le terme « technologie de télécommunications 5G » est une appellation erronée. En vérité, la technologie 5G n’est pas qu’une seule technologie : elle est plutôt une vague de technologies de prochaine génération développées conjointement par des entreprises, le milieu universitaire, les gouvernements et d’autres joueurs dans le but de donner le prochain essor à la performance d’Internet¹. Les spécifications qui sous-tendent la technologie 5G sont encore en cours de développement, de négociation et de diffusion. Cependant, des partenaires mondiaux collaborent présentement pour établir des normes de base qui définissent ces technologies. Récemment, un collectif mondial sur le sujet², 3rd Generation Partnership Project (3GPP), a lancé la spécification Version 15 (2018) qui définissait l’architecture de système et l’ensemble de fonctions et de caractéristiques nécessaires pour déployer un système de cinquième génération commercialement exploitable³. Par la suite, la Version 16 (prévue pour décembre 2019) définira les spécifications relatives à la connectivité « véhicule connecté à tout » (« vehicle-to everything » ou V2X), l’accès par satellite, le « découpage réseau » (« network slicing »), l’Internet des objets et d’autres sujets importants qui sont essentiels pour souligner le plein potentiel de la technologie 5G. Ce vaste consensus sur ce à quoi ressemblera la technologie 5G et ce qu’elle pourra faire, ainsi que sur les technologies clés qui la guideront, est une étape cruciale de ce parcours.

Quels changements la technologie 5G apportera-t-elle?

À l’échelle des fonctionnalités de base, la technologie 5G permettra des hausses considérables de la bande passante (quantité de données transmises par seconde) et réduira la latence de façon significative (délai de transmission des données)⁴ à des fins commerciales et pour les consommateurs. Alors que la spécification de l’Union internationale des télécommunications exige des vitesses théoriques maximales de 20 Gbps⁵, les vitesses réelles dépendront de facteurs comme la géographie,



1 Margaret Rouse, Wireless Technologies: 5G (Tech Target : 2017), <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/5G>.

2 « About 3GPP », 3GPP: A Global Initiative, <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp> (2018).

3 « Release 16 », 3GPP: A Global Initiative, <http://www.3gpp.org/release-15> (16 juillet 2018).

4 Brian Santano, 5G: The Road to Low Latency (EDN Network : 23 février 2018), <https://www.edn.com/electronics-blogs/5g-waves/4460346/5G--The-road-to-low-latency>.

5 Anthony Spadafora, ITU drafts 5G specs: 20Gbps downloads, 4ms latency per cell, (BetaNews : 2016), <https://betanews.com/2017/02/28/5g-standard-specs/>.

l'encombrement du réseau et le niveau de mise en œuvre de l'infrastructure de prochaine génération. L'attente soulevée dans la littérature technique est de 1 Gbps pour les utilisateurs d'appareils mobiles et de 10 Gbps pour les utilisateurs d'appareils fixes, une amélioration significative par rapport aux vitesses actuelles : par exemple, au deuxième trimestre de 2017, la vitesse moyenne de la bande passante des appareils fixes était de 59,67 Mbps au Canada⁶. Dans l'intervalle, la latence devrait être réduite à 1 milliseconde. Les seuils actuels de latence varient de 10 à 700 millisecondes selon l'emplacement du serveur, le type de connexion et l'encombrement du réseau⁷. Ce facteur est particulièrement pertinent pour les développements très attendus comme les véhicules autonomes et les chirurgies à distance qui dépendent d'une faible latence. La technologie 5G promet une variété d'autres améliorations, notamment la fonctionnalité mobile à 500 km à l'heure, la localisation terminale à moins de 1 mètre, et une haute densité de connexion (1 million de dispositifs par kilomètre carré).



Ces développements, et bien d'autres encore, nécessitent que la technologie 5G fasse une transition vers des spectres sous-utilisés à fréquence supérieure au minimum au-delà de 3,0 GHz. Le spectre à ondes millimétriques est généralement considéré comme étant entre 6 et 100 GHz⁸, et des essais visant la 5G sont présentement effectués dans cette échelle. La portée exacte du spectre 5G à utiliser dépendra de la disponibilité, du calendrier des ventes aux enchères, ainsi que des modèles technologiques et opérationnels liés à l'établissement d'entreprises de télécommunications. Essentiellement, les portées à fréquence supérieure peuvent transmettre de plus grandes quantités de données, mais peuvent être restreintes par des portées inférieures et leur vulnérabilité aux obstacles physiques. Les rouages internes de la technologie 5G nécessitent la mise en œuvre de changements technologiques clés touchant la connectivité qui favoriseront ultérieurement un avenir lié à l'IdO.

Les technologies de cinquième génération

Petites cellules

Les petites cellules représentent un changement technologique étroitement lié à la technologie de cinquième génération. Comparativement à l'infrastructure de télécommunications actuelle nécessitant peu de grandes cellules ou macrocellules transmettant des ondes à basse fréquence sur de longues distances, les petites cellules de la technologie 5G seront densément distribuées au sein des villes afin de transmettre des ondes à haute fréquence sur de courtes distances. Les femtocellules, les picocellules et les microcellules sont généralement considérées comme des sous-catégories des petites cellules et leurs portées se situent habituellement entre quelques centaines de mètres et 2 kilomètres⁹. Par comparaison, les portées des macrocellules présentement utilisées sont d'environ 20 kilomètres¹⁰. Les petites cellules de faible puissance et contrôlées par

6 « Rapports : Canada », Speedtest, <http://www.speedtest.net/reports/fr/canada/> (19 septembre 2018).

7 Imtiaz Parvez, Ali Rahmati, Ismail Guvenc, Arif Sarwat, Huaiyu Dai, A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions (arXiv : 29 mai 2018), <https://arxiv.org/pdf/1708.02562.pdf>.

8 Lindsay Notwell, 5G – A Few Frequency Facts (CIO : 21 septembre 2017), <https://www.cio.com/article/3226451/networking/5g-a-few-frequency-facts.html>.

9 « Femtocells, Microcells, and Metrocells: The Complete Guide to Smart Cells », RepeaterStore, <https://www.repeaterstore.com/pages/femtocell-and-microcell> (16 juillet 2018).

10 Phillip Tracy, Small cells: Backhaul difficulties and a 5G future (RCR Wireless News : 11 juillet 2016), <https://www.rcrwireless.com/20160711/network-infrastructure/small-cells-tag31-tag29>.

l'opérateur devraient permettre d'améliorer la capacité des réseaux, la densité et la couverture des signaux, surtout à l'intérieur où la majeure partie de la transmission des données est effectuée.

Technologie « entrées multiples, sorties multiples » (MIMO) et formation de faisceaux

Les petites cellules sont dotées d'antennes MIMO massif et de logiciels de traitement des signaux de formation de faisceaux. La technologie MIMO massif permet à de multiples signaux de données d'être transmis simultanément sur le même canal radio, ce qui est particulièrement important pour le déploiement de la technologie 5G puisqu'elle peut traiter des problèmes éventuels de pénurie de spectres. Alors que la technologie MIMO conventionnelle utilise de 2 à 4 antennes, la technologie MIMO massif peut utiliser des centaines d'antennes au sein de l'émetteur et du récepteur dans une même composante matérielle¹¹. Cette considération est importante puisqu'un élément clé de la recherche sur la technologie 5G consiste à comprendre comment intégrer essentiellement plus d'antennes dans les téléphones intelligents et les stations de base (ou les petites cellules). Dans l'intervalle, la formation de faisceaux est une technique de traitement des signaux qui détermine la voie physique de transmission de données la plus efficace vers l'utilisateur d'un appareil mobile particulier, tout en réduisant l'interférence avec les autres utilisateurs et les obstacles. Les données sont ensuite envoyées directement au récepteur, ce qui augmente la probabilité d'une transmission réussie et réduit l'interférence et la consommation énergétique.

Découpage réseau (« network slicing »)

Bien que la large bande passante et la faible latence soient toutes les deux universellement désirables, certaines applications nécessitent l'une au détriment de l'autre. Par exemple, les véhicules autonomes nécessitent une communication instantanée avec tous les éléments qui l'entourent, y compris les autres véhicules. Dans ce cas-ci, il est facile d'imaginer comment même des millisecondes de latence supplémentaire peuvent affecter la probabilité de collision. Toutefois, la diffusion vidéo en continu à haute résolution requiert principalement une large bande passante alors que la latence est essentiellement peu pertinente. Le découpage réseau permet la superposition de multiples réseaux virtuels supportés par une infrastructure physique partagée commune¹². Ces partitions des réseaux virtuels peuvent être adaptées selon les besoins des utilisateurs et dans l'ensemble des fonctions comme la bande passante, la latence, la sécurité, la connectivité, la capacité et la couverture, permettant ainsi aux utilisateurs de choisir précisément les caractéristiques du réseau dont ils ont besoin, un processus qui améliore l'efficacité au bout du compte.

Informatique en périphérie

L'informatique en périphérie est une tendance qui met l'accent sur la décentralisation de la puissance de calcul informatique vers la périphérie du réseau (plus près des sources de données), contrairement à l'informatique en nuage, laquelle centralise les calculs.

¹¹ Jon Mundy, What is Massive MIMO Technology (5G.co.uk : 2017), <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>.

¹² Mohammad Asif Habibi, Bin Han, Hans D. Schotten, Network Slicing in 5G Mobile Communication: Architecture, Profit Modeling, and Challenges (arXiv : 4 juillet 2017), <https://arxiv.org/pdf/1707.00852.pdf>.

En rapprochant la puissance de traitement de la source de données, la latence et l'encombrement du réseau sont considérablement réduits¹³, ce qui a une incidence sur la qualité de la couverture. L'informatique en périphérie est également utile lorsqu'il est impossible ou difficile d'envoyer des données dans le nuage (comme sur une plateforme de forage en mer ou des télécapteurs de l'IdO).

Horizon temporel du déploiement

L'horizon temporel nécessaire pour une profonde pénétration des technologies 5G dépendra d'un certain nombre de facteurs, notamment la date de la vente aux enchères du spectre, les cadres réglementaires du déploiement, la rapidité du développement de l'infrastructure et le degré d'intérêt des consommateurs. Cependant, comme les investissements annuels dans l'infrastructure des technologies 5G atteignent déjà des centaines de milliards de dollars dans les pays développés¹⁴, la valeur et la capacité potentielles de ces technologies sont évidentes à l'échelle mondiale. Bien que certains pays aient déjà commencé à déployer cette technologie, le déploiement à grande échelle et la pénétration de ce réseau de prochaine génération devraient vraiment prendre forme au début ou au milieu des années 2020. La GMSA, par exemple, prévoit que la 5G prendra rapidement de l'ampleur après son lancement en 2020 et que la zone desservie atteindra un peu plus du tiers de la population mondiale en 5 ans¹⁵. De même, le cabinet de conseil McKinsey & Company prévoit que le déploiement initial des technologies 5G pourrait comporter des fréquences inférieures à 3,5 GHz et ressembler davantage à la LTE avancée (4G) et que la fréquence plus élevée (bande millimétrique) de la 5G viendra plus tard¹⁶. Si nous comprenons dès aujourd'hui les futures applications de la 5G, nous ferons un meilleur usage de cette technologie une fois qu'elle sera déployée.



Déploiement international de la 5G

Des progrès sont déjà observés concernant la 5G dans certaines régions du monde. En Corée, les Jeux olympiques d'hiver de Pyeongchang de 2018 ont été présentés comme les premiers « Jeux olympiques de la 5G¹⁷ » et un exploitant de réseau coréen a élaboré sa propre norme 5G pour les Jeux. Même si les combinés compatibles avec la 5G n'étaient pas encore disponibles (et ne le sont pas encore), les spectateurs ont pu visionner sur des tablettes des vidéos à 360 degrés montrant des compétitions d'athlètes à des vitesses quatre fois plus rapides que les vitesses permises par la technologie 4G.

Aux États-Unis, les 4 principales entreprises de télécommunications ont déjà annoncé leur calendrier de déploiement de la 5G¹⁸. Les services mis à l'essai et promis pourraient être

13 « What is Edge Computing? », GE Digital, <https://www.ge.com/digital/blog/what-edge-computing> (2017)

14 « The Full Impact of 5G on IT Industry Hardware Spending », Moor Insights & Strategy, <http://www.moorinsightsstrategy.com/research-paper-the-full-impact-of-5g-on-it-industry-hardware-spending/> (22 février 2018).

15 Emeka Obiodu, Mark Giles, The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligent automation (GSMA : 2018), <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=0efdd9e7b6eb1c4ad9aa5d4c0c971e62&download>.

16 Mark Collins, Arnab Das, Alexandre Menard, Dev Patel, Are you ready for 5G? (McKinsey & Company : février 2018), <https://www.mckinsey.com/industries/telecommunications/our-insights/are-you-ready-for-5g>.

17 « Les fans des Jeux Olympiques d'hiver de 2018 pourront profiter de la première diffusion mondiale à large échelle sur le réseau 5G », Jeux olympiques, <https://www.olympic.org/fr/news/les-fans-des-jeux-olympiques-d-hiver-de-2018-pourront-profiter-de-la-premiere-diffusion-mondiale-a-large-echelle-sur-le-reseau-5g> (février 2018).

18 Emeka Obiodu, Mark Giles, The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligent automation (GSMA : 2018), <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=0efdd9e7b6eb1c4ad9aa5d4c0c971e62&download>.

différents sur le plan de la qualité, mais on observe aux États-Unis un vaste mouvement ayant pour objectif de mettre en œuvre la 5G d'ici 2020. La Chine, où se trouve Huawei, le plus grand fabricant de matériel de télécommunications au monde¹⁹, a prévu d'injecter 800 millions de dollars en 2018 pour la recherche et le développement dans le cadre de son plan gouvernemental visant à déployer la 5G d'ici 2020²⁰. Grâce à ce type d'investissement, Huawei devrait être l'un des principaux chefs de file mondiaux du développement de la technologie 5G. Étant donné les plans accélérés de développement et de déploiement de cette technologie, il est essentiel que le Canada commence à prendre des mesures concrètes à ce chapitre.

Déploiement de la 5G au Canada

Lorsque l'on compare le Canada aux nombreux pays chefs de file du déploiement de la 5G, on constate qu'il progresse plus lentement. Le gouvernement canadien a annoncé que la vente aux enchères de la gamme de fréquences de 600 MHz à faible bande aura lieu en mars 2019, suivie des premières enchères du spectre de 3,5 GHz en 2020 et des enchères de la bande millimétrique en 2021²¹. À l'heure actuelle, certaines entreprises, comme Rogers Communications et Bell Canada, possèdent déjà un spectre dans la gamme de 3,5 GHz, alors que d'autres grands fournisseurs de services de télécommunications, dont TELUS, n'en possèdent pas encore. C'est pourquoi l'entreprise a demandé que les enchères de la haute fréquence débutent plus tôt, soit 2019. Bien que de nombreux fournisseurs de services de télécommunications canadiens, dont TELUS, exploitent déjà des installations d'essais 5G dans plusieurs villes canadiennes, notamment Toronto, Ottawa et Vancouver, un début hâtif des enchères aiderait le Canada à demeurer concurrentiel dans la course mondiale pour le déploiement de la 5G.

Section II : Incidence potentielle de la 5G sur les entreprises



La deuxième génération nous a apporté la messagerie texte, la troisième génération nous a donné l'Internet mobile à bande passante étroite, et la quatrième génération nous a présenté la diffusion en continu haute définition et le téléchargement à haute vitesse. Qu'apportera la cinquième génération aux consommateurs et aux entreprises? Une multitude de cas d'utilisation découleront de la 5G, allant des véhicules autonomes aux chirurgies à distance, mais de nombreux experts prédisent que les fonctionnalités de la 5G faciliteront surtout le véritable déploiement de l'IdO²². Des densités de connexion élevées, une faible latence, une bande passante élevée, des protocoles bien conçus pour le transfert de données de machine à machine pourraient enfin permettre l'existence de villes intelligentes et d'un monde où un nombre illimité d'appareils sont interconnectés. Ce développement ouvre également la

19 « Telecommunications equipment companies ranked by overall revenue in 2017 », Statista, <https://www.statista.com/statistics/314657/top-10-telecom-equipment-companies-revenue/> (2018).

20 Dan Strumpf, China Shakes up Telecom Leadership Ahead of 5G Rollout (Wallstreet Journal : 20 juillet 2018), <https://www.wsj.com/articles/china-shakes-up-telecom-leadership-ahead-of-5g-rollout-1532085180>.

21 David Paddon, Canada to hold key 5G spectrum auction in 2020, says Innovation Minister Bains (La Presse canadienne : 6 juin 2018), <https://www.cbc.ca/news/business/5g-wireless-spectrum-auction-1.4694214>.

22 Kaya Ismail, How 5G Will Unlock The True Potential of IoT Devices, (CMS Wire : 16 avril 2018), <https://www.cmswire.com/information-management/how-5g-will-unlock-the-true-potential-of-iot-devices/>.

porte à la prochaine phase des mégadonnées et à l'optimisation algorithmique connexe de presque tout. Dans les secteurs à forte densité de travail manuel et nécessitant une présence physique, comme le transport, le pétrole et le gaz, la fabrication et l'agriculture, l'automatisation ainsi que la surveillance et le contrôle à distance de l'équipement entraîneront tôt ou tard un changement des besoins en matière d'emploi. Il est possible que les coûts diminuent, que de nouvelles analyses de rentabilisation soient développées et que les populations migrent vers de nouveaux centres d'emploi à la suite des développements rendus possibles par la 5G.

Quelles innovations la 5G rendra-t-elle possibles?

La réalité augmentée et la réalité virtuelle sont deux technologies qui seront touchées par la 5G. Les vidéos à très haute définition projetées dans les lunettes de réalité virtuelle nécessitent une bande passante à très haut débit. Elles doivent en effet être transmises avec une très faible latence puisque tout retard dans l'actualisation du flux visuel peut provoquer des nausées²³. De plus, étant donné que cette technologie est souvent utilisée pendant un déplacement (les pare-brise de véhicules ou les produits de type Google Glass affichent la réalité augmentée pendant que la personne se déplace), la technologie 5G sera essentielle pour que la réalité augmentée et la réalité virtuelle atteignent leur plein potentiel.

Les applications de réalité augmentée et de réalité virtuelle vont bien au-delà du domaine des jeux et des effets visuels. Ces technologies peuvent être appliquées dans tous les secteurs, notamment l'application de la loi, la construction, l'éducation, la vente au détail et les soins de santé. Doté des technologies de réalité augmentée et de réalité virtuelle, le pare-brise d'une voiture de police peut détecter automatiquement les plaques d'immatriculation volées, les lunettes d'un ingénieur en construction peuvent indiquer l'emplacement des conduites de gaz souterraines, les futurs chefs peuvent pratiquer leur art dans une cuisine virtuelle, et les acheteurs peuvent voir des meubles virtuels dans leur salon avant de les acheter en ligne. Ce ne sont là que quelques exemples du potentiel des technologies comme la réalité augmentée et la réalité virtuelle rendues possibles par la 5G.

Aperçu sectoriel : La 5G et les soins de santé, la réalité augmentée et la réalité virtuelle

Dans le secteur des soins de santé, les coûts ont augmenté beaucoup plus rapidement que les salaires au cours des dernières décennies²⁴, accaparant une part croissante des revenus des particuliers et des gouvernements, d'autant plus que les populations des pays développés comme le Canada sont vieillissantes. C'est pourquoi les innovations apportées dans ce secteur sont souvent suivies de près et encouragées par les décideurs et l'industrie. La réalité augmentée et la réalité virtuelle ne sont qu'un exemple illustrant les changements importants que peuvent apporter les technologies 5G dans le secteur des soins de santé.

La chirurgie assistée par robotique occupe une place de plus en plus importante depuis 2001, année où elle a été approuvée pour la première fois par la Food and Drug

²³ Mattias Fridstrom, The bandwidth problem: 5G issues the VR industry must resolve (Venture Beat : 6 mai 2017), <https://venturebeat.com/2017/05/06/the-bandwidth-problem-5-issues-the-vr-industry-must-resolve/>.

²⁴ Mark J. Perry, Chart of the day (century2): Price changes 1997 to 2017 (AE Ideas : 2 février 2018), <http://www.aei.org/publication/chart-of-the-day-century-price-changes-1997-to-2017/>.

Administration des États-Unis²⁵. Par exemple, le système chirurgical da Vinci comporte un bras de caméra doté d'instruments chirurgicaux de précision manipulés par le chirurgien, qui est assis à une console située à environ 15 pieds de distance²⁶. La caméra transmet une vidéo haute définition agrandie du site chirurgical et les instruments peuvent améliorer la précision, la flexibilité et le contrôle, tout en réduisant le caractère envahissant de la chirurgie. Déjà intéressante en soi, cette technologie robotique le devient encore plus lorsqu'elle est combinée aux capacités de la 5G. Grâce à la vidéo haute définition, à la prestation de services extrêmement fiables et à une faible latence, la chirurgie robotisée pourra fort probablement être effectuée à distance.



Bien que certaines critiques courantes à l'égard des interventions chirurgicales à distance rendues possibles par la réalité augmentée et la réalité virtuelle portent sur le manque de formation des chirurgiens concernant la manipulation des machines, risquant ainsi d'entraîner de mauvais résultats pour les patients, l'utilisation des technologies 5G dans ce domaine peut en fait favoriser la création d'un nouveau modèle opérationnel pour les soins médicaux. Plutôt que de former tous les chirurgiens en chirurgie robotisée, un certain nombre d'entre eux peuvent effectuer des chirurgies à distance sous la supervision de médecins présents dans le bloc opératoire. Cette division du travail peut entraîner la marchandisation des soins médicaux et de leur prestation, ce qui pourrait accroître la concurrence et, au bout du compte, réduire les coûts. De plus, la nouvelle économie des soins médicaux rendue possible par la 5G pourrait favoriser un niveau de spécialisation accru dans le domaine, ce qui, encore une fois, ferait baisser les coûts. Au lieu de demander à tous les chirurgiens de devenir des experts dans divers domaines et tâches, des chirurgiens de partout dans le monde peuvent se spécialiser dans un type particulier de traitement ou de chirurgie.

Les technologies 5G peuvent aussi changer la nature des services d'urgence. Doté de faibles niveaux de latence et d'une bonne fiabilité, le réseau peut jouer un rôle clé dans l'innovation et l'utilisation futures de services comme les ambulances. Prenons l'exemple de la « super ambulance²⁷ » dotée de technologies 5G, par exemple d'un équipement vidéo haute définition, permettant de transmettre directement à l'urgence les radiographies prises par les ambulanciers. Ce type de transmission de données permettrait aux médecins d'examiner et de diagnostiquer les patients à distance et au personnel médical de traiter les patients plus efficacement à leur arrivée à l'hôpital.

Comme de nombreuses autres technologies révolutionnaires, la 5G pourrait non seulement

25 Jay Shah, Arpita Vas, Dinesh Vyas, The History of Robotics in Surgical Specialties (PMC : 14 décembre 2015), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4677089/>.

26 « The da Vinci Surgical System », DaVinci Surgery, <http://www.davincisurgery.com/da-vinci-surgery/da-vinci-surgical-system/> (2018).

27 « 5G – Part 2: Why 5G Will Become Essential for Emergency Services », Lanner, <https://www.lanner-america.com/blog/5g-part-2-5g-will-become-essential-emergency-services/> (18 juillet 2018).

améliorer les services offerts dans le secteur des soins de santé, mais également en modifier l'économie.

Aperçu sectoriel : La 5G et les technologies agricoles et l'Internet des objets

L'Internet des objets est souvent associé au concept de villes intelligentes, mais il est également très facile de l'appliquer dans d'autres domaines. L'équipement utilisé pour le forage pétrolier, les usines de fabrication de pointe, les entrepôts logistiques ou les navires de charge peuvent eux aussi être munis d'appareils interconnectés qui introduisent des mégadonnées à des fins d'analyse. Le secteur agricole subira probablement lui aussi des changements grâce à l'utilisation de dispositifs reliés à Internet et fonctionnant avec la technologie 5G. L'agronomie pourrait tirer profit d'une approche prédictive fondée sur l'analyse de mégadonnées, comparativement aux méthodes de culture actuelles, qui dépendent principalement de nombreuses variables partiellement influençables, comme les régimes climatiques. Les entreprises canadiennes spécialisées dans les technologies agricoles, telles Semios et Farmer's Edge, recueillent, à partir de stations météorologiques installées sur des fermes, de dispositifs télématiques et d'images satellites, des données sur les microclimats, l'état du sol, le cycle de vie des insectes et la santé des cultures. Ces données sont ensuite introduites dans des algorithmes d'apprentissage automatique qui recommandent alors les cultures les plus appropriées, en plus d'expliquer comment et quand les fertiliser et les récolter. Ces dispositifs de terrain profiteront probablement des technologies 5G puisqu'ils sont dotés d'une mémoire interne limitée nécessitant le téléchargement instantané de données vers le nuage.



D'autres entreprises spécialisées dans les technologies agricoles, comme Aker, se servent de données recueillies par des drones, lesquels nécessitent des connexions Internet fiables, une bande passante élevée pour le téléchargement de données en amont et une faible latence pour le pilotage à distance. Après le déploiement de la 5G, l'utilisation de drones en agriculture pourrait être plus répandue et le pilotage à distance pourrait devenir de plus en plus chose courante. La 5G pourrait également avoir un impact considérable sur une fonctionnalité vedette de la connectivité future, à savoir la capacité des machines sur le terrain de communiquer entre elles de façon instantanée. Les chercheurs du John Deere Technology Innovation Center prévoient que la 5G réduira à 1 seconde le délai de communication des moissonneuses-batteuses, lequel est actuellement de 30 à 60 secondes²⁸. Le dialogue machine-machine, la collecte et l'analyse algorithmique de mégadonnées, la surveillance à distance et l'utilisation d'équipement seront tous rendus possibles grâce à la technologie 5G, améliorant ainsi la production agricole.

Aperçu sectoriel : La 5G et le secteur manufacturier

La technologie 5G peut améliorer considérablement la productivité et l'innovation dans le secteur manufacturier. L'amélioration de la fiabilité, de la vitesse, de la sécurité et de la connectivité continue offre des possibilités pour mieux coordonner les opérations réalisées à l'intérieur des usines et la logistique de la chaîne d'approvisionnement d'un plus vaste

²⁸ Michal Lev-Ram, John Deere is Paying \$305 Million for this Silicon Valley Company (Fortune : 6 septembre 2017), <http://fortune.com/2017/09/06/john-deere-blue-river-acquisition/>.

réseau de production.

À mesure que la fabrication passe de configurations statiques à une production flexible et personnalisée, il est de plus en plus important d'avoir la capacité de modifier rapidement le processus de production. La technologie 5G permet de modifier plus rapidement la production de plusieurs façons. L'amélioration de la vitesse et de la fiabilité des connexions sans fil permet de délaissier les connexions filées, augmentant la marge de manœuvre lors du déplacement de l'équipement. En outre, lorsqu'un grand nombre de machines doivent être mises à jour, la quantité totale de données peut s'avérer importante.



Par conséquent, l'amélioration de la bande passante et des vitesses fiables permettent de reprogrammer les machines, tout en mettant à jour chacun des logiciels, afin de réduire les temps d'arrêt. Grâce à des connexions sans fil fiables, il est même possible de reconfigurer les machines pendant qu'elles sont déplacées²⁹.

Grâce à la technologie 5G, la vitesse accrue facilitera la collecte de données et permettra une surveillance constante du processus de travail afin de réduire les coûts de fonctionnement et de gestion. La connectivité du réseau 5G pourra prendre en charge des plateformes d'analyse exploratoire liées à la maintenance prédictive et préventive, permettant aux entreprises de mieux détecter les pannes et les encombrements potentiels sur l'équipement avant qu'ils ne se produisent et de réduire ainsi les perturbations et les temps d'arrêt³⁰. De plus, l'amélioration de la surveillance et de la collecte de données pourra faciliter l'application de l'ingénierie avancée relative au cycle de vie, laquelle utilise des données de diagnostic pour étudier les possibilités en matière de conception des opérations et de déploiement à des fins de planification à long terme³¹. Appliquées ensemble, les technologies 5G pourront aider à produire des gains d'efficacité dans le secteur de la fabrication, ce qui, au bout du compte, permettra d'accroître la productivité à moindre coût et stimulera l'augmentation des recettes.

Section III : Répercussions de la technologie 5G sur la main-d'œuvre



29 « Applications for 5G in Production Communication Networks », Salzburg Research, <https://www.salzburgresearch.at/blog/applications-for-5g-in-production-communication-networks/> (mai 2016).

30 Andrew Allock, Is Manufacturing Ready for 5G? (Machinery : 12 juillet 2018), <http://www.machinery.co.uk/machinery-features/is-manufacturing-ready-for-5g>

31 Martti Mantyla, Industrial Use Cases of 5G (Aalto University) <http://www.5gsummit.org/helsinki/docs/session%201/Session1-Martti-Aalto.pdf>.

Le Canada et la hausse des emplois en technologie de cinquième génération

Comme le Canada accuse actuellement un retard par rapport à certains chefs de file mondiaux (notamment la Chine, les États-Unis et l'Union européenne) concernant le déploiement des technologies de cinquième génération, les entreprises canadiennes en sont encore aux premières étapes de l'embauche. Par conséquent, il est difficile à ce stade-ci de déterminer avec précision les emplois en phase de démarrage qui seront offerts relativement à l'architecture, à la conception ou au déploiement de ces technologies. Cela dit, malgré la lenteur de leur déploiement, les technologies 5G jouent déjà un rôle dans notre économie, en créant des emplois et en accélérant l'acquisition de compétences clés. Les postes offerts dans ce domaine sont d'ailleurs de plus en plus nombreux, alors que le Canada renforce sa capacité et son infrastructure logicielles en prévision de la vente aux enchères du spectre.

Les réseaux définis par logiciel (réseaux SDN) et la virtualisation des fonctions de réseau (NFV) sont des technologies qui se retrouvent au cœur des futures infrastructures 5G. Elles sont essentielles pour gérer la complexité des exigences relatives aux technologies 5G, notamment la nature hétérogène des appareils connectés prévus (véhicules autonomes, technologie mobile de prochaine génération, capteurs de l'IdO, etc.). Ces technologies sont également essentielles pour gérer la complexité des interférences causées par les appareils sans fil en raison des exigences relatives à la densification des petites cellules. La complexité de ce logiciel et les applications permises par ces plateformes nécessitent un travail de développement considérable et un important cycle de mise à l'essai avant leur commercialisation.

Plusieurs emplois en conception de logiciels et en génie logiciel sont actuellement affichés sur des sites d'emploi canadiens comme Indeed.ca ou Monster.ca. Comme les technologies 5G dépendront fortement du réseautage SDN et des logiciels de gestion de réseaux, les postes qui sont affichés présentement s'intègrent probablement dans une phase de « préparation » en vue du déploiement. De plus, même s'il faut attendre quelques années avant de déployer cette technologie au Canada, compte tenu du temps nécessaire (de 18 à 24 mois) pour développer, mettre à l'essai et déployer adéquatement le logiciel de réseau 5G, il est essentiel de trouver dès maintenant les personnes possédant les compétences et les aptitudes pertinentes.

Coup d'œil sur les emplois et les compétences liés aux technologies 5G

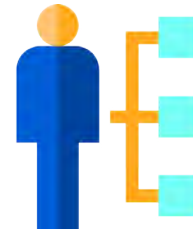
Plusieurs sites d'emploi canadiens ont été consultés dans le but de trouver les emplois liés aux technologies 5G qui sont offerts au Canada. En tout, environ 340 000 emplois ont été recherchés dans l'ensemble du pays en utilisant des paramètres propres aux technologies 5G et aux télécommunications. Il est particulièrement intéressant de constater qu'à l'heure actuelle, de nombreux emplois liés aux technologies 5G ne sont pas affichés comme tels, mais plutôt en référence à des technologies et à des concepts qui sont importants pour les réseaux 5G ou en rapport avec eux. De plus, au Canada, de nombreux emplois sont annoncés comme étant des emplois « en technologie LTE avancée », ce qui évoque davantage notre réseau de télécommunications actuel plutôt que celui de l'avenir. Après avoir examiné plus en détail les postes offerts, il apparaît clairement que les

compétences et, plus tard, les postes eux-mêmes feront la transition vers des emplois liés aux technologies 5G lorsque les réseaux 5G canadiens seront déployés et opérationnels. Après cette constatation, nous avons poursuivi nos recherches sur les sites d'emploi en utilisant des critères définis de façon à trouver les emplois liés aux technologies 5G offerts au Canada d'après les compétences spécialisées et le contexte des offres d'emploi affichées.

Les paramètres de recherche ci-dessous sont utilisés pour trouver des emplois liés à la technologie 5G.

Exemple : TROUVER TOUTES LES OFFRES D'EMPLOI QUI CONTIENNENT [en anglais] :

- (nr ET lte) OU
- lte OU mimo OU mmwave OU
- ((sdn OR nfv) ET network) OU
- (backhaul ET (mobile OU wireless))



[nr=nouvelle radio; lte=évolution à long terme; mimo=entrées multiples, sorties multiples; mmwave=ondes millimétriques; sdn=réseau défini par logiciel; nfv=virtualisation des fonctions réseau]

Deux recherches d'emploi ont été faites : la première en août 2018 et la deuxième en septembre 2018. Des deux recherches, un plus grand nombre d'emplois a été trouvé lors de la recherche de septembre. Cette période a donc été choisie comme portrait pour l'analyse. Cependant, il est intéressant de noter que la recherche faite en août 2018 a donné plusieurs offres pour des étudiants en enseignement coopératif et des stages. La prévalence de ces emplois de niveau « subalterne » est un indicateur intéressant de la nature émergente de ce marché du travail technologique et des possibilités qui s'offriront aux nouveaux diplômés. Ces offres étaient moins notables lors de la recherche de septembre, probablement parce que les postes ont été dotés pour le début de l'année universitaire ou collégiale.

Conclusions : Emplois et compétences

Les recherches sur les sites d'emplois (Indeed.ca, 19 septembre 2018) ont généré un total de 322 emplois liés à la technologie 5G dans l'ensemble du Canada. Comparativement à d'autres territoires qui ont fait plus de progrès quant au déploiement de la technologie 5G, comme les États-Unis, la même recherche a produit un total de 5 459 emplois, soit plus de 10 fois le nombre d'emplois dans le domaine présentement disponibles au Canada. Les emplois liés à la technologie 5G au Canada qui ont été générés incluent les suivants :

- directeur principal de la recherche et du développement;
- ingénieur d'essais des protocoles en laboratoire;
- architecte de systèmes 5G;
- ingénieur concepteur de radiofréquences;



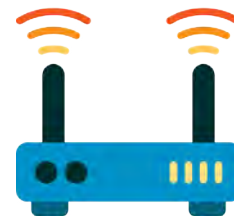
- spécialiste des technologies radio par hyperfréquences et ondes millimétriques;
- ingénieur en algorithme par hyperfréquences;
- ingénieur principal en radiofréquences;
- ingénieur de systèmes sans fil;
- architecte principal de réseau;
- ingénieur principal en logiciels.

De plus, il est clair que la majorité des emplois en technologie 5G trouvés au Canada étaient liés aux logiciels ou à l'ingénierie plutôt qu'au déploiement, à la mise en œuvre ou même à la mise à l'essai, alors que ce dernier secteur figurait dans les recherches pour d'autres territoires comme les États-Unis. Les portraits professionnels suivants présentent certains des emplois liés à la technologie 5G les plus fréquemment générés ainsi que leurs exigences en matière de compétences.

Portraits des principaux emplois liés à la technologie 5G

Architecte de systèmes 5G

L'architecte de systèmes 5G aide à créer des feuilles de route stratégiques pour les portefeuilles de produits de cinquième génération et travaille avec les gestionnaires de produits pour élaborer des plans de produits. Le candidat idéal pour ce rôle doit posséder une expérience pratique de la conception et de l'application de solutions architecturales, surtout à des fins de télécommunications. De plus, il a une expérience concrète d'une vaste gamme de technologies, y compris 3GPP, la conception et le déploiement technologiques à grande échelle, les environnements matériels divers, ainsi que le développement et le déploiement de logiciels.



En ce qui concerne les compétences techniques essentielles, le candidat idéal a de l'expérience et de grandes compétences dans les domaines suivants :

- systèmes infonuagiques;
- configurations de l'accès radioélectrique;
- spécifications 3GPP liées à la technologie LTE;
- nouvelle radio 5G.



Spécialiste des technologies radio par hyperfréquences et ondes millimétriques

Ce spécialiste mène des recherches sur l'architecture radio, surtout les composantes à hyperfréquences et ondes millimétriques, et travaille avec l'équipe de produits pour accroître la portée concurrentielle des technologies par hyperfréquences et ondes millimétriques. Le but de cette recherche est de s'assurer que ces composantes sont commercialisables.

En ce qui concerne les compétences techniques, le candidat idéal possède une combinaison des compétences et de l'expérience suivantes :

- 10 années d'expérience de la conception et de l'élaboration de systèmes de communication par hyperfréquences et ondes millimétriques;
- expérience de la simulation de circuits de radiofréquence;
- expérience de la participation à des associations d'industries et à des organismes d'élaboration de normes;
- doctorat préférablement dans le domaine des hyperfréquences, du génie électrique ou tout autre domaine connexe.

Ingénieur principal en logiciels (IdO)

Cet ingénieur doit diriger une équipe de développement de logiciels dans le but ultérieur d'établir une société moderne de génie logiciel. Le candidat idéal doit mettre en œuvre des pratiques de génie logiciel agile comme Scrum et l'intégration et le déploiement continus, ainsi qu'encadrer les membres de l'équipe.

Les connaissances et compétences techniques de cet ingénieur incluent les suivantes :

- expérience de la programmation orientée objet;
- expérience de l'automatisation des tests;
- expérience de l'infonuagique;
- connaissance de l'architecture de microservice;
- connaissance de l'architecture API (surtout RESTful);
- maîtrise de Javascript (Node.js);
- maîtrise des bases de données NoSQL et SQ;
- excellente compréhension des outils de mise en file d'attente de messages;
- maîtrise des outils DevOPS;
- expérience des réseaux cellulaires de télécommunication.

Compétences recherchées liées aux langages de programmation et à la technologie 5G

Bien que la popularité des langages de programmation puisse varier au fil du temps ou dépendre des exigences précises d'une entreprise, utilisant l'exploration de texte et le traitement du langage naturel des emplois liés à la technologie 5G qui ont été relevés, quelques langages de programmation revenaient fréquemment. Selon les recherches réalisées, les langages de programmation le plus souvent associés au développement de logiciels réseau étaient les langages de système comme C/C++ et l'assembleur CISC/

RISC. Ces langages s'appliquent davantage au développement de technologies comme la 5G plutôt qu'à des langages de niveau supérieur comme Python et JavaScript puisque les circuits et le matériel réseau pour la programmation de la technologie 5G nécessitent des langages de niveau inférieur à faible empreinte.

De plus, bien que la plupart des emplois liés à la technologie 5G trouvés étaient liés à la recherche et au développement de logiciels, où des emplois en architecture et conception de réseau sans fil ont été relevés, une analyse approfondie de ces postes a révélé les compétences clés suivantes :

- connaissances et expérience de l'ingénierie des radiofréquences;
- expérience des protocoles HSPA/HSPA+ (accès par paquets à haut débit);
- expérience des réseaux SDN (réseau défini par logiciel) et de la NFV (virtualisation des fonctions réseau);
- connaissance des normes de 3GPP (3G Partnership Project);
- connaissance des méthodes et pratiques MIMO (entrées multiples, sorties multiples);
- maîtrise de MATLAB/Simulink (simulations).

« Grappes de mots » fréquemment relevés dans les emplois liés à la technologie 5G

Les grappes de mots sont des mots regroupés selon un thème commun. Les grappes de mots compilés sont utiles pour générer un aperçu du type d'emplois affichés selon certains paramètres. Pour l'industrie de la 5G, les nuages de mots peuvent offrir un aperçu pratique des professions les plus recherchées, à partir duquel les ensembles de compétences qui y sont associés peuvent être relevés. Étant donné le niveau élevé d'investissement qui sera nécessaire dans le développement de la technologie et des applications logicielles pertinentes pour la 5G, il n'est pas surprenant que les termes « développeur de logiciels » soient les deux mots les plus populaires figurant dans les titres de poste. Les termes « testeurs de matériel » étaient également très présents, en plus de « architectes principaux de réseau ». Lorsqu'il est question des compétences pour ces professions, il est nécessaire de prendre en considération les talents qui possèdent des compétences en matière de logique et d'algorithmes. La complexité des logiciels de réseau et de communication pour la 5G créera une importante demande pour ces compétences à l'avenir.

Les titres de poste suivants représentent les 10 principaux groupes de mots relevés pour les emplois liés à la 5G :

1. développeur de logiciels (en anglais : software developer);
2. testeur (entrepreneur) (en anglais : contractor tester);
3. ingénieur en algorithme par hyperfréquences (en anglais : microwave algorithm);

4. architecte principal de réseau (en anglais : senior network);
5. testeur de dispositifs (en anglais : device tester);
6. développeur de données (en français);
7. développeur d'applications (en français);
8. ingénieur de la communication d'algorithmes (en anglais : algorithm communication);
9. architecte principal (en français);
10. bande de base 5G (en anglais : 5G baseband).

Aussi, l'utilisation d'algorithmes groupés dans les descriptions de travail peut également permettre de déceler les tendances liées aux emplois affichés. L'algorithme examine les mots de chaque emploi affiché et les regroupe dans un nombre choisi de grappes (trois dans ce cas-ci) selon des mots communs. L'algorithme groupé a trouvé les thèmes de base suivants pour regrouper les descriptions de travail en trois catégories :

1. emplois liés aux logiciels et aux essais;
2. emplois liés aux hyperfréquences et aux algorithmes;
3. emplois liés au réseautage.

Le premier groupe (189 postes) comprend les titres de poste et les mots communs pour les emplois liés aux logiciels et aux essais.

Mots clés : Essai, logiciel, réseautage, exigences, sans fil, protocoles, technologies (en anglais : testing, software, networking, requirements, wireless, protocols, technologies)

Exemples de titres de poste : Spécialiste principal de la qualité des réseaux, développeur d'essais LTE 4G/5G, ingénieur d'essais sans fil, développeur de logiciels pour communications réseau et C/C++, vérificateur de la performance radio, développeur de logiciels de couche 3 sans fil, analyste de la qualité des réseaux (en anglais : Sr. Specialist- Network Quality, LTE 4G/5G Test Developer, Wireless Test Engineer, Software Developer – Network Communications & C/C++, Radio Performance Verification, Experienced Wireless Layer 1 Software Developer, Network Quality Analyst)

Dans le deuxième groupe (83 postes), les mots et les titres postes les plus communs ont été relevés pour les emplois liés aux hyperfréquences et aux algorithmes.

Mots clés : Technologies, communications, codes, solutions, fibre, lte, hspa+, architecture (en anglais : technologies, communications, code, solutions, fibre, lte, hspa+, architecture)

Exemples de titres de poste : Expert radio des hyperfréquences et ondes millimétriques, ingénieur des algorithmes à hyperfréquences, ingénieur des algorithmes, expert des algorithmes à hyperfréquences, architecte des télécommunications, ingénieur des radiofréquences (en anglais : Microwave/mmWave Radio Expert, Microwave Algorithm Engineer, Algorithm Engineer, Microwave Algorithm Expert)

Sous le troisième groupe (50 postes), les mots et les titres d'emplois suivants étaient les plus communs pour les emplois liés au réseautage.

Mots clés : Réseautage, client, solutions, sans fil, technologies, données, logiciels, architecture, nuage (en anglais : networking, customer, solutions, wireless, technologies, data, software, architecture, cloud)

Exemples de titres de poste : Technologue du réseautage sans fil, concepteur pour le déploiement de réseaux cellulaires (LTE 4G), concepteur de systèmes sans fil de niveau intermédiaire, diplômé 2018 du programme de développement du leadership et d'ingénierie, gestionnaire principal de la performance des réseaux sans fil, ingénieur résident SDN/réseau (en anglais : Wireless Networking Technologist, Cellular Network Deployment Designer (LTE 4G), Wireless System Designer - Intermediate, 2018 Graduate Engineering and Leadership Development Program, Senior Manager- Wireless Network Performance, Resident SDN/Network Engineer)

Il est clair que les demandes en matière d'emplois liés à la 5G au Canada présentement sont axées sur la recherche, le développement de logiciels et l'architecture de réseau. Il s'agit de professions clés qui doivent mener le progrès de toute technologie révolutionnaire comme la 5G. Toutefois, alors que nous approchons le déploiement et les mises aux enchères du spectre, l'impact de la 5G sur les emplois devient exponentiel. Ayant un impact dans une variété de secteurs, la 5G peut permettre des changements jamais tentés auparavant dans des secteurs comme les soins de santé, le commerce, la fabrication et le transport. Parallèlement, la 5G créera des possibilités d'emploi dans de nombreux secteurs, comme la réglementation, la mise à l'essai et le développement d'infrastructures. Le développement des possibilités de la 5G dans l'ensemble de notre société n'en est encore qu'à ses débuts présentement. Au fur et à mesure que nous approcherons du déploiement, le potentiel de cette technologie de connectivité révolutionnaire deviendra illimité.

Section IV : Prévisions en matière de main-d'œuvre et d'économie de la 5G



Même si elle n'en est qu'à ses tout débuts au Canada, la technologie 5G crée déjà des possibilités d'emplois pour les Canadiens. Présentement axées sur les secteurs de la recherche et du développement et du développement de logiciels, les possibilités s'élargiront et se diversifieront au fur et à mesure que les mises aux enchères approchent. Naturellement, au fil du temps et alors qu'une direction claire se prépare pour la prochaine vague de connectivité, diverses professions verront probablement le jour, du déploiement aux essais, en passant par une utilisation dans tous les secteurs de l'économie. Ces applications seront le point central du véritable potentiel de la 5G : de sa capacité à intégrer les véhicules autonomes dans nos rues d'une façon sécuritaire et efficace à la restructuration du secteur de la santé en adoptant des pratiques comme la chirurgie à distance, cette prochaine génération de connectivité pourrait redéfinir notre avenir connecté, nous rapprochant d'une véritable réalité « intelligente » fondée sur l'IdO. Les impacts sur la croissance de l'emploi et de l'économie dans de telles circonstances sont importants. Par conséquent, nous avons prévu l'impact potentiel de la 5G sur notre économie et nos besoins en talents au Canada. Puisque les impacts intégraux et variés des applications de cinquième génération dans l'ensemble des secteurs sont également liés au moment où auront lieu les ventes aux enchères du spectre, nous avons établi deux prévisions : recenser les perspectives de croissance de l'emploi et de l'économie si les ventes aux enchères ont lieu en 2019 par rapport aux perspectives de croissance de l'emploi et de l'économie si les ventes aux enchères ont lieu deux ans plus tard, soit en 2021. Bien que cet écart puisse sembler minime, étant donné l'immense potentiel de la 5G dans l'ensemble de l'économie, même un écart de deux ans est considérable.

Base des prévisions du PIB et de l'emploi

Les prévisions du PIB net et de l'emploi proviennent d'abord d'une base de données historiques à l'échelle nationale obtenues auprès de l'Organisation de coopération et de développement économiques. La variable explicative clé utilisée dans les analyses du PIB et de l'emploi est le nombre d'abonnements mobiles par personne, lequel sert d'indicateur pour la pénétration des télécommunications dans l'ensemble du pays. En utilisant une base qui s'étend sur de nombreux pays, un échantillon plus large de données est prélevé, lequel permet une détermination plus précise de l'effet moyen pour bon nombre de pays. L'échantillon élargi permet également de recenser les relations statistiquement significatives, qu'il serait difficile de déterminer avec exactitude si un seul pays était étudié.

Ayant accès à 20 années de données sur 38 pays, le CTIC a choisi un certain nombre de variables utilisées comme mesures de contrôle dans le développement de prévisions, notamment les dépenses nationales en recherche et développement comme pourcentage du PIB, les niveaux d'enseignement supérieur pour divers groupes d'âge, le ratio dette-PIB, et le déficit annuel comme pourcentage du PIB.

En utilisant cette méthodologie, nous constatons que le Canada possède un nombre total moyen de voies d'accès aux télécommunications (environ 160), mais un nombre peu élevé de voies d'accès aux télécommunications mobiles (moins de 100) par rapport à d'autres pays.

Figure 1 : Voies d'accès mobile

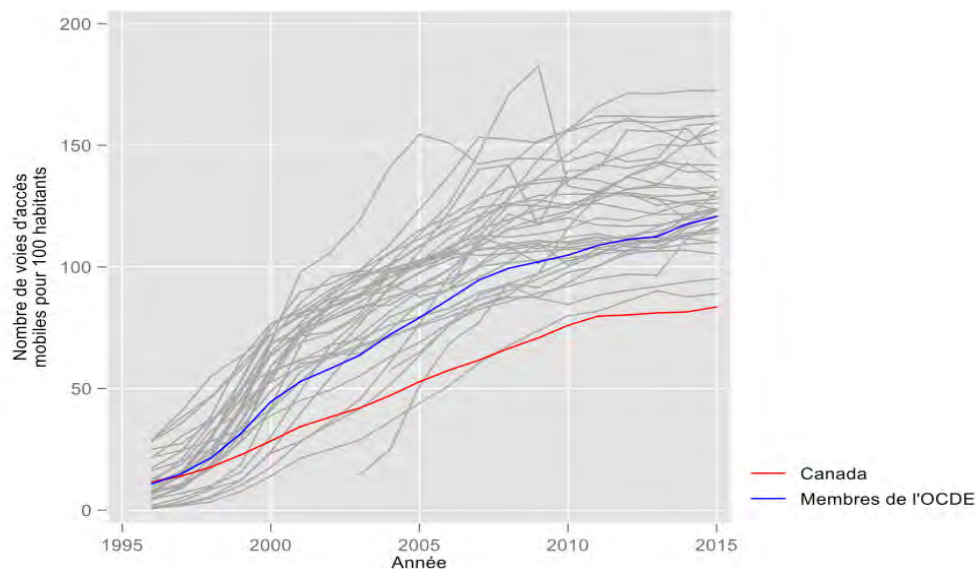
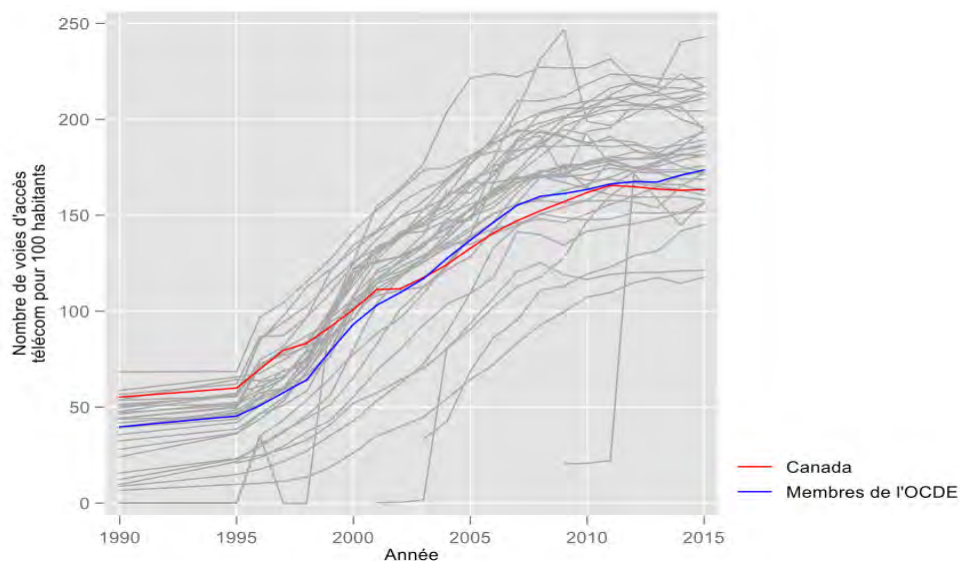


Figure 2 : Nombre total de voies d'accès aux télécommunications par pays



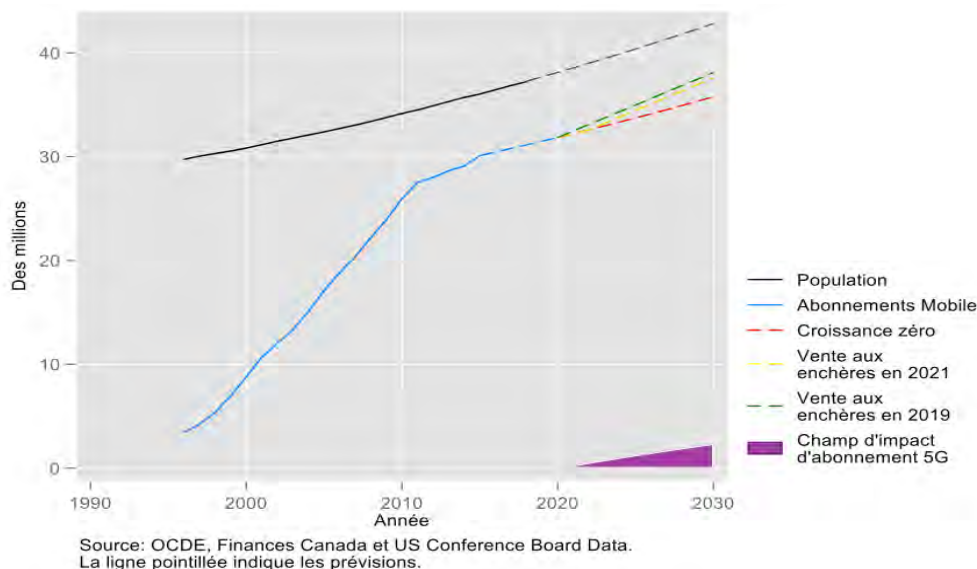
À l'aide d'une série d'hypothèses que le CTIC a choisies en se fondant sur des entrevues avec des joueurs clés et des témoignages d'experts, la relation historique entre les voies d'accès aux télécommunications mobiles (ou abonnements) et le PIB ou l'emploi a été établie. Cette relation est essentielle pour prévoir la hausse future des abonnements aux services mobiles qui est entièrement attribuable à la 5G. En d'autres termes, il est nécessaire de comprendre l'impact graduel de la 5G sur les abonnements aux services mobiles ou le nombre d'abonnements supplémentaires aux services mobiles prévus à la suite du déploiement de la 5G.

Augmentation des abonnements mobiles liés à la 5G

La figure 3 montre 3 scénarios d'augmentation du nombre d'abonnements mobiles à la suite du déploiement de la 5G. Alors que le scénario de « croissance nulle » (ligne pointillée rouge) représente une situation hypothétique où la 5G n'existe pas et la LTE 4G demeure en place, les lignes verte et jaune indiquent des scénarios dans lesquels des ventes aux

enchères du spectre ont lieu en 2019 et 2021, respectivement, entraînant un impact sur l'augmentation du nombre d'abonnements en 2020 et 2022, respectivement. En vertu du scénario de vente aux enchères en 2021, nous estimons que le Canada enregistrera 37,6 millions d'abonnements mobiles d'ici 2030 à la suite du déploiement de la 5G. De même, un scénario de vente aux enchères en 2019 permettrait d'enregistrer 38,1 millions d'abonnements d'ici la même période, ce qui représente 500 000 abonnements mobiles de plus si la période de vente aux enchères est quelque peu avancée.

Figure 3 : Prévisions sur les voies d'accès aux télécommunications mobiles



Bien qu'un scénario de vente aux enchères en 2021 ait déjà été lancé, certaines entreprises, comme TELUS, demandent que des ventes aux enchères du spectre à hautes fréquences aient lieu beaucoup plus tôt, dès 2019. Ces deux scénarios sont censés saisir la différence potentielle des impacts selon ces deux horizons temporels. Les autres facteurs qui détermineront la croissance du nombre d'abonnements mobiles incluent l'élaboration de normes et de règlements pertinents, le prix de la prestation de services, ainsi que d'autres changements à la politique et à la conjoncture économiques comme les taux d'intérêt variables, l'attrait d'investissements étrangers directs, et la concurrence dans l'industrie. Ces prévisions sont conçues pour offrir une estimation de l'impact sur les retombées économiques advenant un changement de date des ventes aux enchères.

Prévisions de l'impact sur le PIB

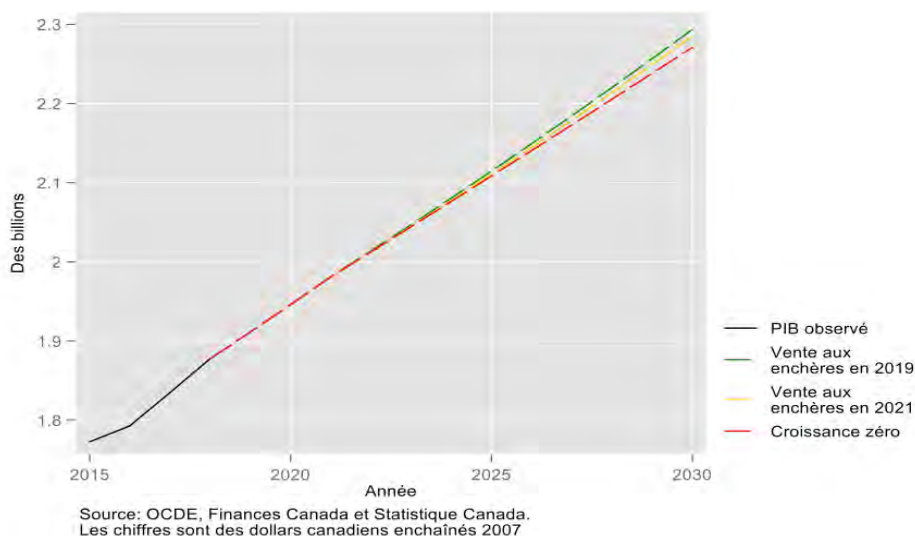
La 5G et la croissance de l'ensemble de l'économie canadienne (PIB) d'ici 2030

Le modèle de prévision du PIB utilise les scénarios de croissance du nombre d'abonnements mobiles à la suite du déploiement de la 5G pour prédire la croissance du PIB. Le présent rapport utilise l'approche du revenu du PIB, laquelle définit le PIB comme la somme des salaires des employés, des bénéfices des entreprises, des revenus des propriétaires, des revenus de location, des intérêts nets, et des revenus nets provenant de la taxe de vente du gouvernement.

Dans le cadre de notre recherche, nous déterminons que pour chaque abonnement mobile supplémentaire par 100 personnes, le taux de croissance du PIB est de 0,0311 %. De plus, le ministère des Finances prévoit un taux de croissance du PIB de 1,8 % de 2016 à 2021 et de 1,6 % de 2022 à 2030 selon les conditions économiques actuelles. Il faut noter que le taux de croissance estimé du PIB peut également augmenter ou diminuer en raison d'autres leviers économiques comme les investissements étrangers directs, le changement des taux d'intérêt et d'autres facteurs nommés précédemment. La figure 4 utilise cette prévision de la croissance et l'associe à l'horizon temporel de la vente aux enchères en 2021 (l'estimation du ministère des Finances comprend déjà l'impact futur de la 5G).

Selon cette méthodologie, l'horizon temporel du scénario de la vente aux enchères en 2019 (ligne verte) représente un taux considérablement plus élevé d'abonnements mobiles à la suite du déploiement de la 5G. Selon l'horizon temporel de la vente aux enchères en 2021, le PIB total du Canada atteindra environ 2,285 trillions de dollars, en tenant compte de l'impact de la 5G d'ici 2030. Cependant, si la vente aux enchères est devancée de 2 ans, soit 2019, le PIB total du Canada sera de quelque 2,294 trillions de dollars d'ici 2030. La différence entre l'horizon de 2021 et celui de 2019 est d'environ 9 milliards de dollars. Ce chiffre représente plus que la valeur des exportations combinées du Canada vers l'Inde et la Corée, lesquelles totalisent un peu plus de 8,6 milliards de dollars par année³².

Figure 4 : Impact de la 5G sur le PIB (PIB total du Canada)



Impact de la 5G sur le PIB

Comme la croissance cumulative du PIB de l'économie canadienne de la 5G selon les horizons temporels de 2019 et de 2021, les chiffres ci-dessous montrent l'impact potentiel sur le PIB de la 5G elle-même.

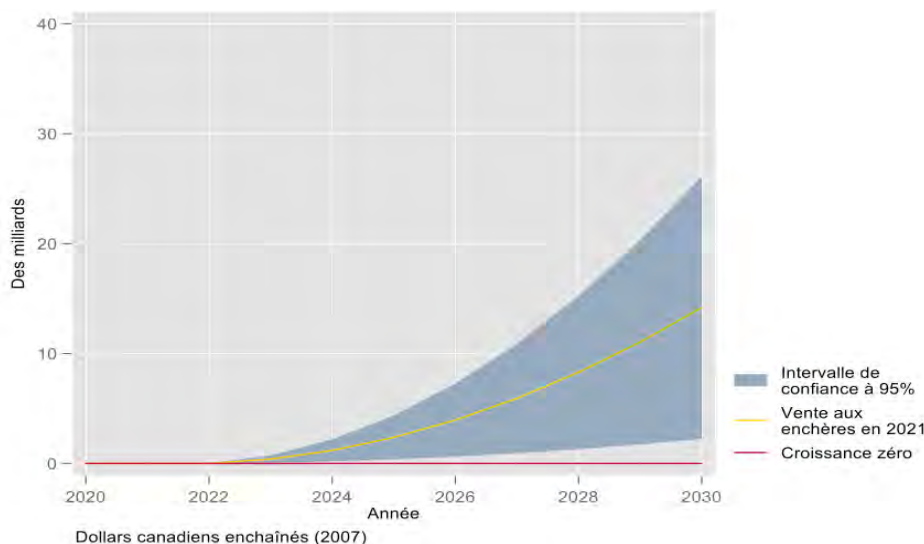
Nous avons estimé la croissance de la 5G relativement à l'impact sur le PIB selon les conditions actuelles et futures possibles. La figure 5 indique que selon l'horizon temporel d'une vente aux enchères en 2021, l'impact cumulatif de la 5G sur le PIB du Canada d'ici 2030 serait de 14,2 milliards de dollars³³ selon les conditions économiques actuelles.

³² « Le commerce international : Le point sur le commerce et l'investissement – 2017 : Tableau 4-2 Exportations de biens, 2016 », Affaires mondiales Canada, http://www.international.gc.ca/economist-economiste/performance/state-point/state_2017_point/index.aspx?lang=fra (19 juillet 2017).

³³ En dollars canadiens indexés de 2007.

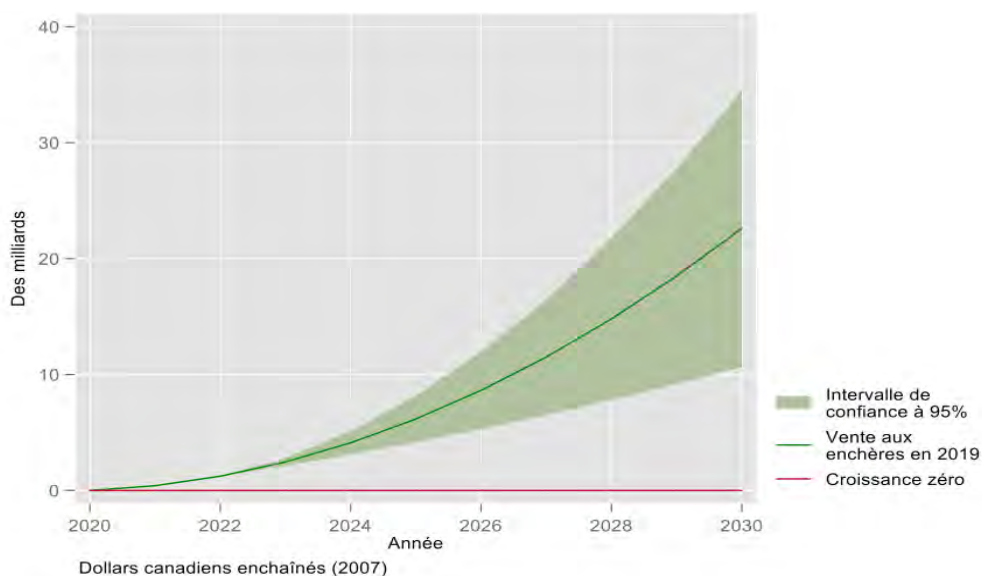
Toutefois, l'impact pourrait s'élever à 26,1 milliards de dollars en fonction de l'accélération d'autres facteurs économiques qui peuvent agir comme catalyseurs de la croissance économique. Ces catalyseurs peuvent inclure des investissements étrangers directs, le changement des taux d'intérêt ou une hausse du commerce international.

Figure 5 : Intervalle de confiance de l'impact cumulatif sur le PIB pour le scénario de vente en 2021



Par contraste, la figure 6 ci-après montre l'impact cumulatif de la 5G sur le PIB du Canada si la vente aux enchères a lieu en 2019. Ici, selon la conjoncture économique, l'impact de la 5G sur le PIB du Canada totaliserait quelque 22,6 milliards de dollars d'ici 2030. Cet impact pourrait s'élever à 34,5 milliards de dollars en fonction des autres facteurs économiques nommés précédemment.

Figure 6 : Intervalle de confiance de l'impact cumulatif sur le PIB pour le scénario de vente en 2019



Prévisions de l'impact de la 5G sur l'emploi

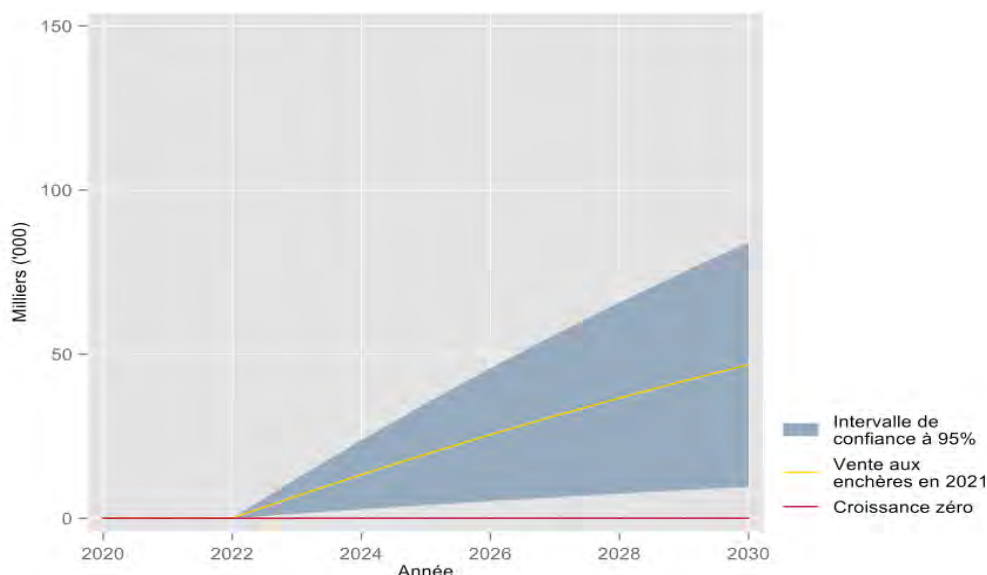
La prévision de l'impact sur l'emploi net utilise une approche similaire à la prévision de l'impact sur le PIB. À l'aide de l'approche du revenu du PIB, le revenu provenant du

PIB supplémentaire sera distribué dans de nombreux secteurs, y compris la productivité de la main-d'œuvre. Aussi, il faut reconnaître que les gains de productivité liés à la 5G permettront non seulement de créer des emplois, mais aussi d'augmenter les salaires des postes existants. Ainsi, il est erroné de calculer le salaire moyen par nouvel emploi créé en tenant compte du PIB supplémentaire établi et en le divisant par les emplois additionnels créés. L'approche du revenu du PIB inclut plutôt la somme des salaires des employés, des bénéfices des entreprises, des revenus des propriétaires, des revenus de location, des intérêts nets, et des revenus nets provenant de la taxe de vente du gouvernement.

Selon la relation historique définie entre le pourcentage de la population en âge de travailler qui occupe un emploi et le nombre d'abonnements mobiles par personne, cette relation est accompagnée des tendances relevées lors de la recherche primaire sur les besoins actuels et futurs en matière d'emplois qui sont associés à la 5G.

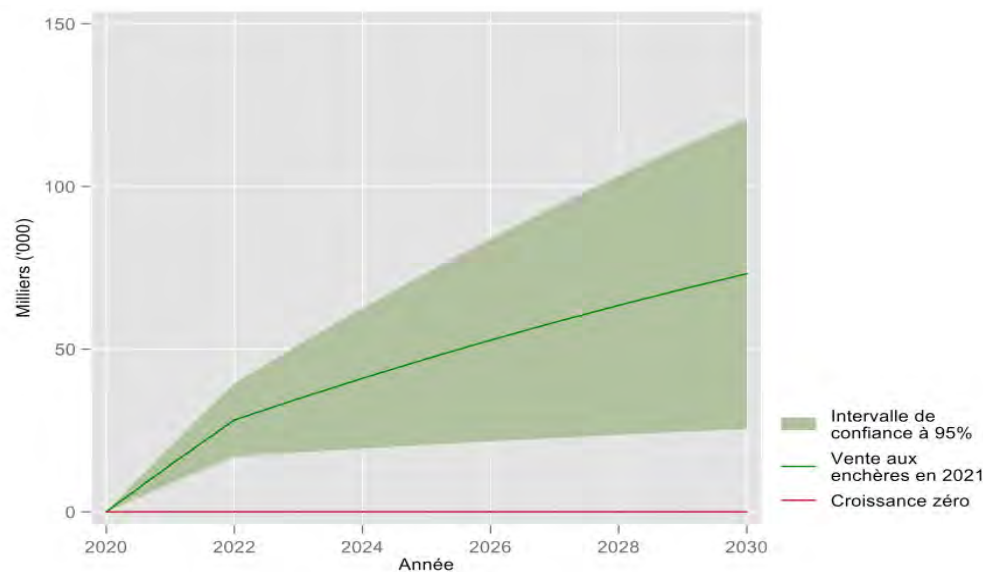
Les figures 7 et 8 montrent l'impact graduel de la 5G par rapport à la capacité actuelle de connectivité. La figure 7 montre l'impact cumulatif sur l'emploi de la 5G selon l'horizon temporel des ventes aux enchères de 2021. Si les ventes aux enchères ont lieu en 2021, la 5G aura permis de créer environ 46 800 emplois d'ici 2030. Cependant, encore une fois, si les conditions économiques actuelles sont touchées par d'autres changements pertinents ayant un impact sur des éléments comme les investissements, le développement des infrastructures et le commerce, quelque 84 000 emplois pourraient être créés d'ici cette même période.

Figure 7 : Intervalle de confiance de l'impact cumulatif sur l'emploi d'une vente aux enchères en 2021



De même, la figure 8 montre la même prévision en tenant compte de la tenue d'une vente aux enchères en 2019. L'impact sur l'emploi d'ici 2030 selon les conditions économiques actuelles est considérable. Selon l'horizon temporel d'une vente aux enchères en 2019, environ 73 200 emplois seront créés d'ici 2030. Toutefois, selon la croissance économique accélérée découlant d'une vente aux enchères en 2019, 121 000 emplois pourraient être créés d'ici 2030.

Figure 8 : Intervalle de confiance de l'impact cumulatif sur l'emploi d'une vente aux enchères en 2019



Engendrant un impact économique de 14 à 26 milliards de dollars et de 46 000 à 82 000 emplois, la tenue de ventes aux enchères du spectre en 2021 produirait d'importants avantages pour l'économie canadienne. Cependant, les avantages du devancement de la vente aux enchères en 2019, lesquels créeraient un impact économique de 22 à 35 milliards de dollars et de 73 000 à 121 000 emplois pour les Canadiens, sont clairs. En plus d'autres investissements et changements qui aident à stimuler la croissance économique globale, à attirer des investissements de grande qualité, à favoriser la croissance des petites entreprises et à accélérer le développement, l'avenir de la 5G au Canada est tout simplement des plus prometteurs.

Conclusion

On s'attend à ce que l'impact de la 5G sur l'économie et la société canadiennes dépasse celle des récents développements technologiques. Bien qu'il soit possible dès aujourd'hui de prévoir certaines de ses conséquences, notamment sur les perspectives de croissance de la main-d'œuvre et de l'économie, d'autres seront observées et analysées dans les années à venir, à mesure que la technologie évoluera et qu'elle sera déployée à grande échelle. Étant donné qu'il est souvent difficile de discerner l'incidence des technologies transformatrices actuelles, il est d'autant plus difficile de prédire l'avenir, particulièrement lorsqu'il est lié au progrès technologique.

Malgré certaines incertitudes et certains facteurs externes qui pourraient se manifester en cours de route, il y a cependant de bonnes raisons d'être non seulement optimiste, mais confiant quant à l'avenir de la 5G au Canada. Utilisant diverses méthodes pour comprendre l'incidence des technologies 5G sur l'économie et la main-d'œuvre, le présent rapport met en évidence les emplois et les compétences recherchés qui sont déjà connus et qui se pointeront après l'avènement de la 5G. Il présente également la voie de l'avenir pour l'économie et les besoins en matière de talents. En plus de souligner les progrès technologiques qui seront rendus possibles grâce à la 5G, tels que la réalité augmentée,

la réalité virtuelle et l'Internet des objets, tous des résultats importants, le présent rapport explore les besoins particuliers en matière de compétences liées à la 5G et les répercussions de ces technologies sur le PIB et l'emploi au Canada, en fonction de deux calendriers d'enchères.

La tenue de ventes aux enchères en 2021 ouvrira d'importantes perspectives de croissance économique au Canada. Selon les facteurs d'influence économique externes pris en compte, on estime qu'elle entraînera des retombées économiques allant de 14 à 26 milliards de dollars et qu'elle permettra de créer entre 46 000 et 82 000 nouveaux emplois pour les Canadiens, ce qui est tout un exploit. Toutefois, étant donné que de nombreux acteurs mondiaux font des progrès importants dans ce domaine beaucoup plus rapidement, la tenue d'enchères 2 ans plus tôt, soit en 2019, serait très avantageuse pour le Canada puisque la 5G entraînerait alors des retombées économiques de 22 à 35 milliards de dollars et créerait de 73 000 à 121 000 nouveaux emplois pour les Canadiens.

La 5G est beaucoup plus que la prochaine génération d'Internet mobile. Elle rendra l'économie encore plus vaste et plus accessible, créera plus d'emplois pour les Canadiens et contribuera à trouver des solutions aux défis sociétaux. Il est essentiel de déterminer le bon moment pour le déploiement de la 5G, et nous devons nous préparer dès aujourd'hui afin d'assurer notre succès collectif relativement à l'exploitation des capacités et des avantages de la 5G.

Annexes

I. Méthodologie de recherche

Ce rapport a été préparé à l'aide de divers outils de recherche primaire et secondaire. Parmi les outils de recherche primaire, mentionnons un comité consultatif, un nombre limité d'entrevues auprès d'informateurs clés et un questionnaire distribué aux employeurs de divers secteurs au Canada portant sur : a) leur compréhension de la 5G; b) leurs besoins en matière d'emploi dans le secteur des télécommunications; c) leurs attentes en matière de croissance attribuable à la 5G; d) leurs attentes en matière d'amélioration de la productivité liée à la 5G; et d) leur estimation des compétences que devront posséder les travailleurs qui utiliseront les technologies 5G.

Mis sur pied en février 2018, le comité consultatif est composé de neuf membres provenant, notamment d'instituts de recherche et d'organismes de réglementation, d'entreprises spécialisées dans le développement des technologies 5G et de grands fournisseurs de services de télécommunications, dont Rogers, TELUS et Ericsson. Le comité consultatif s'est réuni trois fois au cours de ce projet pour évaluer les progrès de la recherche, valider les données recueillies et fournir, au besoin, des ressources supplémentaires. Le comité consultatif a également joué un rôle clé dans la validation des résultats finaux du présent rapport.

Les entrevues ont été menées auprès de plusieurs acteurs dans le domaine des technologies 5G, notamment des fournisseurs de services nationaux, comme TELUS et

Rogers, des fournisseurs régionaux, comme Xplornet, et des consortiums nationaux sur les réseaux de télécommunications et leur développement, comme le projet ENCQOR, un partenariat conclu entre l'Ontario et le Québec.

Un questionnaire a été distribué à des entreprises de partout au Canada qui exercent leurs activités dans 7 secteurs à forte croissance (technologies de l'information et des communications, médias numériques, agroalimentaire, santé et biotechnologie, technologies vertes, ressources propres, fabrication avancée). Ce questionnaire n'a pas été conçu dans le seul but d'obtenir des données sur la 5G, mais il contenait tout de même 6 questions sur ces technologies. Cette série de questions portait sur la compréhension de la 5G, l'utilité de la 5G pour les entreprises, l'incidence prévue de la 5G sur les ventes et la croissance, les tendances passées et futures en matière d'embauche, ainsi que les emplois et les compétences liés aux télécommunications qui sont pertinents pour ces entreprises. Au moment d'analyser les réponses au questionnaire en vue du présent rapport, 63 répondants avaient fourni des commentaires sur les questions concernant la 5G. Ces questions ont été examinées et validées par le comité consultatif avant la publication du rapport.

Le volet de la recherche secondaire comprenait une analyse documentaire approfondie des rapports publiés et des recherches pertinentes réalisées à ce jour sur la 5G, tant au Canada qu'à l'étranger, dont aux États-Unis et dans l'Union européenne. Cette recherche visait à déterminer les principales technologies à l'origine de la 5G, l'horizon temporel du déploiement et les besoins en matière d'emplois et de compétences liés au développement des technologies 5G. Après avoir établi un ensemble complet de paramètres concernant les emplois de la 5G en fonction de la recherche secondaire, des analyses avancées ont été effectuées pour créer un outil de recherche Web capable d'extraire les emplois liés à la 5G offerts au Canada. Sur une période de 2 mois (août et septembre 2018), plus de 340 000 emplois ont été recherchés et plus de 300 rôles ont été extraits à des fins de comparaison, puis analysés au moyen d'un outil d'exploration de texte et de traitement des langues naturelles afin de déterminer les compétences et les aptitudes pertinentes.

Les autres sources de données utilisées comprennent les ensembles de données du ministère des Finances, de Statistique Canada, du Conference Board des États-Unis et de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Ces données ont servi à déterminer les relations statistiquement significatives entre un certain nombre de variables dans le but de déterminer les indicateurs qui seraient utilisés pour établir les prévisions. Ces dernières servaient surtout à estimer l'incidence de la 5G sur le PIB et l'emploi au Canada d'ici 2030. La méthode utilisée pour ce faire est décrite plus en détail ci-dessous.

II. Méthodologie de prévision

Certaines recherches menées sur les répercussions de la 5G semblent avoir utilisé un modèle entrées-sorties de base, mais le CTIC a choisi une autre méthode pour essayer de prévoir plus précisément les répercussions de la 5G sur l'économie canadienne (PIB) et la main-d'œuvre (emplois). Plusieurs raisons expliquent cette décision. Les modèles entrées-sorties indiquent l'incidence que des dépenses faites dans certains secteurs de

l'économie pourraient avoir sur d'autres secteurs. Ils estiment ensuite dans quelle mesure l'activité économique et les emplois sont « financés » (et non créés) par les présumées dépenses exogènes faites dans les secteurs d'origine. Bien que très facile à adapter, le modèle entrées-sorties est quelque peu difficile à interpréter dans ce cas-ci puisque les dépenses d'infrastructure de la 5G ne sont tout simplement pas exogènes (il s'agit plutôt d'une hypothèse de modélisation externe non influencée par des facteurs pris en compte dans le modèle). Par conséquent, bien que le modèle entrées-sorties soit à même de nous informer de l'importance de l'activité économique totale et des emplois associés à certaines dépenses, il est peu probable qu'il permette de déterminer avec précision l'effet causal (ou l'effet graduel) d'une technologie comme la 5G par rapport aux conditions actuelles (la LTE avancée (4G), dans ce cas). Par conséquent, il est alors encore plus difficile de réellement comprendre à l'aide de ce modèle l'impact direct sur les résultats économiques ou la création d'emplois que pourraient avoir des développements technologiques comme ceux qu'apportera la 5G.

En revanche, les prévisions contenues dans le présent rapport sont établies à l'aide d'une méthodologie de régression fondée sur des données recueillies au moyen d'un panel. Ces dernières renvoient aux données portant sur les séries chronologiques d'autres variables (dans ce cas-ci, le pays). Cette méthodologie permet dans un premier temps de déterminer la relation historique entre une certaine approximation de la technologie d'Internet mobile et des résultats économiques intéressants, après avoir neutralisé les effets de diverses autres variables pertinentes (dont le temps et le pays). Une fois cette relation déterminée et jugée statistiquement significative, on estime la future augmentation de la variable de substitution attribuable à la 5G. C'est à cette étape que l'on suppose divers scénarios illustrant la croissance des abonnements mobiles en proposant différents calendriers d'enchères. La relation historique entre l'approximation et les résultats économiques se maintiendra dans l'avenir, et les futurs effets graduels de la 5G sur les résultats économiques seront estimés.

III. Limites de la recherche

Comme c'est le cas pour toutes les recherches, certaines limites peuvent avoir une incidence sur les résultats. Bien que le CTIC ait tenté de les atténuer le plus possible, nous avons répertorié les limites suivantes dans le contexte de ce projet.

Sondage : Au moment d'analyser les résultats du sondage, nous n'avions reçu qu'un nombre restreint de réponses. Comme seulement 63 entreprises avaient alors fourni des commentaires, leurs réponses n'étaient pas nécessairement représentatives du monde des affaires du Canada concernant la 5G. De plus, compte tenu du fait que la 5G en est encore à une phase exploratoire, du moins au Canada, certains répondants ont trouvé difficile de décrire clairement l'incidence que la 5G pourrait avoir sur leur entreprise. Les questions posées portaient notamment sur le type d'embauche nécessaire pour favoriser les opérations de la 5G dans leur entreprise. Nous avons reçu des réponses intéressantes à ces questions, mais étant donné le nombre restreint de réponses, les résultats du sondage ont surtout été utilisés pour orienter les activités de recherche et la méthodologie de prévision plutôt que comme indicateurs directs des tendances futures.

Horizon temporel du déploiement de la 5G au Canada : Compte tenu de la lenteur des progrès réalisés au Canada en ce qui concerne le développement et le déploiement de la 5G, la plupart des personnes que nous avons consultées en entrevue n'étaient pas en mesure de fournir des informations détaillées sur les besoins en matière d'emplois et de compétences, particulièrement au-delà de rôles quelque peu génériques tels que « ingénieurs de réseaux » ou « développeurs de logiciels ». Ce problème était encore plus marqué par rapport au déploiement, alors que même les fournisseurs de services de télécommunications étaient incapables de déterminer les compétences qui seraient nécessaires pour déployer les réseaux. Il leur était impossible, par exemple, de prévoir si les techniciens de tours de transmission auraient besoin de compétences et d'aptitudes différentes de celles des techniciens de tours de transmission réseau d'aujourd'hui. Ce travail serait-il effectué par des entreprises canadiennes (employant des travailleurs canadiens) ou externalisé? Étant donné le manque de fiabilité des besoins en matière d'emplois en dehors de la recherche et du développement de logiciels, nous avons limité notre analyse des compétences à ces métiers.

Extraction de données sur le Web : À l'aide des paramètres déterminés pour les emplois liés à la 5G dans le cadre de la recherche secondaire et des consultations auprès de spécialistes de l'industrie, des emplois liés à la 5G ont été extraits d'un certain nombre de sites d'emploi canadiens, comme Indeed.ca et Monster.ca. Les emplois extraits ont ensuite été analysés plus en profondeur, à l'aide d'un outil de traitement des langues naturelles et d'exploration de texte, dans le but de déterminer les compétences utiles pour ces emplois. Cela dit, bien que cet exercice ait été effectué pour deux mois différents (août et septembre 2018), il aurait été utile d'extraire un plus grand nombre de données chronologiques sur une plus longue période (trois mois et plus) afin de faire ressortir avec plus de précision les tendances au fil du temps.

Nature incertaine de la technologie et peu d'exemples actuels et concrets illustrant les effets : Étant donné la nature très rudimentaire de la technologie 5G à l'heure actuelle dans la plupart des cas, il devient difficile d'estimer avec précision son impact potentiel en tant que catalyseur de divers autres développements technologiques. Par exemple, bien que la 5G ait le potentiel de devenir un instrument essentiel des véhicules autonomes, des chirurgies à distance, de l'agriculture de précision et même des villes connectées ou intelligentes, le caractère nouveau de la 5G, tel qu'il est aujourd'hui, rend difficile la quantification de l'impact (sur l'économie et la main-d'œuvre) de toutes les applications potentielles de la 5G dans l'ensemble de l'économie. C'est pourquoi notre analyse des emplois et des compétences se limite aux emplois offerts en recherche et développement de la 5G au Canada. Par ailleurs, nos prévisions se limitent à l'estimation de l'impact qu'aura la 5G sur l'économie et les emplois dans l'ensemble de l'économie, plutôt qu'à ses applications dans divers secteurs ou industries. De plus, bien que certains pays progressent plus rapidement que le Canada en ce qui concerne le développement et le déploiement des technologies 5G, on recense encore dans le monde relativement peu d'exemples de réussite relativement à la 5G pouvant être utilisés à des fins de comparaison. Berlin est un exemple de ville où des technologies 5G ont été déployées par l'entreprise Deutsche Telekom. Le CTIC a communiqué avec un représentant de cette entreprise à des fins de consultation,

mais en vain.

Prévisions : Les prévisions concernant le PIB et les emplois reposent sur un certain nombre d'hypothèses pouvant être difficiles à valider dans des cas comme ceux-ci, où le sujet d'intérêt, en l'occurrence, la 5G, est encore en grande partie conceptuel. Dans de tels cas, d'abord, la relation historique déterminée par les régressions est considérée comme étant causale. Toutefois, cela est faux dans la mesure où les régressions sont teintées d'endogénéité en raison de la causalité inverse ou d'une distorsion due à l'omission d'une variable. Si tel est le cas, les régressions ont déterminé une simple corrélation historique, pas nécessairement une relation causale. Il est alors possible que la causalité inverse soit partiellement vraie, car si l'Internet mobile a une incidence sur le PIB, le PIB a lui aussi une incidence sur les infrastructures mobiles. Ce fait pourrait entraîner une estimation à la hausse de l'impact. Ensuite, on suppose que l'approximation cerne pleinement les effets de l'infrastructure de l'Internet mobile sur les résultats économiques. Si les améliorations de l'Internet mobile ont une incidence sur les résultats économiques indépendamment des changements apportés à la variable de substitution, les prévisions peuvent sous-estimer l'impact de la 5G. À l'inverse, si la variable de substitution a une incidence sur les résultats économiques, indépendamment des modifications apportées aux améliorations de l'Internet mobile, les prévisions peuvent correspondre à une surestimation. Enfin, les trois scénarios de croissance de la variable de substitution présentent pour l'avenir une exposition transparente en lien avec les lignes rouges, jaunes et vertes, ce qui s'explique par le fait que les prévisions sont sensibles aux modifications apportées aux prévisions de la variable de substitution.

Les prévisions du PIB et de l'emploi recèlent de multiples sources d'incertitude indépendantes. Les premières découlent de la gamme d'effets estimée dans la régression (ou l'intervalle de confiance). Les deuxièmes concernent les abonnements aux services mobiles par personne. Ces sources d'incertitude qui se chevauchent dans le scénario de croissance de la variable de substitution et dans l'intervalle de confiance de la régression donnent lieu à un vaste éventail de résultats possibles, lequel est présenté à l'aide de graphiques indiquant l'intervalle de confiance en fonction de différentes hypothèses de croissance des abonnés aux services mobiles.

- Margaret Rouse, *Wireless Technologies: 5G* (Tech Target : 2017), <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/5G>.
- About 3GPP, 3GPP: A Global Initiative, <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp> (2018).
- Release 16, 3GPP: A Global Initiative, <http://www.3gpp.org/release-16> (16 juillet 2018).
- Brian Santano, *5G: The Road to Low Latency* (EDN Network : 23 février 2018), <https://www.edn.com/electronics-blogs/5g-waves/4460346/5G--The-road-to-low-latency>.
- Anthony Spadafora, *ITU drafts 5G specs: 20Gbps downloads, 4ms latency per cell*, (BetaNews : 2016), <https://betanews.com/2017/02/28/5g-standard-specs/>.
- « Rapports : Canada », Speedtest, <http://www.speedtest.net/reports/fr/canada/> (19 septembre 2018).
- Imtiaz Parvez, Ali Rahmati, Ismail Guvenc, Arif Sarwat, Huaiyu Dai, *A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions* (arXiv : 29 mai 2018) <https://arxiv.org/pdf/1708.02562.pdf>.
- Lindsay Notwell, *5G – A Few Frequency Facts* (CIO : 21 septembre 2017), <https://www.cio.com/article/3226451/networking/5g-a-few-frequency-facts.html>.
- Femtocells, Microcells, and Metrocells: The Complete Guide to Smart Cells*, RepeaterStore, <https://www.repeaterstore.com/pages/femtocell-and-microcell> (16 juillet 2018).
- Phillip Tracy, *Small cells: Backhaul difficulties and a 5G future* (RCR Wireless News : 11 juillet 2016), <https://www.rcrwireless.com/20160711/network-infrastructure/small-cells-tag31-tag99>.
- Jon Mundy, *What is Massive MIMO Technology* (5G.co.uk : 2017), <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>.
- Mohammad Asif Habibi, Bin Han, Hans D. Schotten, *Network Slicing in 5G Mobile Communication: Architecture, Profit Modeling, and Challenges* (arXiv : 4 juillet 2017), <https://arxiv.org/pdf/1707.00852.pdf>.
- What is Edge Computing?* GE Digital, <https://www.ge.com/digital/blog/what-edge-computing> (2017).
- The Full Impact of 5G on IT Industry Hardware Spending*, Moor Insights & Strategy, <http://www.moorinsightsstrategy.com/research-paper-the-full-impact-of-5g-on-it-industry-hardware-spending/> (22 février 2018).
- Emeka Obiodu, Mark Giles, *The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligent automation* (GSMA : 2018), <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=0efdd9e7b6eb1c4ad9aa5d4c0c971e62&download>.
- Mark Collins, Arnab Das, Alexandre Menard, Dev Patel, *Are you ready for 5G?* (McKinsey & Company : Février 2018), <https://www.mckinsey.com/industries/telecommunications/our-insights/are-you-ready-for-5g>.
- Les fans des Jeux Olympiques d'hiver de 2018 pourront profiter de la première diffusion mondiale à large échelle sur le réseau 5G*, <https://www.olympic.org/fr/news/les-fans-des-jeux-olympiques-d-hiver-de-2018-pourront-profiter-de-la-premiere-diffusion-mondiale-a-large-echelle-sur-le-reseau-5g> (février 2018).
- Telecommunications equipment companies ranked by overall revenue in 2017*, Statista, <https://www.statista.com/statistics/314657/top-10-telecom-equipment-companies-revenue/> (2018).
- Dan Strumpf, *China Shakes up Telecom Leadership Ahead of 5G Rollout* (Wallstreet Journal : 20 juillet 2018), <https://www.wsj.com/articles/china-shakes-up-telecom-leadership-ahead-of-5g>.

rollout-1532085180.

David Paddon, *Canada to hold key 5G spectrum auction in 2020, says Innovation Minister Bains* (The Canadian Press : 6 juin 2018), <https://www.cbc.ca/news/business/5g-wireless-spectrum-auction-1.4694214>.

Kaya Ismail, *How 5G Will Unlock The True Potential of IoT Devices*, (CMS Wire : 16 avril 2018), <https://www.cmswire.com/information-management/how-5g-will-unlock-the-true-potential-of-iot-devices/>.

Mattias Fridstrom, *The bandwidth problem: 5G issues the VR industry must resolve* (Venture Beat : 6 mai 2017), <https://venturebeat.com/2017/05/06/the-bandwidth-problem-5-issues-the-vr-industry-must-resolve/>.

Mark J. Perry, *Chart of the day (century?): Price changes 1997 to 2017* (AE Ideas : 2 février 2018), <http://www.aei.org/publication/chart-of-the-day-century-price-changes-1997-to-2017/>.

Jay Shah, Arpita Vas, Dinesh Vyas, *The History of Robotics in Surgical Specialties* (PMC : 14 décembre 2015), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4677089/>.

The da Vinci Surgical System, DaVinci Surgery, <http://www.davincisurgery.com/da-vinci-surgery/da-vinci-surgical-system/> (2018).

5G – Part 2: Why 5G Will Become Essential for Emergency Services, Lanner, <https://www.lanner-america.com/blog/5g-part-2-5g-will-become-essential-emergency-services/> (18 juillet 2018).

Michal Lev-Ram, *John Deere is Paying \$305 Million for this Silicon Valley Company* (Fortune : 6 septembre 2017), <http://fortune.com/2017/09/06/john-deere-blue-river-acquisition/>.

Applications for 5G in Production Communication Networks, Salzburg Research, <https://www.salzburgresearch.at/blog/applications-for-5g-in-production-communication-networks/> (mai 2016).

Andrew Allock, *Is Manufacturing Ready for 5G?* (Machinery : 12 juillet 2018), <http://www.machinery.co.uk/machinery-features/is-manufacturing-ready-for-5g>.

Martti Mantyla, *Industrial Use Cases of 5G* (Aalto University) <http://www.5gsummit.org/helsinki/docs/session%201/Session1-Martti-Aalto.pdf>.

Le commerce international : Le point sur le commerce et l'investissement – 2017 : Tableau 4-2 Exportations de biens, 2016, Affaires mondiales Canada, http://www.international.gc.ca/economist-economiste/performance/state-point/state_2017_point/index.aspx?lang=fra (19 juillet 2017).