Nº 36-28-0001 au catalogue
ISSN 2563-8963

Rapports économiques et sociaux

Mesure de l'intensité numérique dans l'économie canadienne

par Huju Liu et Julien McDonald-Guimond

Date de diffusion : le 24 février 2021

Statistique Canada Statistics Canada

Canada

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à STATCAN.infostats-infostats.STATCAN@canada.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros suivants :

- Service de renseignements statistiques 1-800-263-1136
- Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants 1-800-363-7629
- Télécopieur 1-514-283-9350

Programme des services de dépôt

- Service de renseignements 1-800-635-7943
- Télécopieur 1-800-565-7757

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « Contactez-nous » > « Normes de service à la clientèle ».

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Industrie 2021

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'entente de licence ouverte de Statistique Canada.

Une version HTML est aussi disponible.

This publication is also available in English.

Mesure de l'intensité numérique dans l'économie canadienne

par Huju Liu et Julien McDonald-Guimond

DOI : https://doi.org/10.25318/36280001202100200003-fra

Résumé

Cette étude a pour objectif de créer un indice composite pour mesurer l'intensité de la numérisation dans les industries canadiennes. Compte tenu de l'omniprésence de la numérisation et de la dépendance accrue des entreprises et des particuliers à l'égard des produits et services numériques, il est essentiel de pouvoir mesurer la numérisation afin de mieux comprendre son incidence sur l'économie canadienne. Des mesures multidimensionnelles sont utilisées pour déterminer la mesure dans laquelle les entreprises utilisent des technologies numériques pour produire des biens et des services, en s'appuyant sur des données sur le capital des technologies de l'information et des communications (TIC), l'utilisation de biens et services de TIC intermédiaires, la main-d'œuvre numérique et l'adoption de robots. Un indice composite est ensuite créé à partir de ces mesures multidimensionnelles, et d'une analyse des composantes principales. L'indice composite final montre que de 2000 à 2015, l'intensité numérique n'a cessé de croître dans l'économie canadienne. Or, bien que la numérisation se soit accrue dans pratiquement toutes les industries canadiennes, elle a tendance à être inégale d'une industrie à l'autre. Les services d'information, les télécommunications, les services professionnels, scientifiques et techniques, la fabrication de machines, la fabrication de produits informatiques et électroniques, et la fabrication de matériel de transport figurent parmi les chefs de file en matière d'intensité numérique : ces industries affichaient une forte intensité numérique au début de la période à l'étude, et celle-ci s'est accrue de façon marquée au fil du temps. En revanche, l'agriculture, l'extraction minière et la construction, ainsi que la plupart des industries de la fabrication et des industries du transport, se situent aux derniers rangs pour ce qui est de l'intensité numérique : leurs niveaux étaient faibles au début de la période visée, et n'ont augmenté que légèrement par la suite.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier André Binette, de la Banque du Canada; Danny Leung et Mark Uhrbach, de Statistique Canada; et Vincent Dore, Hankook Kim et Jianmin Tang, d'Innovation, Sciences et Développement économique Canada de leurs commentaires et suggestions utiles.

Auteurs

Huju Liu travaille à la Division de l'analyse économique, Direction des études analytiques à Statistique Canada. Julien McDonald-Guimond travaille à la Banque du Canada.

Introduction

Depuis une vingtaine d'années déjà, les Canadiens adoptent les nouvelles technologies numériques à grande échelle et à un rythme rapide. En 2018, 91 % des Canadiens étaient des utilisateurs d'Internet et 84 % des utilisateurs d'Internet achetaient des biens et services numériques ainsi que d'autres produits et services. Cette année-là, leurs achats en ligne se sont chiffrés à 57,4 milliards de dollars, comparativement à 18,9 milliards de dollars en 2012 (Statistique Canada, 2019a). De plus, le pourcentage d'entreprises du secteur privé canadien qui utilisent Internet pour leurs activités s'est élevé à 89,1 % en 2013 et à presque 100 % pour les grandes entreprises (Statistique Canada, s.d.a). L'adoption de l'infonuagique a aussi rapidement progressé, tout particulièrement au sein des grandes entreprises; en effet, 54 % des grandes entreprises utilisaient l'infonuagique en 2012, comparativement à 28 % des entreprises de moins de 50 employés (OCDE, 2014).

Cette étude a pour objectif de créer des indices statistiques pour mesurer l'intensité de la numérisation dans les industries canadiennes. Compte tenu de l'omniprésence de la numérisation et de la dépendance accrue des entreprises et des particuliers à l'égard des produits et services numériques, il est essentiel de pouvoir mesurer la numérisation dans l'économie canadienne afin de mieux comprendre son incidence, et de permettre aux gouvernements, aux entreprises et aux autres intervenants de prendre des décisions éclairées. Il a été démontré que la numérisation a d'importantes répercussions sur l'emploi (Acemoglu et Restrepo, 2020; Dixon, Hong et Wu, 2020; Nedelkoska et Quintini, 2018), la productivité des entreprises (Gal et coll., 2019), la dynamique des entreprises (Calvino et Criscuolo, 2019), la marge bénéficiaire brute des entreprises (Calligaris, Criscuolo et Marcolin, 2018), le processus de production sur demande (Spiezia, 2017) et les plateformes et les travailleurs de l'économie à la demande (Hardill et Green, 2003; Schwellnus, Geva, Pak et Veiel, 2019).

Cependant, la mesure de la numérisation pose certaines difficultés, car la numérisation n'est pas un phénomène simple, mais plutôt un processus complexe comportant de multiples facettes. Elle peut comprendre, entre autres, l'automatisation des tâches par des robots, l'utilisation de mégadonnées et de technologies d'intelligence artificielle, et la dématérialisation des ressources[1]. Selon van Ark (2016), la transformation numérique est stimulée par [*traduction*] « une combinaison de technologies mobiles, d'un accès omniprésent à Internet et de la transition vers le stockage, l'analyse et le développement de nouvelles applications infonuagiques. »

Cette étude vise plus particulièrement à mesurer l'intensité numérique de la production dans les industries canadiennes en faisant appel à une approche exhaustive. Inspirée de travaux antérieurs, elle tire profit des indicateurs multidimensionnels pour caractériser l'intensité numérique dans les industries canadiennes au moyen de diverses sources de données[2]. Ces indicateurs ont été élaborés à partir de données sur le stock de capital et les investissements en technologies de l'information et des communications (TIC), l'utilisation de biens et services intermédiaires des TIC, les professions liées au numérique et l'utilisation de robots. Ils permettent de déterminer l'ampleur de la transformation numérique des industries, le cas échéant, et le degré d'intégration du numérique dans leurs processus de production.

Pour mesurer l'intensité numérique, nous avons commencé par élaborer des mesures multidimensionnelles à l'échelle des industries, permettant ainsi des comparaisons entre les industries et au fil du temps. Les mesures ont ensuite été regroupées en un indice composite pour chaque industrie en fonction des poids dérivés d'une analyse de la composante principale (ACP). Enfin, un indice national

1. Voir Gartner Information Technology Glossary et Bloomberg (2018).
2. Voir, par exemple, Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018); Manyika et coll. (2015), Lamb et Seddon (2016).

de l'intensité numérique a été mis au point pour mesurer la progression générale de la numérisation à l'échelle nationale.

Il convient de souligner que l'objectif de cette étude est de déterminer la mesure dans laquelle les entreprises utilisent les technologies numériques pour produire des biens et services, aussi bien numériques que non numériques. Cela n'est pas la même chose qu'une mesure des extrants numériques des entreprises ou de la taille de l'économie numérique (Barefoot et coll., 2018; Statistique Canada, 2019b). Par exemple, le secteur de l'agriculture ne produit presque aucun produit ou service numérique, ce qui l'exclurait de l'économie numérique selon une mesure des extrants. Or, il peut tout de même utiliser de nombreuses technologies numériques et son processus de production peut faire l'objet d'une transformation numérique (p. ex. analyse de mégadonnées, utilisation de robots pour l'épandage et le sarclage, utilisation de drones pour la surveillance des cultures) (Bloomberg, 2018).

L'analyse de l'intensité numérique présentée ici contribue à la littérature existante par différents moyens. Premièrement, nous proposons la première mesure multidimensionnelle de l'intensité numérique qui concerne précisément sur le Canada. D'autres analyses de la numérisation ont mis l'accent sur un aspect particulier, comme l'automatisation ou les robots (Oschinski et Wyonch, 2017; Dixon, Hong et Wu, 2020), ou n'ont pas fourni de résultats pour le Canada (Manyika et coll., 2015). Deuxièmement, nous fournissons un ensemble de mesures fondées sur des données relatives à 50 industries qui sont diffusées annuellement depuis 2000, et ces mesures peuvent être facilement mises à jour et combinées à de nouveaux renseignements. Cet aspect est essentiel pour comprendre la dynamique de l'intensité numérique (sa croissance et son ampleur) et il est souvent absent de la littérature. Une exception digne de mention est un rapport de l'OCDE rédigé par Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018), qui ont utilisé une taxonomie multidimensionnelle similaire des industries numériques avec de multiples années d'observations. De nombreux pays de l'OCDE étaient couverts dans leur analyse de la numérisation, mais le Canada en était exclu en raison des limites des données. Dans leur rapport, les auteurs ont fait état de nombreuses variations entre les différents pays de l'OCDE, ce qui n'est pas très utile pour une mesure de la numérisation visant le Canada en particulier. Troisièmement, contrairement à Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018), dont l'indice sommaire industriel a été élaboré en fonction de rangs et de facteurs de pondération égaux, nous élaborons un indice composite en utilisant la normalisation de l'écart réduit et les facteurs de pondération dérivés d'une ACP. Non seulement l'indice composite qui en découle rend-il compte de la majeure partie de la variation dans les mesures sous-jacentes, mais il permet aussi une meilleure comparaison de l'intensité numérique entre les industries et au fil du temps. Enfin, bien que l'analyse soit faite à l'échelle des industries, la présente étude tire parti des données à l'échelle des entreprises pour améliorer le niveau de détail auquel les mesures peuvent être élaborées.

L'indice composite final indique que de 2000 à 2015, l'intensité numérique dans l'économie canadienne n'a cessé de croître, comme le montre le graphique 7 de la section 4.4. Presque toutes les industries ont accru leur intensité numérique au fil du temps. Les services d'information, la radiotélévision, les télécommunications, les services professionnels, scientifiques et techniques, la fabrication de machines, la fabrication de produits informatiques et électroniques, et la fabrication de matériel de transport sont à l'avant-garde en ce qui concerne l'intensité numérique, tandis que l'agriculture, l'extraction minière, la construction et la plupart des autres industries de la fabrication et du transport enregistrent les plus faibles intensités numériques. Bien que le classement de l'intensité numérique dans l'ensemble des industries corresponde largement aux résultats de Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018), l'indice composite final donne une meilleure mesure de l'ampleur des différences sous-jacentes de l'intensité numérique entre les industries et au fil du temps.

Mesure de la numérisation

À l'instar des innovations technologiques précédentes, comme la machine à vapeur, l'électricité et le moteur à combustion interne, les technologies numériques sont aussi des technologies à usages multiples (Carlsson, 2004; Jovanovic et Rousseau, 2005; Cardona, Kretschmer et Strobel, 2013; Brynjolfsson et McAfee, 2018)[3]. À ce titre, elles peuvent donner lieu à une variété d'innovations et d'applications. De plus, les différentes facettes de la numérisation peuvent être hautement complémentaires.

En réponse à un tel phénomène complexe, il est important de dresser le portrait le plus complet possible de la numérisation. C'est pourquoi cette étude tient compte de nombreuses mesures liées à différents aspects où les technologies numériques sont susceptibles d'être intégrées au processus de production. Suivant le cadre économique de la production des entreprises, ces mesures couvrent les principaux intrants de production-capital, travail et intrant intermédiaire. Plus précisément, les variables prises en compte sont 1) le capital des TIC, 2) les occupations liées au domaine numérique, 3) l'utilisation de biens et services intermédiaires des TIC et 4) l'adoption de robots[4].

Une importante hypothèse avancée dans la présente étude et dans la littérature est que l'utilisation des produits et services de TIC est un substitut raisonnable pour la numérisation. Les produits et services de TIC procurent le fondement et l'infrastructure de base avec lesquels les technologies numériques peuvent fonctionner. Par exemple, les ordinateurs, l'équipement de télécommunication, les logiciels et les services connexes sont souvent décrits comme des infrastructures permettant la numérisation (Barefoot et coll., 2018; Statistique Canada, 2019b). Les entreprises qui utilisent des intrants de TIC sont considérées comme plus susceptibles de faire appel à des technologies numériques plus sophistiquées ou nouvelles. Cette approche comporte cependant des limites. Par exemple, un magasin d'équipement informatique peut acheter de nombreux ordinateurs et périphériques pour les revendre, et fournir des services de réparation pour ordinateurs usagés, ce qui a peu à voir avec la numérisation. De plus, les entreprises peuvent accéder aux technologies numériques sans transiger sur le marché au moyen, par exemple, de logiciels gratuits.

Les sources de données sur lesquelles les mesures se fondent sont accessibles à différents niveaux d'agrégation des industries. Par conséquent, un niveau commun de désagrégation a été adopté pour faciliter les comparaisons entre industries[5]. Un ensemble de 50 industries a été sélectionné pour assurer un équilibre entre la robustesse des hypothèses et la pertinence. Bien qu'un niveau supérieur d'agrégation soit plus facile à obtenir, il ne peut rendre compte de l'hétérogénéité au sein d'une industrie. Aussi, bien qu'un niveau de désagrégation plus détaillé soit souhaitable, il nécessiterait des hypothèses plus robustes sur les relations entre une industrie et ses sous-industries, ce qui exige d'appliquer la mesure d'une industrie « parente » à toutes ses industries « enfants ».

Les mesures multidimensionnelles sont utiles pour saisir les différentes facettes de la numérisation, mais elles ne sont pas pratiques pour comparer l'intensité numérique totale dans l'ensemble des industries. En effet, certaines industries pourraient avoir une plus forte intensité numérique que d'autres en ce qui a trait au capital des TIC, mais moins forte en ce qui a trait à l'utilisation des services de TIC. De plus, il est possible que certains indicateurs soient étroitement corrélés, par exemple, le capital des TIC et la main-d'œuvre numérique. Par conséquent, un indice composite qui peut résumer les indicateurs multidimensionnels pour chaque industrie est requis. Les ACP sont un outil particulièrement utile pour la

3. Selon Thompson et Spanuth (2019), les processeurs informatiques deviennent moins polyvalents et plus spécialisés en raison des forces technologiques et économiques.
4. Les données sur le commerce électronique ont aussi été examinées. Cependant, elles n'ont pas été utilisées pour l'élaboration de l'indice de l'intensité numérique, en raison de leur horizon à court terme. Une analyse instantanée par industrie est présentée à l'annexe G.
5. Une liste des industries prises en compte figure à l'annexe A.

réduction des données lorsque l'on est devant des variables corrélées et à dimensions multiples (James, Witten, Hastie et Tibshirani, 2014). Les ACP peuvent trouver quelques composantes principales qui préservent une grande variance totale des données d'origine.

Par conséquent, la présente étude a utilisé une ACP pour agréger les indicateurs multidimensionnels. L'indice final a été élaboré sous forme de combinaison linéaire des indicateurs multidimensionnels d'origine en utilisant les poids dérivés des deux premières composantes principales, et il rend compte de plus de 80 % de la variance totale. Cet exercice permet également le calcul subséquent d'un indice de numérisation de l'ensemble de l'économie, un outil utile pour surveiller la progression de la numérisation au Canada. De plus amples détails sur l'ACP et la création de l'indice composite sont présentés à la section 4.

Toutes les variables nominales ont été converties en dollars réels avant de mettre au point les indicateurs. Il peut être intéressant d'examiner les valeurs nominales, car ces valeurs rendent compte des dépenses réelles que consacre une industrie aux intrants numériques lorsqu'elle prend ses décisions relatives à la production. Cependant, comme il a été largement indiqué dans la littérature, les diminutions de prix de l'équipement de TIC ont été importantes depuis les années 1990 comparativement à d'autres types de produits (Byrne et Corrado, 2017; van Ark, 2016). En conséquence, les mesures nominales pourraient laisser supposer que l'utilisation d'intrants numériques a stagné, voire diminué, depuis 2000. Pourtant, le processus de production pourrait tout de même exiger une plus grande quantité d'intrants numériques qu'auparavant[6].

Mesures multidimensionnelles de la numérisation

Cette section présente les mesures multidimensionnelles pour les aspects de la numérisation pris en compte. Pour chaque mesure, sa pertinence par rapport à la numérisation, la façon dont elle a été élaborée et les sources de données sont d'abord analysées. Les faits stylisés sont ensuite présentés pour examiner l'intensité numérique entre les industries et au fil du temps. Pour la comparaison chronologique, des moyennes sur trois ans ont été calculées pour rendre compte de la volatilité.

Stock de capital des technologies de l'information et des communications

Les actifs des TIC procurent le fondement et l'infrastructure de base avec lesquels les technologies numériques peuvent fonctionner. Le stock de capital des TIC définit une séquence d'achats d'actifs, l'élimination des anciens actifs et la dépréciation des actifs existants au fil du temps. Ainsi, il dresse le portrait complet du capital des TIC disponible aux fins de production et donne une bonne indication de la maturité technologique d'une entreprise pour l'adoption des technologies numériques.

Les données sur le capital des TIC proviennent de deux ensembles de données, chacun offrant une perspective légèrement différente. La première source de données était le Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux (FMLCN), qui comprend des données au niveau des entreprises sur toutes les entreprises constituées en société et certaines entreprises non constituées en société (celles qui ont des employés) au Canada. Les renseignements de l'un des barèmes de l'impôt des

6. Les dollars enchaînés ont été utilisés pour la déflation plutôt que les prix constants, car ces derniers varient en fonction d'un choix de l'année de base, plus particulièrement lorsque les variations de prix au fil du temps sont importantes pour les intrants de TIC. Cependant, il se pourrait bien que l'utilisation de dollars enchaînés pour calculer les ratios ne rende pas compte de la contribution du numérateur à la croissance du dénominateur avec précision et, à ce titre, les mesures multidimensionnelles fondées sur des dollars enchaînés ne doivent pas être interprétées comme des proportions. Voir Whelan (2002) pour une présentation exhaustive des inconvénients associés à l'utilisation des dollars enchaînés.

sociétés, soit la déduction pour amortissement (DPA), ont été utilisés pour calculer la valeur du stock de capital des TIC[7].

La seconde source utilisée était la base de données sur le capital, le travail, l'énergie, les matières et les services (KLEMS) de Statistique Canada, qui fournit des estimations des services de capital pour 41 industries. Les services de capital mesurent les intrants dérivés du stock d'actifs fixes utilisés dans la production sur une période donnée. Ce concept est très utile, car il mesure le stock de capital réellement utilisé dans le processus de production et vient compléter la mesure du stock de capital. Il est calculé en tant que somme pondérée du stock de capital en utilisant les coûts du capital de l'utilisateur comme poids pour différents types d'actifs, en tenant compte du fait que différents types d'actifs ont différentes vies utiles (Jorgenson, Ho et Stiroh, 2005). Cet ensemble de données a été utilisé avec le FMLCN pour élaborer une mesure du capital des TIC.

La mesure du capital des TIC a été élaborée comme suit

$$MC_{it} = \frac{DC_{it}}{PEC_{it}},$$

où MC_{it} est une mesure du capital, DC_{it} est le volume de capital numérique, et PEC_{it} est le volume de capital qui augmente la productivité, tous pour l'industrie i à la période t. Le terme « qui améliore la productivité » est parfois utilisé dans la littérature pour dénoter des actifs liés aux activités de recherche-développement, mais il est défini ici comme étant la somme des actifs de machines et matériel (MM) et des produits de la propriété intellectuelle[8].

Ce dénominateur a été choisi pour tenir compte du fait que certaines industries pourraient posséder un important capital structural simplement en raison de la nature de leurs activités. Par exemple, une entreprise de fabrication devra presque certainement investir dans une usine, tandis qu'une firme de services-conseils pourrait simplement avoir besoin de louer un petit bureau pour fonctionner. Par conséquent, l'utilisation du stock de capital non résidentiel (qui comprend les actifs structurels et en matière de ME) comme dénominateur pourrait donner lieu à un biais vers le bas pour les industries de la fabrication, car il y a une plus grande part de capital structurel. Une autre mesure qui a utilisé le stock de capital non résidentiel total comme dénominateur au lieu des actifs qui améliorent la productivité a aussi été élaborée, et les résultats indiquent une corrélation de très grand degré entre les deux versions[9]. Cependant, une limite est que les actifs dans la base de données KLEMS sont divisés en seulement trois catégories : services de capital total, services du capital des TIC et services du capital autre que des TIC. Par conséquent, les services de capital total ont été utilisés comme dénominateur pour calculer la mesure au moyen de la base de données KLEMS.

Le stock de capital du FMLCN a été corrigé en utilisant des déflateurs implicites propres à l'industrie et propres aux actifs élaborés à partir des données de Statistique Canada sur les flux et stocks de capital fixe non résidentiel (Statistique Canada, s.d.b). Les indices de volume sont déjà accessibles dans la base

7. Les entreprises canadiennes peuvent déduire le coût du capital de certains biens amortissables de leur revenu gagné sur de nombreuses périodes. Dans le barème de la DPA, les entreprises déclarent le coût du capital non déprécié à la fin de l'année, ce qui équivaut au coût du capital non déprécié au début de l'année plus le coût des acquisitions moins les produits de dispositions et de dépréciation. Même si les taux de dépréciation utilisés dans la DPA sont conçus à des fins de fiscalité et, par conséquent, sont différents des taux de dépréciation économique, le coût du capital non déprécié à la fin de l'année peut encore saisir les investissements antérieurs accumulés au fil du temps exempts de dépréciation, ce qui s'approche d'une mesure du stock de capital. Les détails de la classification des actifs des TIC en fonction des classes d'actifs de la DPA se trouvent à l'annexe B.
8. Voir Aghion, Angeletos, Banerjee et Manova (2005) et Agopsowicz et coll. (2018) pour des exemples des deux définitions.
9. Par exemple, les coefficients de corrélation de Spearman varient de 0,85 à 0,97 pour la période de 2000 à 2015.

de données KLEMS. Les mesures du capital provenant des deux sources de données ont été combinées en fonction d'une ACP (plus précisément, la première composante principale), qui, dans ce cas, est l'équivalent d'une simple moyenne. L'avantage principal de combiner les données du FMLCN à l'échelle des entreprises avec la base de données KLEMS est que cela apporte plus grand niveau de détail et une plus grande hétérogénéité sectorielle à la mesure du capital[10].

Comme il est illustré dans le graphique 1, l'intensité du capital des TIC était plus forte dans la plupart des industries de services que dans les industries de biens (ci-après, ces industries comprennent celles de l'agriculture, de l'extraction minière et de l'extraction de pétrole, des services publics, de la construction et de la fabrication), en moyenne, pendant les deux périodes visées. La moyenne simple de l'intensité du capital des TIC dans les industries de services, pour les deux périodes, était de 0,11 et de 0,19, respectivement, comparativement à 0,03 et 0,08 dans les industries de biens. La variation de l'intensité du capital des TIC au cours des deux périodes était aussi plus forte, en moyenne, dans les industries de services que dans les industries de biens (0,08 par rapport à 0,05). En particulier, les services d'information, l'industrie du film, la radiotélévision et les télécommunications, la conception de systèmes informatiques et les services de génie comptaient parmi les chefs de file en matière d'intensité du capital des TIC. Les hausses étaient particulièrement prononcées dans les industries des services professionnels, où l'intensité a augmenté de plus de 100 % dans chacune des industries[11]. L'industrie de l'information et l'industrie culturelle, même si elles se situaient au départ au sommet du classement, ont enregistré des hausses plus modestes de leur intensité au cours de la période à l'étude[12].

De nombreuses industries de biens sont aussi devenues beaucoup plus intensives dans leur utilisation du capital des TIC. Par exemple, les industries de l'extraction de pétrole et de gaz ont multiplié leur intensité par 24, une progression remarquable compte tenu de leur très faible intensité initiale. Les industries de la fabrication de vêtements et de l'impression sont aussi devenues relativement plus intensives dans leur utilisation du capital des TIC. Les industries du commerce de détail, qui ont subi d'importantes transformations au cours des 20 dernières années, ont plus que doublé leur intensité du capital des TIC. Enfin, les industries du secteur des soins de santé, adeptes d'innovation et de technologies d'avant-garde, ainsi que celles des services d'enseignement, où la technologie de l'information est de plus en plus présente (p. ex. laboratoires informatiques, tableaux blancs numériques), ont grandement accru leur intensité du capital numérique.

Dans l'ensemble, le portrait que dresse cette mesure en est un où les services professionnels ont adopté massivement le capital numérique au cours des dernières décennies, alors que les chefs de file précédents (services d'information, fabrication de produits informatiques et électroniques) ont ralenti leur adoption. De plus, l'intensification du stock de capital des TIC semble envahissante, alors que chaque industrie enregistre une certaine augmentation de son intensité. L'intensité de capital des TIC de la plupart des industries de services se situe au-dessus de la médiane pour chacune des deux périodes, tandis que d'autres industries (agriculture, extraction minière, transport, et la plupart des industries de la

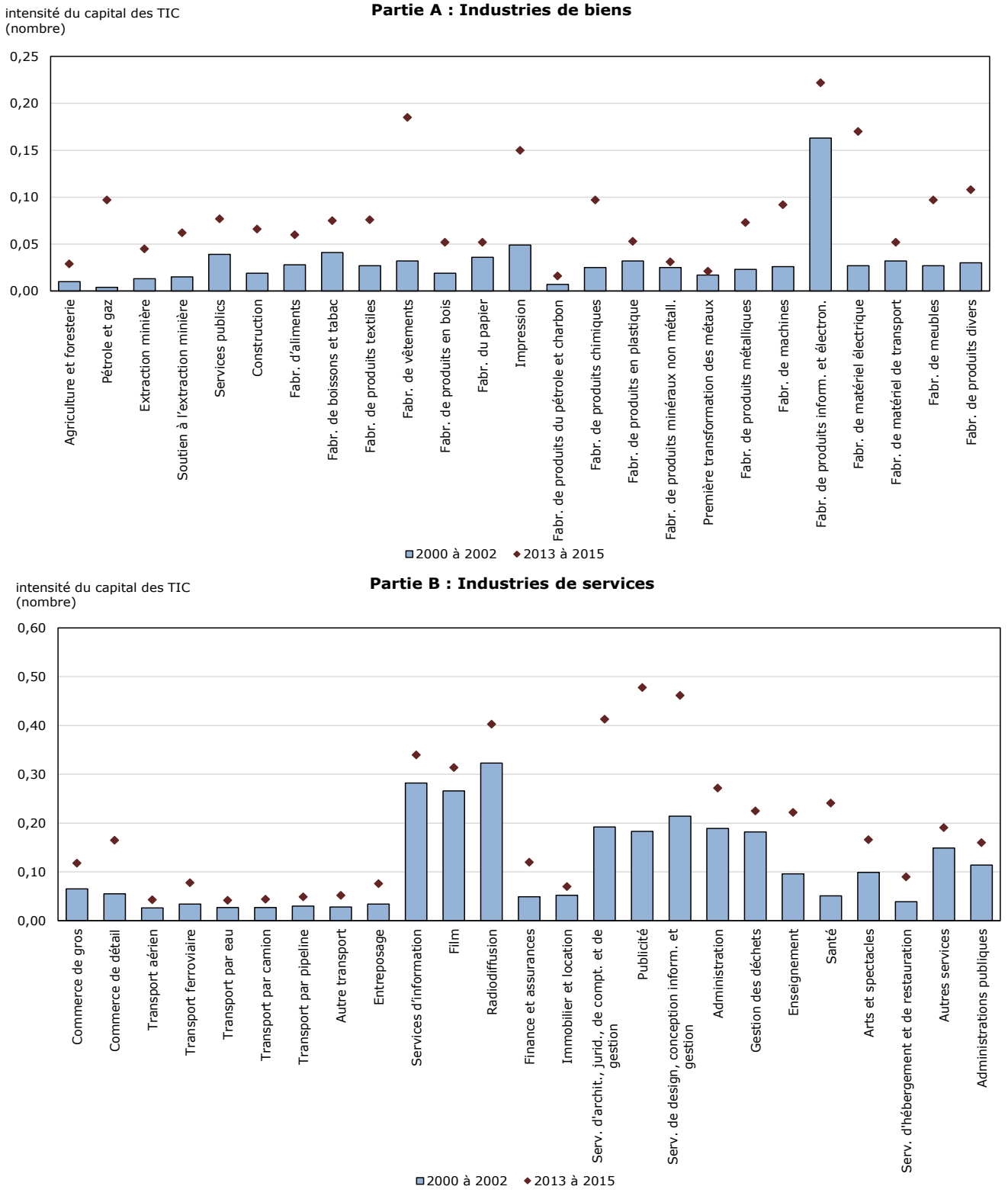
10. Une imputation a été appliquée aux données du FMLCN avant d'élaborer les mesures définitives. Nous avons procédé ainsi fait en raison d'une corrélation négative entre la base de données KLEMS et les données sur le capital du FMLCN pour la période de 2000 à 2002. L'imputation a été effectuée en effectuant une extrapolation rétrospective du stock de capital du FMLCN pour la période de 2000 à 2003 en utilisant le taux de croissance moyen dans la base de données KLEMS au cours de la même période.
11. Les services professionnels comprennent l'architecture, le génie et les services connexes, les services juridiques, les services de comptabilité, la publicité et les relations publiques, la conception de systèmes informatiques et services connexes, et les services de conseils en gestion et de conseils scientifiques et techniques.
12. L'industrie de l'information et l'industrie culturelle regroupent l'édition, la radiotélévision (sauf par Internet), les télécommunications, les industries du film et de l'enregistrement sonore, le traitement des données, hébergement de données et services connexes, et les autres services d'information.

fabrication, sauf celles de la fabrication de vêtements, de la fabrication de produits électroniques et de la fabrication de matériel électrique) tiraient encore de l'arrière[13].

L'annexe C présente les résultats pour une mesure de rechange fondée sur l'investissement en TIC plutôt que sur le stock de capital. Bien que ce dernier rende mieux compte de la maturité technologique globale, il peut être intéressant d'examiner les tendances en matière d'investissement pour avoir une idée de l'adoption plus récente des technologies numériques. Une vérification de la robustesse de l'indice composite final qui utilise l'investissement plutôt que le stock de capital donne des résultats très similaires.

13. L'intensité médiane du capital des TIC dans l'ensemble des industries était de 0,03 durant la première période, et de 0,09 durant la deuxième.

Graphique 1
Mesure du capital des technologies de l'information et des communications, par industrie, 2000 à 2002 et 2013 à 2015



Notes : Les industries sont abrégées en raison de limites d'espace. Consulter le tableau A.1. pour obtenir le nom complet et la classification des industries abrégées. TIC : Technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada, Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux; Base de données sur le capital, le travail, l'énergie, les matières et les services (KLEMS) et calculs des auteurs.

Utilisation de biens et de services de technologies de l'information et des communications intermédiaires

Les intrants intermédiaires sont les biens et services qui sont utilisés dans le processus de production pour produire d'autres biens et services. De plus en plus, les entreprises ont cessé d'investir dans les actifs de TIC pour acheter des services de TIC afin de réduire les coûts et les risques, et d'accroître leur marge de manœuvre (van Ark, 2016). Par conséquent, l'utilisation de données sur l'utilisation intermédiaire des biens et services de TIC peut compléter les données sur le capital des TIC qui — à elles seules — sont susceptibles de sous-estimer la mesure dans laquelle les entreprises adoptent réellement les technologies numériques.

Les données sur l'utilisation intermédiaire des intrants numériques sont fondées sur les tableaux des entrées-sorties pour la période de 2000 à 2008 (Statistique Canada, s.d.c) et des ressources et des emplois (TRE) pour la période de 2009 à 2015 de Statistique Canada (Statistique Canada, s.d.d). Les intrants numériques ont été séparés en biens et services. Bien que les biens numériques intermédiaires soient principalement utilisés par les industries produisant des TIC, les services numériques intermédiaires peuvent probablement entrer dans le processus de production d'une vaste gamme d'industries. La liste des produits et services numériques utilisés a été sélectionnée en fonction de la littérature (van Ark 2016; Barefoot et coll. 2018) et pour éviter d'importantes interruptions entre les tableaux d'entrées-sorties et les TRE[14].

Les mesures ont été élaborées comme suit :

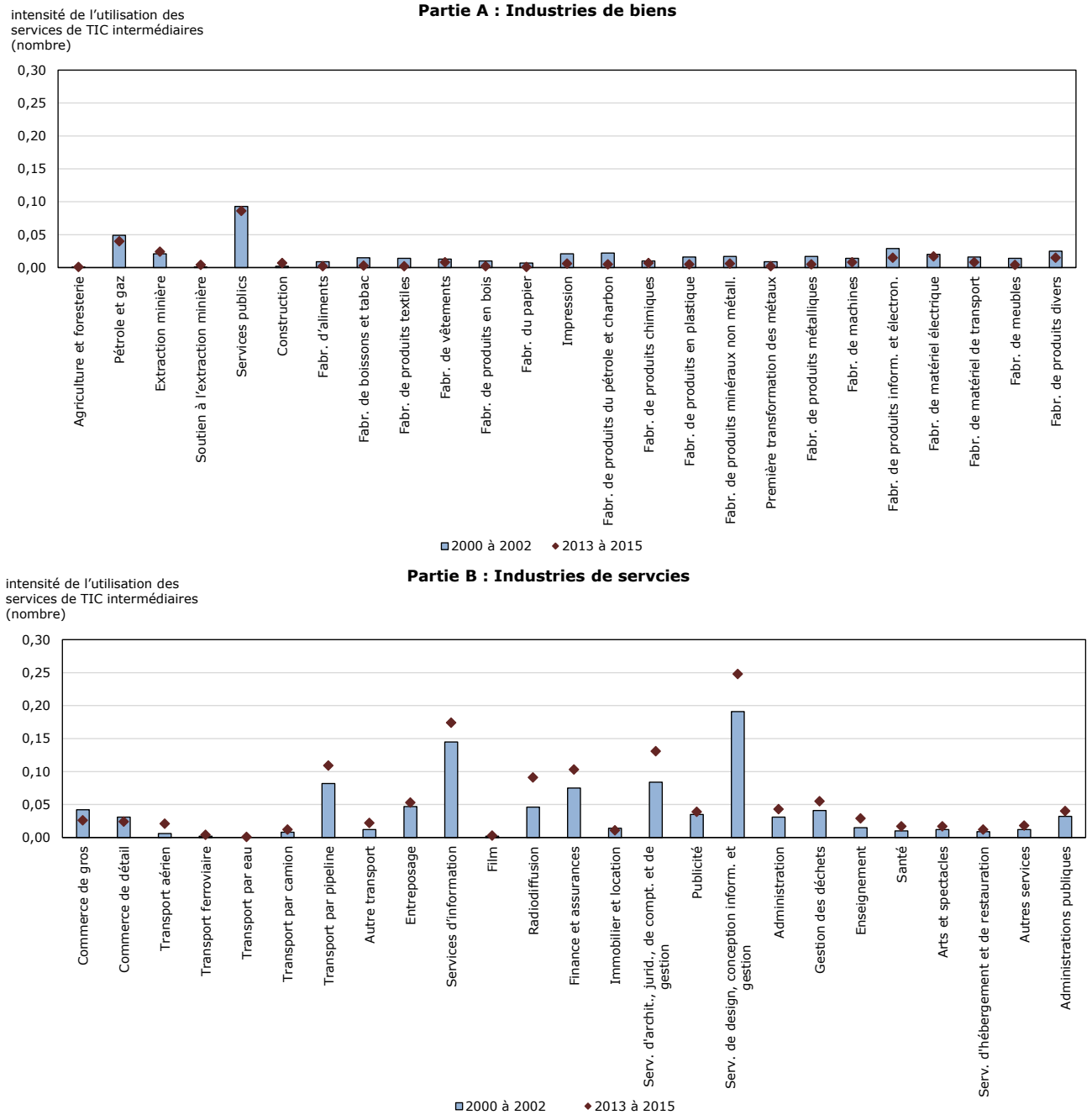
$$MS_{it} = \frac{DS_{it}}{TS_{it}}, \quad MG_{it} = \frac{DG_{it}}{TG_{it}}$$

où MS_{it} est la mesure des services numériques, MG_{it} est la mesure des biens numériques, DS_{it} et DG_{it} sont le volume de services et de biens numériques, respectivement, et TS_{it} et TG_{it} sont les services intermédiaires et les biens intermédiaires totaux, respectivement, pour l'industrie i à la période t. Les services numériques et les biens numériques ont été corrigés en utilisant les déflateurs d'extrant de l'industrie de l'information et de l'industrie culturelle (SCIAN 51) et de la fabrication de produits informatiques et électroniques (SCIAN 334), respectivement, qui sont tous deux tirés de la base de données KLEMS. Les déflateurs propres à l'industrie pour les intrants de services et les intrants autres (matériel et énergie) ont été tirés de la base de données KLEMS pour ajuster les dénominateurs.

Puisque les TRE permettent une désagrégation plus détaillée pour les produits que pour les données sur le capital, les services ou les biens qui sont liés aux télécommunications hors Internet en particulier (p. ex. services téléphoniques, radiodiffusion et télévision, câbles de communications) ont été exclus pour se concentrer sur les intrants liés à l'information et à l'informatique, que l'on considère comme plus étroitement liés à la numérisation et plus largement utilisés à l'échelle des industries. Des mesures de rechange qui comprennent des produits et services de télécommunications hors Internet ont aussi été élaborées et ont fait ressortir des taux élevés de corrélation avec eux, excluant les biens et services de télécommunications hors Internet. La différence la plus marquée a été observée dans la radiotélévision (sauf par Internet), les télécommunications, et les industries du film et de l'enregistrement sonore, qui ont tendance à être plus numériques lorsque tous les intrants liés aux télécommunications sont inclus.

14. Voir l'annexe D pour une liste des intrants numériques sélectionnés.

Graphique 2
Mesure de l'utilisation des services de technologies de l'information et des communications intermédiaires (excluant les intrants de télécommunications hors Internet), par industrie, 2000 à 2002 et 2013 à 2015



Notes : Les industries sont abrégés en raison de limites d'espace. Voir le tableau A.1. pour obtenir le nom complet et la classification des industries.
TIC : technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada, tableaux 36-10-0424-01 et 36-10-0478-01; calculs des auteurs.

Les résultats relatifs à l'intensité d'utilisation des services de TIC montrent que les niveaux d'utilisation des services de TIC, ainsi que les changements observés au fil du temps, contrastaient clairement entre deux groupes d'industries (graphique 2). En effet, leur utilisation était relativement faible dans les industries de la fabrication, de la construction, de l'agriculture et de la foresterie, ainsi que dans la majorité des industries du transport, et la plupart de ces industries ont graduellement réduit leur intensité d'utilisation[15] au fil du temps. En revanche, l'utilisation des services de TIC était élevée dans la plupart des industries de services, comme les services d'information, la radiotélévision, les télécommunications, la finance, et les services professionnels et techniques[16], et les changements au fil du temps pour ces industries étaient plus positifs, chacune d'entre elles ayant affiché une croissance au cours de la période observée. Dans l'industrie du transport par pipeline, l'intensité de l'utilisation des services de TIC était assez élevée comparativement aux autres industries du secteur du transport, et était même supérieure à celle de la finance et des assurances et des télécommunications de 2013 à 2015.

En ce qui a trait aux biens de TIC (excluant les produits de télécommunications hors Internet, annexe E), leur utilisation était concentrée dans un sous-ensemble très précis d'industries, et la fabrication de produits informatiques et électroniques dominait clairement la liste. Cependant, la très forte intensité d'utilisation de biens de TIC observée ici pourrait simplement être liée au fait qu'un grand nombre de composants informatiques et électroniques sont achetés et assemblés pour en faire des produits finaux qui sont par la suite vendus aux consommateurs. Ainsi, il est possible que les entreprises n'utilisent pas nécessairement les biens de TIC pour remplacer ou compléter leurs investissements en TIC à des fins de numérisation. Les industries de la radiotélévision, des télécommunications, des services d'information et dans, une moindre mesure, des soins de santé, ont aussi affiché des intensités relativement plus fortes. La plupart des industries n'ont pas connu beaucoup de changements au cours des deux périodes, à l'exception de la radiotélévision, des télécommunications et des services d'information.

Enfin, compte tenu de sa concentration dans un sous-ensemble précis d'industries, la mesure de l'utilisation des biens de TIC intermédiaires a été exclue de l'indice composite final.

Main-d'œuvre numérique

Le fait d'avoir une main-d'œuvre numérique, c'est-à-dire des employés ayant un haut niveau de littératie numérique et informatique, peut s'avérer d'une immense valeur pour une entreprise qui souhaite profiter pleinement des avantages de la numérisation. Alors que l'architecture technologique devient de plus en plus complexe et sophistiquée, la nécessité d'avoir sur place des employés capables d'assurer la maintenance et de surveiller les différents systèmes risque de s'accroître. Il a été démontré que la présence de lacunes sur le plan des compétences en TIC constitue un obstacle à l'adoption et à la diffusion de la technologie numérique (Andrews et coll., 2018).

Les données sur les professions tirées du Recensement de la population de Statistique Canada (cycles 2001, 2006, 2011 et 2016) et de l'Enquête sur la population active (EPA) (cycles 2001 à 2016) ont été utilisées pour mesurer l'intensité de la main-d'œuvre numérique. Premièrement, une liste de professions liées au numérique a été sélectionnée en fonction de l'examen d'études similaires qui ont caractérisé la main-d'œuvre numérique (Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini, 2018; Manyika et coll., 2015; Lamb et Seddon, 2016)[17]. Comparativement à Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018), les professions numériques sélectionnées pour la présente étude étaient de toute évidence plus vastes, et comprenaient non seulement des professions liées aux ordinateurs, aux systèmes d'information, aux

15. Le transport aérien a affiché une valeur extrême, ayant presque triplé son intensité.
16. Les industries du film et de l'enregistrement sonore font figure d'exceptions, ayant affiché une très faible intensité d'utilisation des services de TIC autres que les télécommunications, mais une intensité d'utilisation relativement plus élevée quand les services de télécommunications sont inclus.
17. La liste des professions numériques figure à l'annexe F.

bases de données et aux logiciels, mais aussi des professions en génie électronique, industriel et en génie de l'aérospatiale, ainsi qu'en graphisme. Cependant, ces professions sont moins vastes que celles qui ont été utilisées dans Manyika et coll. (2015) et Lamb et Seddon (2016), car elles excluent le personnel de soutien de bureau, les préposés à l'entrée de données, les chimistes, les physiciens, les professeurs d'université, les travailleurs de l'industrie des câbles de télécommunications et certains techniciens (p. ex. techniciens d'instruments industriels et d'aéronefs et techniciens de services de câblodistribution). D'autres professions ont aussi été incluses, comme les agents de recherches statistiques, les ingénieurs et technologues d'industrie et de fabrication et les technologues en électricité et électronique, qui n'ont pas été utilisés dans les études précédentes.

Deuxièmement, les données sur les professions numériques et l'emploi total pour chaque industrie ont été tirées du Recensement de la population et de l'EPA et utilisées pour calculer la mesure qui suit

$$ML_{it} = \frac{DL_{it}}{TL_{it}}$$

où ML_{it} est la mesure de la main-d'œuvre numérique, DL_{it} est la somme des travailleurs qui occupent les professions numériques retenues aux fins de la présente étude, et TL_{it} est la somme de tous les travailleurs, pour l'industrie i à la période t.

Dans le cadre de cette étude, un travailleur est défini comme un particulier qui a été enregistré comme employé d'une industrie particulière, et exerçant une profession particulière pour la période de référence. Par conséquent, cela ne tient pas compte des changements d'emploi ou de situation vis-à-vis de l'activité au cours d'une même année (p. ex. temps partiel, temps plein, permanent, temporaire). Cela peut aussi exclure les travailleurs qui occupent des professions non numériques, mais qui pourraient accomplir certaines tâches numériques.

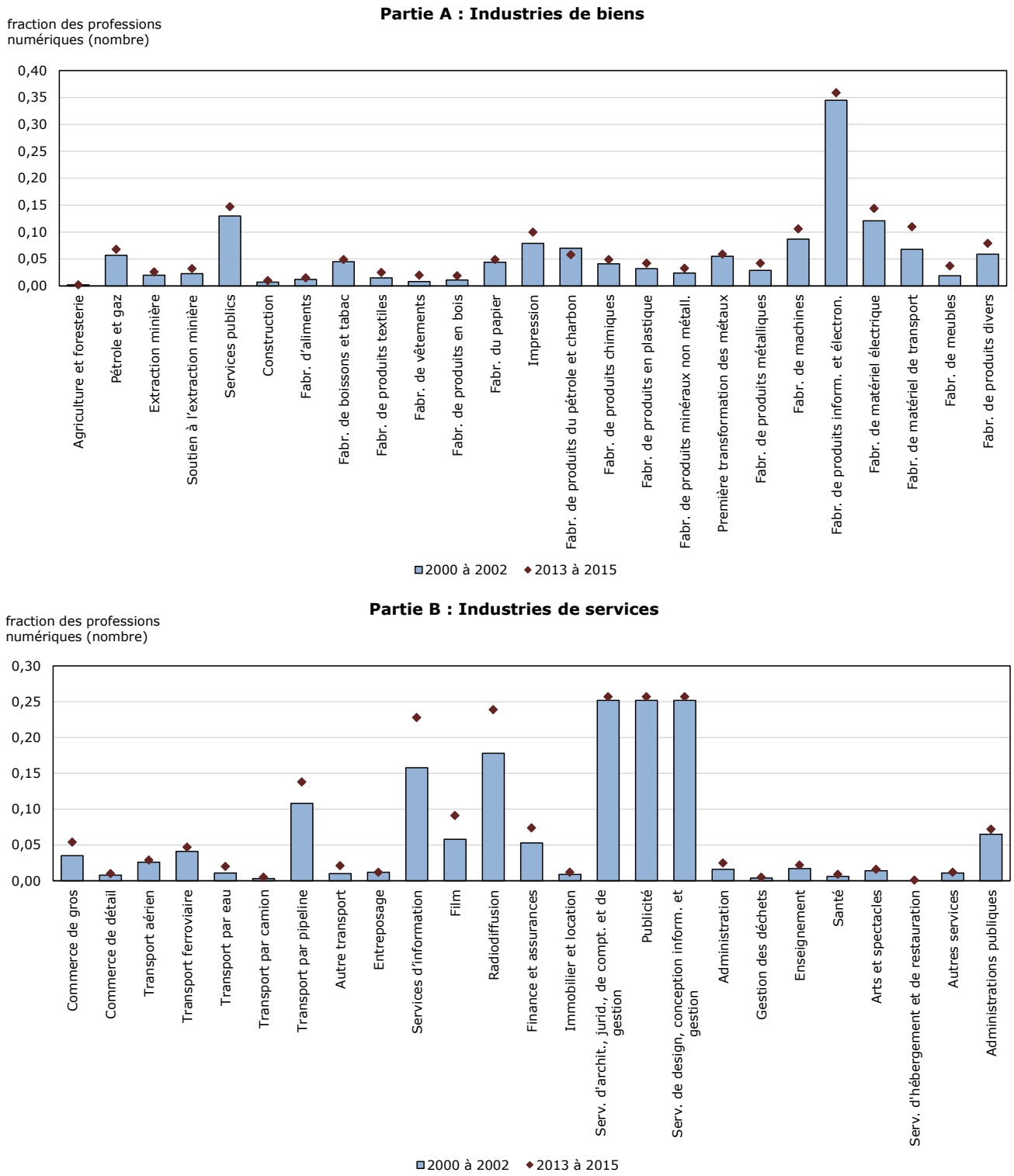
Alors que l'EPA est menée mensuellement, le Recensement de la population est réalisé aux cinq ans. Par conséquent, les données mensuelles de l'EPA ont été agrégées à une fréquence annuelle et utilisées pour inférer les dynamiques d'emploi entre deux recensements consécutifs[18].

Selon les résultats de cette mesure, e la fabrication de produits informatiques et électroniques arrivait clairement au premier rang sur le plan de la main-d'œuvre numérique (graphique 3, partie A), celle-ci représentant environ 34 % de son effectif total pendant la première période visée. Une proportion relativement élevée de l'effectif des services professionnels (p. ex. architecture, génie, conception de systèmes informatiques) était composée de main-d'œuvre numérique, soit environ 25 %, au cours de la première période. Cependant, en raison des limites des données, il n'a pas été possible d'obtenir une perspective plus détaillée de cette industrie, ce qui peut avoir masqué une certaine hétérogénéité. L'industrie l'information et l'industrie culturelle, et les télécommunications sont arrivés au troisième rang pour ce qui est de la main-d'œuvre numérique. Les industries du film et de l'enregistrement sonore semblaient employer une main-d'œuvre numérique de même taille que dans bon nombre d'industries de la fabrication. Il convient de noter que l'industrie du transport par pipeline emploie une part relativement grande de main-d'œuvre numérique et cette part a aussi augmenté au fil du temps. Même si cela contraste avec ses intensités de capital et d'investissements en TIC, cela correspond tout de même à sa plus forte intensité d'utilisation de services de TIC intermédiaires, comme on l'a vu dans la section précédente. Finalement, l'industrie de l'information et l'industrie culturelle, de même que les télécommunications, ont enregistré la hausse la plus marquée de leur intensité de main-d'œuvre

18. En raison de la volatilité des données de l'EPA au niveau proposé de désagrégation industrielle, les estimations provenant des deux sources ont été combinées en utilisant des lissages par interpolation qui placent relativement plus de poids sur les estimations des recensements.

numérique au cours des deux périodes, celle-ci se situant entre 6 et 7 points de pourcentage. La fabrication de matériel de transport a aussi affiché une augmentation relativement prononcée, ce qui est probablement liée aux percées observées dans cette industrie, avec la numérisation sans cesse accrue des voitures, et la robotisation de plus en plus courante (voir la section suivante pour plus de détails).

Graphique 3
Intensité de la main-d'oeuvre numérique, par industrie, 2000 à 2002 et 2013 à 2015



Notes : Les noms des industries sont abrégés en raison de limites d'espace. Consulter le tableau A.1. pour obtenir le nom complet et la classification des industries. TIC : technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada, Enquête sur la population active, et Recensement de la population de 2001, de 2006, de 2011 et de 2016; et calculs des

Robotisation

L'utilisation de robots est l'une des principales caractéristiques de la nouvelle économie numérique. Les robots sont différents des machines et de l'équipement traditionnels, en raison de leur degré élevé d'automatisation avec peu d'interventions humaines. Selon la Fédération internationale de la robotique (FIR), un robot industriel est un « manipulateur à commande automatique, reprogrammable, multiapplications, pouvant être programmé suivant trois axes ou plus, qui peut être fixe ou mobile, destiné à être utilisé dans les applications d'automatisation industrielle » (FIR 2017). Cela a eu et continuera probablement d'avoir d'importantes répercussions sur les procédés de production en remplaçant le travail de routine accompli selon des compétences et en créant une demande de nouveau travail exécuté en tâches (Acemoglu et Restrepo, 2019; Acemoglu, LeLarge et Restrepo, à paraître; Dixon, Hong et Wu, 2020).

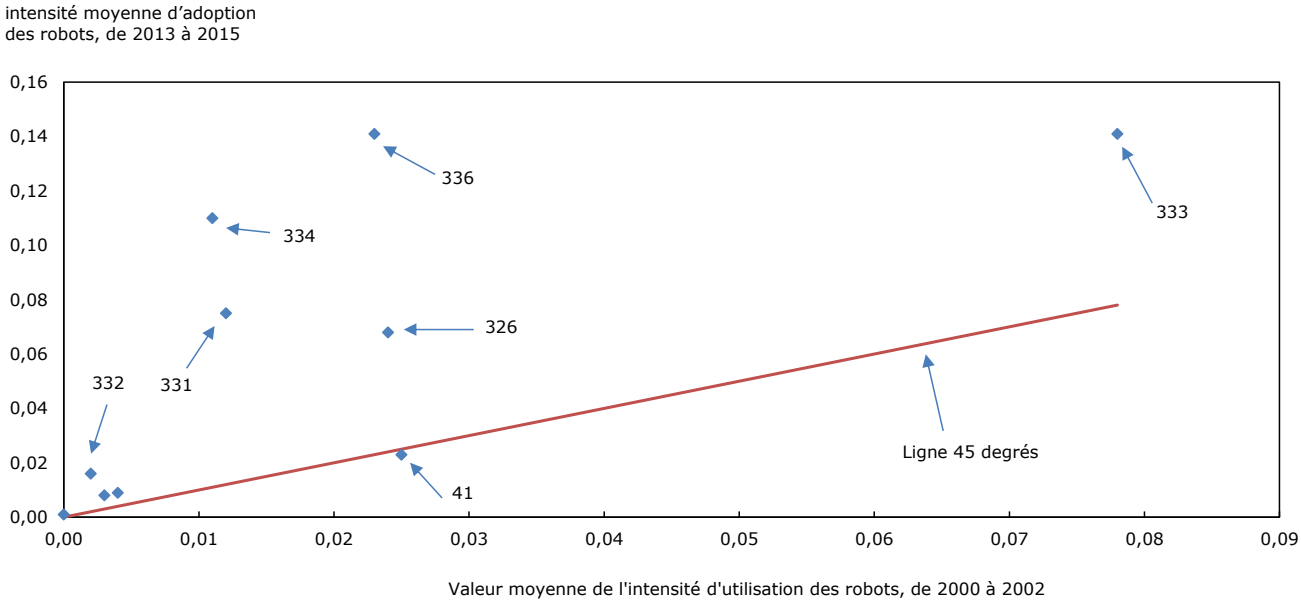
Les données sur les robots au Canada sont tirées des données sur les importations administrées par l'Agence des services frontaliers du Canada, car la plupart des robots au pays sont achetés auprès de producteurs internationaux (Dixon, 2020). Les données sur les importations comportent des codes de produits détaillés qui peuvent identifier les robots séparément des autres machines et équipements, ainsi que la valeur des importations. La valeur totale du stock de robots est comparable aux données de livraisons fournies par la FIR et l'Association des industries de robotique (Dixon, 2020).

Pour évaluer l'intensité de l'adoption des robots à l'échelle des industries, une mesure a été calculée en divisant la valeur réelle du stock de robots par l'emploi à l'échelle de l'industrie de l'EPA. La valeur du stock de robots a été calculée en utilisant une méthode de l'inventaire permanent présumant une durée de vie utile de 12 ans[19].

Le graphique 4 montre l'intensité moyenne des robots au cours de la période de 2013 à 2015 par rapport à celle de la période de 2000 à 2002 pour les grandes industries, qui a été mesurée en millions de dollars enchaînés de 2007 par 100 employés[20]. Sans surprise, l'adoption des robots a surtout été observée dans les industries de fabrication, particulièrement dans celles de la fabrication de machines (SCIAN 333), de la fabrication d'équipement de transport (SCIAN 336), de la fabrication de produits informatiques et électroniques (SCIAN 334), de la première transformation des métaux (SCIAN 331) et de la fabrication de produits en plastique et en caoutchouc (SCIAN 326). Ces industries ont aussi accru leur adoption des robots par rapport à l'emploi, comme illustré par leur situation au-dessus de la ligne de 45 degrés[21]. En particulier, la fabrication de machines avait la plus forte intensité de robots au cours des deux périodes visées. La fabrication de matériel de transport (principalement l'industrie de l'automobile) a affiché la hausse la plus marquée. Le commerce de gros (SCIAN 41) a affiché un degré adoption relativement stable des robots, comme démontré par le fait qu'elle repose presque directement sur la ligne de 45 degrés. L'adoption des robots a été largement négligeable dans les autres industries.

19. Comme aucun indice des prix des robots n'était disponible, un indice des prix a été créé en utilisant une simple moyenne des indices de prix pour les composantes susceptibles d'être utilisées pour fabriquer les robots. Ces composantes comprennent, par exemple, des ordinateurs et appareils périphériques, de l'équipement de communication par téléphone et données, des instruments de navigation et d'orientation, des moteurs électriques et des générateurs, des appareils de mesure et de contrôle et des logiciels.
20. Cependant, les intensités sous-jacentes pour toutes les industries ont été utilisées pour calculer l'indice composite final.
21. Acemoglu et Restrepo (2020) ont aussi découvert que ces industries affichaient des hausses importantes de pénétration des robots en Europe et aux États-Unis.

Graphique 4
Valeur moyenne de l'intensité d'utilisation des robots (en millions de dollars par 100 employés, dollars enchaînés de 2007), principales industries ayant adopté les robots, 2000 à 2002 et 2013 à 2015



Notes : Les codes du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) qui figurent dans le grahique sont les suivants : 325 – fabrication de produits chimiques; 326 – fabrication de produits en caoutchouc et en plastique; 331 – première transformation des métaux; 332 – fabrication de produits métalliques; 333 : fabrication de machines; 334 – fabrication de produits informatiques et électroniques; 335 – fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques; 336 : fabrication de matériel de transport; 41 – commerce de gros; 61 – services d'enseignement. Les trois industries qui se trouvent au coin inférieur gauche correspondent aux codes 61, 325 et 335 du SCIAN.
Sources : Statistique Canada, Enquête sur la population active; Dixon, 2020; et calculs des auteurs.

Un indice composite de l'intensité numérique

Élaboration d'un indice composite de l'intensité numérique

Alors que les mesures multidimensionnelles présentées dans les sections précédentes ont permis de rendre compte des différents aspects de la numérisation, il serait souhaitable d'avoir un indice composite unique qui permet non seulement de saisir les renseignements multidimensionnels, mais aussi de faire des comparaisons d'une industrie à l'autre et au fil du temps. Ce détail est important, car aucune des mesures individuelles n'a été conçue pour brosser un tableau complet de la manière dont les industries utilisent les technologies numériques dans leurs processus de production.

Suivant la littérature sur l'élaboration d'indices composites (p. ex. OCDE, 2008; Nicoletti et coll., 2000), une ACP a été utilisée pour calculer les poids avec lesquels les indicateurs individuels peuvent être agrégés. L'implantation de l'ACP est décrite à l'annexe H. Une ACP est intéressante, car son degré de différenciation est entièrement fondé sur les données sous-jacentes, indépendantes de tout *a priori* sur l'importance relative, et les composantes communes en résultant peuvent saisir une grande quantité de la variation dans les données sous-jacentes.

Le tableau 1 présente la liste des poids dérivés des deux composantes principales, et ils peuvent être utilisés pour élaborer l'indice composite. Ensemble, les deux premières composantes principales (PC-1 et 2) expliquent plus de 80 % de la variance totale des données sous-jacentes, la première composante principale (PC-1) représentant 53 % et la deuxième (PC-2) représentant 28 %.

Tableau 1
Poids associés à différentes composantes principales

	PC-1	PC-2	PC-1 et 2
	pourcentage	pourcentage	pourcentage
Services de technologies de l'information et des communications (sans télécommunications)	33	3	23
Travail numérique	34	10	23
Capital des services des technologies de l'information et des communications	33	1	23
Robots	0	86	31

Notes : TIC : technologies de l'information et des communications; PC-1 désigne la première composante principale, PC-2 désigne la deuxième composante principale et PC-1 et 2 désignent la première et la deuxième composante principale.
Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

Les poids fondés sur différentes composantes principales ont révélé des tendances intéressantes liées à la numérisation dans les industries. La PC-1 suppose des poids équivalents parmi les mesures sous-jacentes, à l'exception de l'utilisation des robots, à laquelle un poids de zéro a été attribué. Par conséquent, la numérisation s'est manifestée par une utilisation équivalente d'intrants numériques conventionnels (p. ex. capital, travail et services intermédiaires) dans le processus de production. En revanche, la numérisation est principalement liée à l'utilisation de robots, en fonction de la PC-2. L'orthogonalité entre les composantes principales suppose différentes tendances en matière de numérisation dans les industries. Cette différence pourrait est lié au fait que les robots ont tendance à être différents des autres intrants numériques conventionnels des façons suivantes : a) les robots sont différents des machines et équipements conventionnels en raison de leur degré élevé d'automatisation et b) les robots remplacent les tâches routinières fondées sur le travail tout en augmentant la demande pour des travailleurs plus qualifiés.

La conséquence de cela est que le choix des composantes principales a différentes répercussions sur les indices composites finaux. Un indice final fondé sur les poids de PC-1 avait tendance à faire abstraction du rôle de l'adoption des robots dans la numérisation, ce qui ne favorise pas les industries de la fabrication, notamment celles de la fabrication de machines et de la fabrication de matériel de transport. Cependant, si l'indice final était fondé uniquement sur la composante PC-2, il se concentrerait seulement sur l'utilisation des robots, accordant beaucoup d'importance aux industries de la fabrication.

La présente étude a adopté les poids tirés des composantes PC-1 et 2 pour élaborer l'indice composite final au moyen d'une agrégation linéaire[22]. Cela a permis d'équilibrer différents intrants numériques et de rendre les comparaisons entre les industries plus cohérentes[23, 24]. Les sections suivantes présentent l'indice final de l'intensité numérique. Premièrement, l'intensité numérique selon l'industrie et au fil du temps est présentée, suivie par un classement des industries en fonction de leur indice d'intensité numérique. Enfin, un indice national de l'intensité numérique a été créé pour illustrer la progression de la numérisation dans l'ensemble de l'économie.

22. Une agrégation linéaire présume du degré de compensation de manière implicite dans l'ensemble des mesures. Par conséquent, un déficit dans une mesure peut être contrebalancé (compensé) par un surplus dans une autre. Cela concorde avec la démonstration que les services peuvent remplacer le capital (van Ark, 2016).
23. En fonction de la portée des recherches, il serait possible de choisir différents poids. Par exemple, la composante PC1 pourrait être choisie si les industries d'intérêt ne comprennent pas la fabrication, et la composante PC2 pourrait être choisie si seules les industries de la fabrication sont d'intérêt.
24. L'indice final a subi une transformation supplémentaire en utilisant la normalisation min-max pour obtenir une meilleure possibilité d'interprétation. Par défaut, l'indice sera compris entre 0 et 1.

Un indice composite de l'intensité numérique par industrie

L'intensité numérique dans les industries de biens était inférieure à celle des industries de services, en moyenne, pour les deux périodes (graphique 5)[25]. L'intensité numérique moyenne dans les industries de biens s'est chiffrée à 0,12 au cours de la période de 2000 à 2002, comparativement à 0,2 pour les industries de services. L'intensité numérique moyenne des industries de biens a augmenté pour atteindre 0,23 au cours de la période de 2013 à 2015, mais elle était tout de même inférieure à celle des industries de services (0,29).

Bien que la majorité des industries de biens (p. ex. agriculture, extraction minière, construction et la plupart des industries de la fabrication) présentent de faibles intensités numériques en général, certaines d'entre elles qui affichent des niveaux relativement élevés, dont les services publics, la fabrication de machines, la fabrication de produits informatiques et électroniques, et la fabrication de matériel de transport. En particulier, les industries de la fabrication de machines, de la fabrication de produits informatiques et électroniques et de la fabrication de matériel de transport ont toutes affiché une hausse marquée de leur intensité numérique au fil du temps, laquelle serait attribuable à leur utilisation plus intensive de robots.

Parmi les industries de services, les services d'information, la radiotélévision et les télécommunications, la conception de systèmes informatiques, les services de conseils en gestion et de conseils scientifiques et techniques, le génie et les autres services professionnels affichaient la plus forte intensité numérique de 2000 à 2015. Leur intensité numérique a aussi beaucoup augmenté au fil du temps, et les hausses sont allées de 27 % dans les industries de l'édition, du traitement de données, de l'hébergement de données et des autres services d'information, à 53 % dans les industries de la publicité, des relations publiques et des services connexes.

Seules les industries de la fabrication de produits du pétrole et du charbon et celles de la fabrication de produits minéraux non métalliques ont affiché une diminution de leur intensité numérique au fil du temps.

Une autre façon d'analyser la progression de l'intensité numérique est de comparer les niveaux initiaux avec les variations au fil du temps (graphique 6). Cette comparaison montre que les industries sont groupées autour de deux grappes principales, soit une en haut à droite et l'autre en bas à gauche. Les industries dans la grappe en haut à droite comprennent la fabrication de produits informatiques et électroniques (334); la fabrication de machines (333); l'édition et les services de traitement des données (511, 518); la radiotélévision et les télécommunications (515, 517) et les services professionnels, scientifiques et techniques (541). Ces industries sont les chefs de file de l'utilisation d'intrants numériques, commençant à des niveaux élevés et affichant d'importantes hausses. En revanche, les industries de l'agriculture, de l'extraction minière, de la construction et la plupart des industries de la fabrication et du transport se situent dans la grappe en bas à gauche, la majorité ayant commencé à de faibles niveaux et ayant affiché de petites augmentations. La fabrication de matériel de transport (336), la première transformation de métaux (331), la fabrication de produits en plastique (326), la fabrication de vêtements (315) et les services d'enseignement et les services de santé (61, 62) se situaient parmi celles qui rattrapaient le retard, ou qui avaient commencé à un faible niveau, mais avaient affiché des hausses importantes.

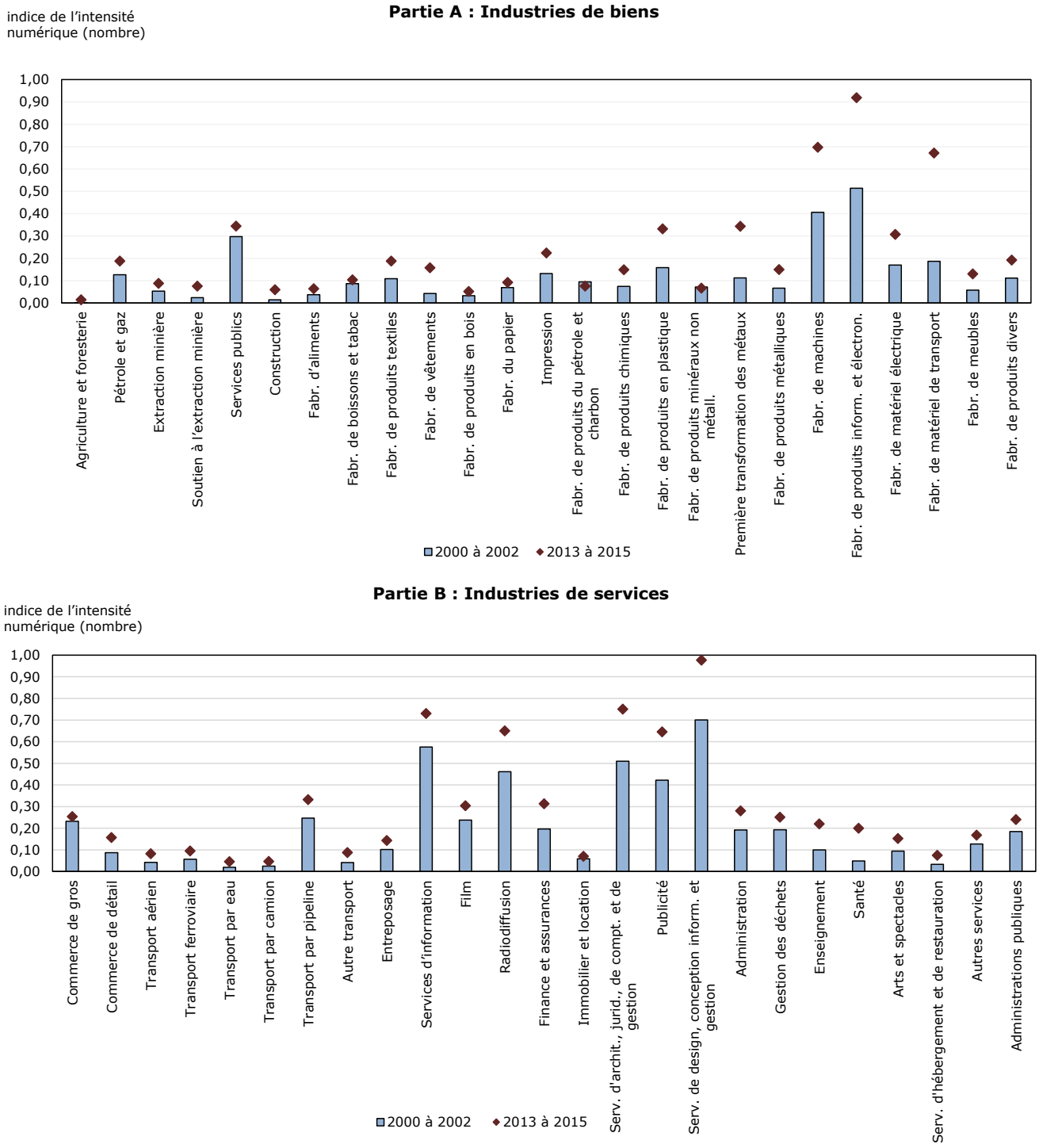
Ce fait stylisé laisse supposer qu'il y a une relation positive entre les niveaux initiaux d'intensité numérique et les changements subséquents[26]. Autrement dit, les industries ayant une utilisation

25. Des indices composites de rechange ont aussi été élaborés en utilisant différentes mesures ou différents poids d'ACP. Les résultats sont offerts sur demande.
26. Une simple régression laisse supposer que le coefficient au niveau initial de l'intensité numérique était de 0,4 et cette valeur est statistiquement significative.

supérieure d'intrants numériques au début de la période d'échantillonnage étaient plus susceptibles d'enregistrer une hausse plus importante de la numérisation plus tard[27]. Cela dénote la présence d'une numérisation polarisée dans les industries canadiennes, car certaines industries sont à l'avant-garde et investissent sans cesse dans la numérisation, alors que d'autres tirent de l'arrière et ne s'améliorent pas beaucoup au fil du temps. Le faible taux d'adoption et de diffusion de la numérisation parmi certaines de ces industries peut s'expliquer par la nature de ces industries. Des méthodes de gestion de moindre qualité, des lacunes dans les compétences en TIC, et un mauvais arrimage entre les travailleurs et les emplois peuvent aussi jouer un rôle dans la courbe de numérisation (Andrews et coll., 2018).

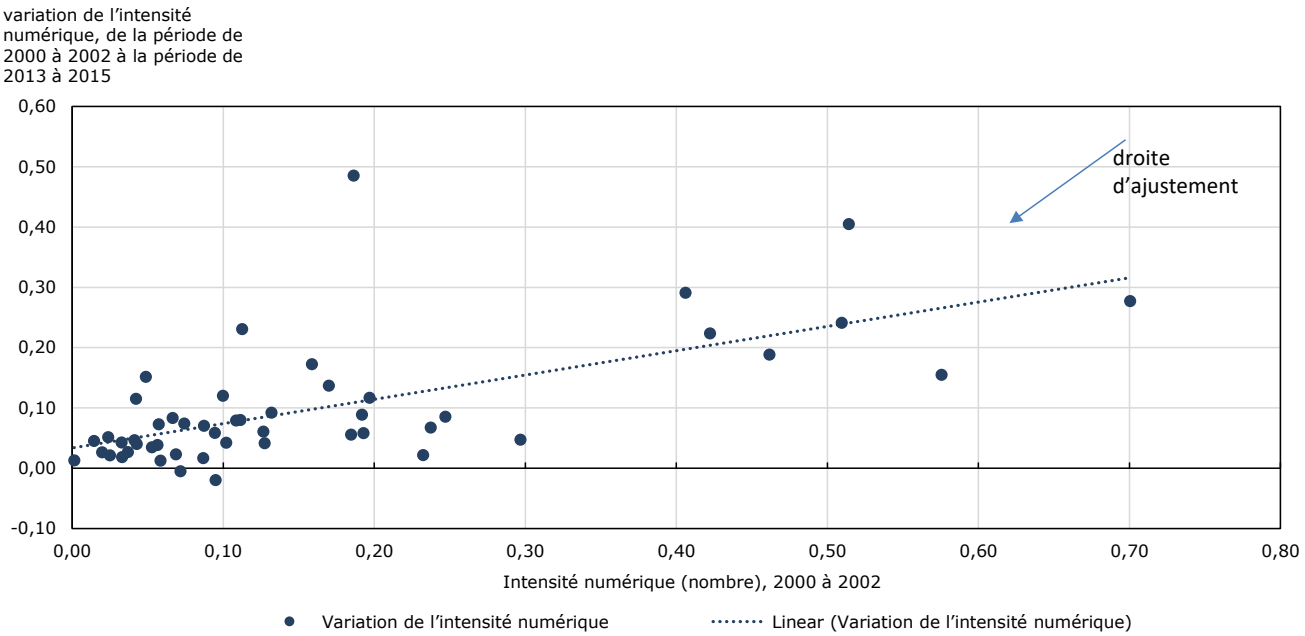
27. Cette corrélation positive a aussi été remarquée pour d'autres pays de l'OCDE, comme il a été documenté dans Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018).

Graphique 5
Indice composite final de l'intensité numérique, par industrie, 2000 à 2002 et 2013 à 2015



Notes : Les noms des industries sont abrégés en raison de limites d'espace. Consulter le tableau A.1. pour obtenir le nom complet et la classification des industries. TIC : technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

Graphique 6
Progression de la numérisation à l'échelle des industries et au fil du temps



Note : SCIAN : Système de classification des industries de l'Amérique du Nord.
Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

Classement de l'intensité numérique dans l'ensemble des industries

Selon l'indice composite final, les industries peuvent être classées entre quatre quartiles en fonction de leur intensité numérique respective. Une industrie à forte intensité numérique a une intensité qui se situe dans le quartile supérieur. Le tableau 2 montre le classement pour les deux périodes (colonnes A et B). Par exemple, de 2013 à 2015, les industries à forte intensité numérique (avec la mention « élevée ») comprenaient les services publics, la fabrication de produits en caoutchouc et en plastique, la première transformation de métaux, la fabrication de machines, la fabrication de produits informatiques et électroniques, la fabrication de matériel de transport, le transport par pipeline, l'édition et le traitement des données, la radiotélévision et les télécommunications, et les services professionnels, scientifiques et techniques. Ces industries se situaient aussi dans les quartiles supérieur et moyen à supérieur au cours de la première période. En revanche, l'agriculture, la construction, la fabrication d'aliments et les services d'hébergement et de restauration se situaient parmi les industries affichant la plus faible intensité numérique, et ce, pour les deux périodes.

Bien que ce classement de l'intensité numérique soit utile pour faire des comparaisons entre les industries, il ne peut indiquer l'ampleur des différences sous-jacentes entre les industries ou des changements au sein des industries. Par exemple, alors que l'agriculture se classe parmi les industries qui affichaient la plus faible intensité numérique au cours des deux périodes visées, le classement ne peut rendre compte du fait que son intensité numérique a décuplé pendant ce temps[28].

28. Alors que le secteur de l'agriculture dans son ensemble (SCIAN 11) affichait une faible intensité numérique, on constate une grande hétérogénéité parmi ses sous-industries. Par exemple, dans le sous-secteur des activités de soutien à l'agriculture et à la foresterie (SCIAN 115), l'intensité du capital des TIC et la proportion de main-d'œuvre numérique sont beaucoup plus élevées que dans les autres sous-secteurs de l'agriculture.

La caractérisation des industries à forte intensité numérique présentée dans cette étude est plus vaste que celle utilisée dans Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018) — désignée ci-après par l'abréviation CCMS —, où seules la fabrication de matériel de transport l'édition, le traitement des données, la radiotélévision, les télécommunications et les services professionnels, scientifiques et techniques ont été désignés comme ayant une forte intensité numérique pour la deuxième période[29]. Aussi, alors que certaines industries de services, dont celles de la finance et des assurances et des services administratifs et de soutien ont aussi été considérées comme étant à forte intensité numérique, dans l'étude de CCMS, dans celle-ci, leur intensité numérique est considérée comme étant de moyenne à forte.

L'une des différences grandes entre la présente étude et celle de CCMS est que cette dernière a utilisé les classements pour normaliser chaque mesure individuelle et a appliqué des poids égaux pour l'agrégation, alors que la présente étude a utilisé des écarts réduits et des poids d'ACP. Pour déterminer si les résultats étaient sensibles à différentes méthodes de normalisation et différents poids, un indice de rechange a été élaboré de la même manière que dans l'étude de CCMS, c'est-à-dire une industrie *j* a d'abord été classée pour chaque mesure individuelle prise en compte, et mise à l'échelle selon le nombre total d'industries (en divisant par le nombre total d'industries), puis l'indice final pour l'industrie *j* a été calculé comme la moyenne simple de ses classements à l'échelle des mesures. Chaque industrie a ensuite été classée en quartiles en fonction des indices finaux de CCMS, comme illustré dans la colonne C du tableau 2. Les deux indices ont affiché une forte corrélation, qui s'est chiffrée à plus de 0,8 pour les deux périodes. Les classements selon les deux indices étaient largement cohérents. Les services publics, la fabrication de machines, la fabrication de produits informatiques et électroniques, les services d'information, la radiotélévision, les télécommunications, et les services professionnels, scientifiques et techniques étaient classés dans le quartile supérieur par les deux indices. En outre, l'agriculture, la construction, certaines industries de la fabrication (p. ex. fabrication d'aliments et fabrication de produits en bois), et les services d'hébergement et de restauration étaient classés dans le quartile inférieur par les deux indices. Néanmoins, il existait des différences entre les deux indices. Par exemple, l'indice fondé sur l'étude de CCMS a eu tendance à classer certaines industries (p. ex. fabrication de produits du pétrole, fabrication de produits chimiques, fabrication de matériel électrique, fabrication de meubles, industries du commerce de gros) plus haut, et à en classer d'autres (p. ex. transport par pipeline, fabrication de produits en plastique, industrie du film, et soins de santé) plus bas.

29. La fabrication de produits informatiques et électroniques et la fabrication de machines ont aussi été désignées comme industries à très forte intensité numérique dans Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018) pour la période de 2001 à 2003.

Tableau 2
Classement de l'intensité numérique à l'échelle des industries

	Classement selon l'indice composite final (quartiles de l'intensité numérique)		Classement selon la méthodologie CCMS
	Colonne A	Colonne B	Colonne C
Industrie	**2000 à 2002**	**2013 à 2015**	**2013 à 2015**
Services publics	Élevée	Élevée	Élevée
Fabrication de produits en plastique et en caoutchouc	Moyenne-élevée	Élevée	Moyenne-élevée
Première transformation des métaux	Moyenne-élevée	Élevée	Moyenne-élevée
Fabrication de machines	Élevée	Élevée	Élevée
Fabrication de produits informatiques et électroniques	Élevée	Élevée	Élevée
Fabrication de matériel de transport	Moyenne-élevée	Élevée	Moyenne-élevée
Transport par pipeline	Élevée	Élevée	Moyenne-élevée
Édition (sauf par Internet), traitement des données, hébergement de données et services connexes, et autres services d'information	Élevée	Élevée	Élevée
Radiotélévision (sauf par Internet) et télécommunications	Élevée	Élevée	Élevée
Architecture, génie et services connexes, services de comptabilité, de préparation de déclarations de revenus, de tenue de livres et de paye, et services juridiques	Élevée	Élevée	Élevée
Services de publicité, relations publiques et services connexes	Élevée	Élevée	Élevée
Conception de systèmes informatiques et services connexes, services de conseils en gestion et de conseils scientifiques et techniques, services de recherche et développement scientifiques, services spécialisés de design, autres services	Élevée	Élevée	Élevée
Extraction de pétrole et de gaz	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Usines de textiles et usines de produits textiles	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Impression et activités connexes de soutien	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Élevée
Activités diverses de fabrication	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Élevée
Commerce de gros	Élevée	Moyenne-élevée	Élevée
Industries du film et de l'enregistrement sonore	Élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Finance et assurances	Élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Services administratifs et de soutien	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Services de gestion des déchets et d'assainissement	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Services d'enseignement	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Soins de santé et assistance sociale	Faible	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Administrations publiques	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Élevée
Extraction minière et exploitation en carrière (sauf l'extraction de pétrole et de gaz)	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Fabrication de boissons et de produits du tabac	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Fabrication de produits en cuir et de produits analogues	Faible	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Fabrication du papier	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Faible
Fabrication de produits chimiques	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Fabrication de produits métalliques	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Fabrication de meubles et de produits connexes	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Commerce de détail	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Transport ferroviaire	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Faible
Transport en commun et transport de terrestre de voyageurs, et transport de tourisme et d'agrément, activités de soutien au transport	Faible	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Services postaux, messageries et services de messagers, et entreposage	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Arts, spectacles et loisirs	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Autres services (sauf les administrations publiques)	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée	Moyenne-élevée
Agriculture, foresterie, pêche et chasse	Faible	Faible	Faible
Activités de soutien à l'extraction minière, pétrolière et gazière	Faible	Faible	Faible
Construction	Faible	Faible	Faible
Fabrication d'aliments	Faible	Faible	Faible
Fabrication de produits en bois	Faible	Faible	Faible
Fabrication de produits du pétrole et du charbon	Moyenne-élevée	Faible	Moyenne-élevée
Fabrication de produits minéraux non métalliques	Moyenne-élevée	Faible	Moyenne-élevée
Transport aérien	Faible	Faible	Faible
Transport par eau	Faible	Faible	Faible
Transport par camion	Faible	Faible	Faible
Services immobiliers et services de location et de location à bail	Moyenne-élevée	Faible	Faible
Services d'hébergement et de restauration	Faible	Faible	Faible

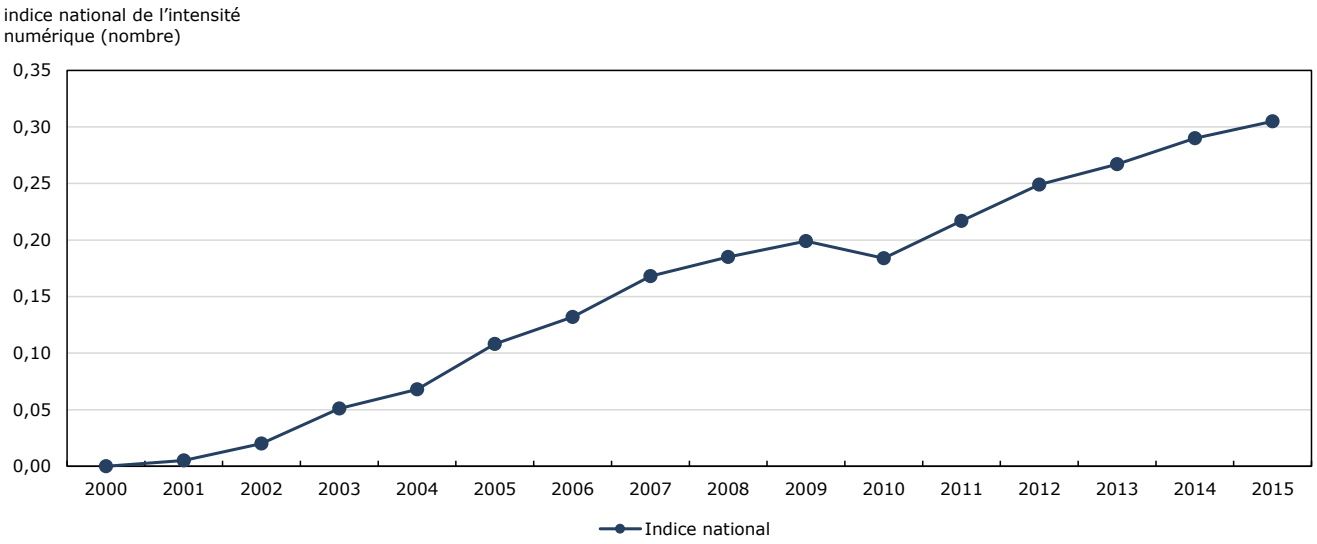
Note : CCMS : Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018).
Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

Un indice de l'intensité numérique pour le Canada

Comme dernière étape, un indice de l'intensité numérique dans l'économie globale pour le Canada a été créé en pondérant les indices composites à l'échelle de l'industrie par la part nominale du produit intérieur brut (PIB) de chaque industrie.

L'indice national est présenté en tant que différence par rapport à son niveau de 2000 (graphique 7). Il montre que l'économie canadienne est devenue plus numérisée au cours de cette période, par rapport à la manière dont les intrants numériques sont utilisés dans le processus de production. Cette augmentation de l'intensité numérique pourrait être due au fait que presque toutes les industries ont accru leur intensité numérique au fil du temps, comme expliqué plus haut. Elle pourrait aussi être le résultat d'une transition, dans l'économie canadienne, vers des industries ayant simultanément pris plus d'ampleur et grandement augmenté leur intensité numérique, comme la finance et les assurances, les services professionnels, scientifiques et techniques, les services d'enseignement et les soins de santé[30]. L'intensité numérique suit une tendance à la hausse depuis 2000, sauf pour une baisse observée de 2009 à 2010.

Graphique 7
Indice de l'intensité numérique au Canada, différence par rapport à 2000



Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

30 Par exemple, la part du PIB que représente le secteur de la finance et des assurances a augmenté de 0,4 point de pourcentage de la première (2000 à 2002) à la deuxième période (2013 à 2015). La part du PIB des services professionnels, scientifiques et techniques, des services d'enseignement et des soins de santé s'est accrue, respectivement, de 1,3, de 0,8 et de 1,7 point de pourcentage (Statistique Canada, s.d.c et s.d.d).

Conclusion

La numérisation est omniprésente au Canada. Cependant, la mesure de la numérisation pose certaines difficultés, compte tenu de la complexité du phénomène. Cette étude propose des mesures multidimensionnelles fondées sur de multiples sources de données, pour saisir la polyvalence des technologies numériques et des intrants utilisés dans le processus de production. Ces mesures ont été agrégées pour former un indice composite, en utilisant les poids d'une ACP. L'indice composite qui en a découlé comportait un classement de l'intensité numérique selon l'industrie comparable à celui d'autres indices existants. De plus, il offre une meilleure mesure de l'ampleur des variations sectorielles et temporelles de la numérisation.

L'indice composite final indique que de 2000 à 2015, l'intensité numérique dans l'économie canadienne n'a cessé de croître, pratiquement toutes les industries ayant accru leur intensité numérique au cours de cette période. Les services d'information, les télécommunications, les services professionnels, scientifiques et techniques, la fabrication de machines, la fabrication de produits informatiques et électroniques, et la fabrication de matériel de transport figurent parmi les chefs de file en matière d'intensité numérique : ces industries affichaient une forte intensité numérique au début de la période à l'étude, et celle-ci s'est accrue de façon marquée au fil du temps. En revanche, l'agriculture, l'extraction minière et la construction, ainsi que la plupart des industries de la fabrication et des industries du transport, se situent aux derniers rangs pour ce qui est de l'intensité numérique : leurs niveaux étaient faibles au début de la période visée, et n'ont augmenté que légèrement par la suite. Ces résultats sont indicateurs d'une numérisation inégale à l'échelle des industries au Canada, où certaines industries sont à l'avant-garde de l'adoption des technologies numériques, tandis que d'autres tirent de l'arrière et ont montré peu de progrès par rapport aux autres au fil du temps. Il est important de comprendre pourquoi ces industries diffèrent sur le plan de l'adoption et de la diffusion des technologies numériques. Les facteurs qui pourraient expliquer de faibles taux d'adoption et de diffusion comprennent des méthodes de gestion de moindre qualité, des lacunes dans les compétences en TIC, et un mauvais arrimage entre les travailleurs et les emplois (Andrews et coll., 2018).

L'indice de l'intensité numérique est un outil pratique pour mieux déterminer la mesure dans laquelle les technologies numériques sont adoptées dans l'économie canadienne, sur le plan de l'utilisation des intrants numériques dans les processus de production. Bien que cet indice ne saisisse pas la pleine ampleur de la numérisation dans l'économie et la société canadiennes, il offre suffisamment de souplesse pour incorporer de nouveaux renseignements sur la numérisation à mesure qu'ils sont disponibles, comme des renseignements plus détaillés et plus récents sur le commerce électronique, les bases de données et l'analytique, ainsi que les activités de recherche-développement liées au numérique.

La mesure de l'intensité numérique n'est qu'une première étape à franchir vers une meilleure compréhension des répercussions de la numérisation sur l'économie canadienne. La caractérisation des industries à forte intensité numérique peut être outil utile pour de futures recherches sur les liens entre les technologies numériques et la concurrence, l'innovation, le dynamisme des entreprises et la croissance de la productivité.

Annexe A - Classification des industries

Tableau A.1
Classifications des industries

Type d'industrie	Code de l'industrie	Nom de l'industrie
Agriculture et foresterie	11	Agriculture, foresterie, pêche et chasse
Pétrole et gaz	211	Extraction de pétrole et de gaz
Extraction minière	212	Extraction minière et exploitation en carrière (sauf l'extraction de pétrole et de gaz)
Soutien à l'extraction minière	213	Activités de soutien à l'extraction minière, pétrolière et gazière
Services publics	22	Services publics
Construction	23	Construction
Fabrication d'aliments	311	Fabrication d'aliments
Fabr. de boissons et tabac	312	Fabrication de boissons et de produits du tabac
Fabr. de produits textiles	313, 314	Usines de textiles Usines de produits textiles
Fabr. de vêtements	315, 316	Fabrication de vêtements Fabrication de produits en cuir et de produits analogues
Fabr. de produits en bois	321	Fabrication de produits en bois
Fabr. du papier	322	Fabrication du papier
Impression	323	Impression et activités connexes de soutien
Fabr. de produits du pétrole et charbon	324	Fabrication de produits du pétrole et du charbon
Fabr. de produits chimiques	325	Fabrication de produits chimiques
Fabr. de produits en plastique	326	Fabrication de produits en plastique et en caoutchouc
Fabr. de produits minéraux non métalliques	327	Fabrication de produits minéraux non métalliques
Première transformation des métaux	331	Première transformation des métaux
Fabr. de produits métalliques	332	Fabrication de produits métalliques
Fabr. de machines	333	Fabrication de machines
Fabr. de produits inform. et électron.	334	Fabrication de produits informatiques et électroniques
Fabr. de matériel électrique	335	Fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques
Fabr. de matériel de transport	336	Fabrication de matériel de transport
Fabr. de meubles	337	Fabrication de meubles et produits connexes
Fabr. de produits divers	339	Activités diverses de fabrication
Commerce de gros	41	Commerce de gros
Commerce de détail	44, 45	Commerce de détail
Transport aérien	481	Transport aérien
Transport ferroviaire	482	Transport ferroviaire
Transport par eau	483	Transport par eau
Transport par camion	484	Transport par camion
Transport par pipeline	486	Transport par pipeline
Autre transport	485, 487, 488	Transport en commun et transport terrestre de voyageurs Transport de tourisme et d'agrément Activités de soutien au transport
Entreposage	491, 492, 493	Services postaux Messageries et services de messagers Entreposage
Services d'information	511, 518, 519	Édition (sauf par Internet) Traitement de données, hébergement de données et services connexes Autres services d'information
Film	512	Industries du film et de l'enregistrement sonore
Radiodiffusion	515, 517	Radiotélévision (sauf par Internet) Télécommunications
Finance et assurances	52	Finance et assurances
Immobilier et location	53	Services immobiliers et services de location et de location à bail
Serv. d'archit., jurid., de compt. et de génie	5411, 5412, 5413	Services juridiques Services de comptabilité, de préparation de déclarations de revenus, de tenue de livre et de paye Architecture, génie et services connexes
Publicité	5418	Publicité, relations publiques et services connexes
Serv. de design, conception inform. et gestion	5414, 5415, 5416, 5417, 5419	Services spécialisés de design Conception de systèmes informatiques et services connexes Services de conseils en gestion et de conseils scientifiques et techniques Services de recherche et développement scientifiques Autres services professionnels, scientifiques et techniques
Administration	561	Services administratifs et services de soutien
Gestion des déchets	562	Services de gestion des déchets et d'assainissement
Enseignement	61	Services d'enseignement
Santé	62	Soins de santé et assistance sociale
Arts et spectacles	71	Arts, spectacles et loisirs
Serv. d'hébergement et de restauration	72	Services d'hébergement et de restauration
Autres services	81	Autres services (sauf les administrations publiques)
Administrations publiques	91	Administrations publiques

Note : SCIAN : Système de classification des industries de l'Amérique du Nord.
Sources : Statistique Canada; et compilation des auteurs.

Annexe B – Classification des actifs

Pour les mesures qui reposent sur les microdonnées du Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux (FMLCN) (capital et investissements des technologies de l'information et des communications [TIC]), une classification des actifs qui améliorent les TIC et la productivité a été créée en utilisant les codes de déduction pour amortissement (DPA) fournis dans l'annexe II du Règlement de l'impôt sur le revenu (tableau B.1). Une classe d'actifs de DPA est considérée être des TIC si la plupart des actifs qui en font partie sont liés aux TIC sans équivoque.

Tableau B.1
Classification des actifs

Code de DPA	Description	Catégorie
46	Matériel d'infrastructure de réseaux de données et logiciels pour ce matériel	TIC
45	Matériel électronique universel de traitement de l'information et de logiciels de systèmes connexes, y compris le matériel auxiliaire de traitement de l'information	TIC
50	Matériel électronique universel de traitement de l'information et de logiciels de systèmes connexes, y compris le matériel auxiliaire de traitement de l'information	TIC
52	Matériel électronique universel de traitement de l'information et de logiciels de systèmes connexes, y compris le matériel auxiliaire de traitement de l'information	TIC
9	Matériel de production d'électricité, de radar, de transmission par radar, de réception par radio et d'aéronefs	MM
15	Matériel de traitement du bois	MM
16	Véhicules automobiles, aéronefs, camions ou tracteurs, et jeux vidéos payants	MM
17	Systèmes téléphoniques ou matériel de communication de données, excluant le matériel de communication radio et propriété constituée principalement d'équipement électronique ou de logiciels	MM
22	Matériel mécanique portatif conçu pour l'excavation, le déplacement, le placement ou le compactage de terre, de roches, de béton ou d'asphalte	MM
29	Propriété utilisée principalement pour la fabrication de biens destinés à la vente ou à la location	MM
30	Véhicule spatial de télécommunications ou récepteurs et décodeurs de télévision	MM
34	Matériel de production d'électricité, de chauffage et de vapeur	MM
35	Appareils de suspension de wagons ou de voies ferrées	MM
38	Matériel mécanique portatif conçu pour l'excavation, le déplacement, le placement ou le compactage de terre, de roches, de béton ou d'asphalte	MM
39	Propriété utilisée principalement pour la fabrication de biens destinés à la vente ou à la location	MM
40	Chariots élévateurs à commande électronique	MM
43	Propriété utilisée principalement pour la fabrication de biens destinés à la vente ou à la location	MM
43,1	Matériel de production d'énergie	MM
43,2	Matériel de production d'énergie	MM
48	Turbines à combustion	MM
14	Brevet, franchise, concession ou licence	PPI
44	Propriété qui est un brevet ou un droit d'utiliser des renseignements brevetés pour une période limitée ou illimitée	PPI

Notes : MM : machines et matériel; PPI : produits de la propriété intellectuelle; DPA : déduction pour amortissement; TIC : technologies de l'information et des communications.

Sources : Statistique Canada; et compilation des auteurs.

Annexe C – Investissement en technologies de l'information et des communications

La mesure de l'investissement en technologies de l'information et des communications (TIC) a été calculée à partir de deux sources de données : les tableaux de demande finale de Statistique Canada, qui comprennent des données sur l'investissement en équipement et logiciels de TIC pour 41 industries distinctes[31]; et les données du Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux (FMLCN) sur les coûts d'acquisition des actifs de TIC au cours de l'année[32].

Une mesure a été élaborée pour chacune des deux sources de données comme suit

$$MI_{it} = \frac{DI_{it}}{PEI_{it}}$$

où MI_{it} est une mesure d'investissement, DI_{it} est le volume d'investissement numérique, et PEI_{it} est le volume d'investissement qui augmente la productivité, tous pour l'industrie i à la période t. Des mesures de rechange qui utilisent l'investissement non résidentiel total comme dénominateur (y compris tant les structures que les machines et équipements) au lieu des actifs qui améliorent la productivité ont aussi été élaborées et, une fois de plus, les résultats montrent une très forte corrélation des classements entre les deux mesures.

La demande finale et les données du FMLCN ont été corrigées en utilisant des déflateurs implicites propres aux industries et aux actifs (Statistique Canada, s.d.b.). Les valeurs du dénominateur ont été estimées à l'aide d'une agrégation de Törnqvist. Lorsque des déflateurs n'étaient pas disponibles pour une industrie en particulier, les déflateurs de son industrie mère ont été utilisés. Les mesures des deux sources ont été agrégées pour n'en former qu'une seule, en utilisant une analyse de composante principale (encore une fois, dans ce cas, une moyenne simple), qui a été nommée la mesure de l'investissement en TIC[33].

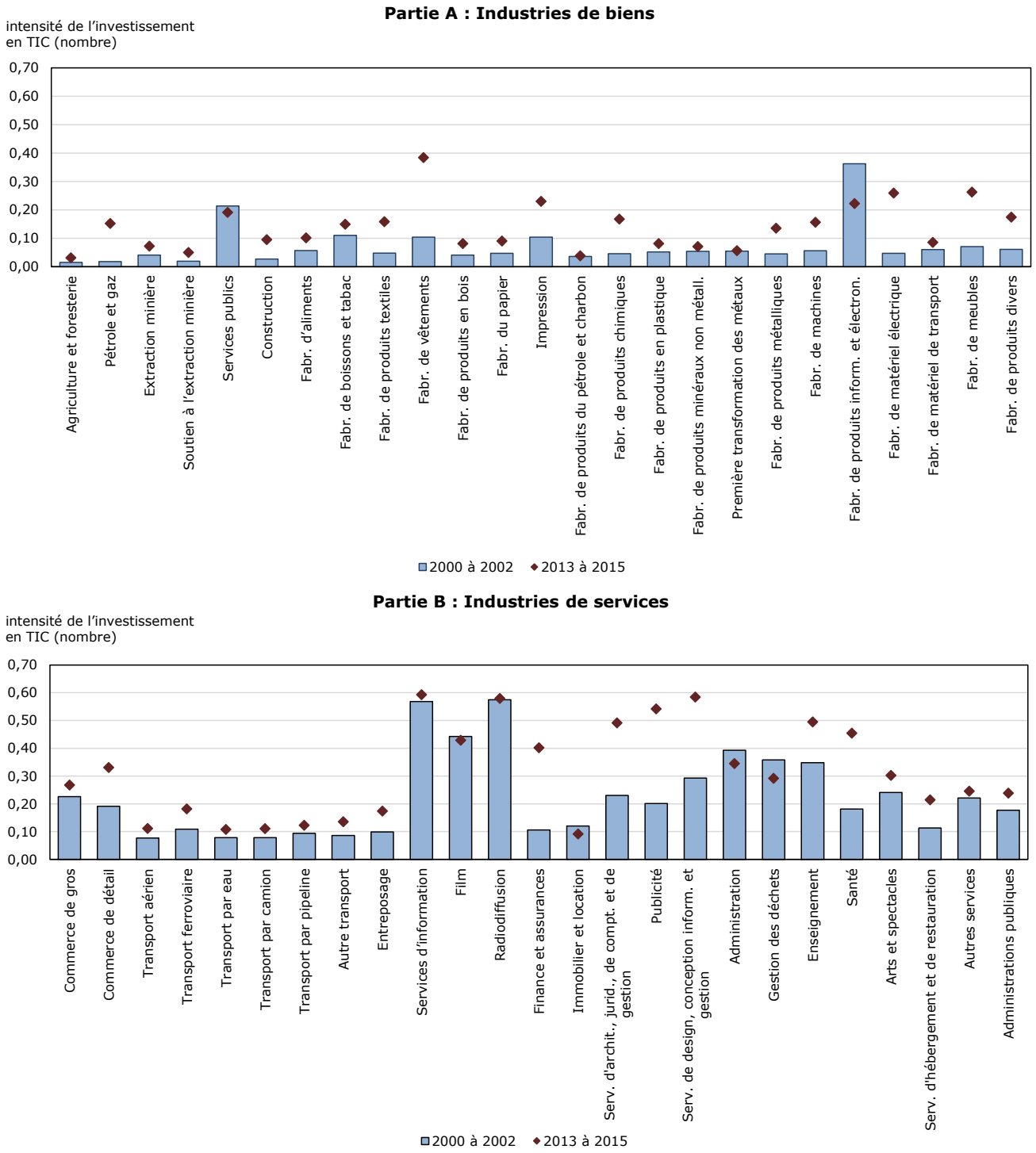
Cette mesure de l'investissement en TIC a fait ressortir des tendances similaires à celles de la mesure du capital des TIC (graphique 1). Les industries de services affichent une intensité d'investissement en TIC supérieure, en moyenne, à celle des industries de biens (graphique C.1). Parmi les industries ayant enregistré une progression marquée de leur intensité de TIC au fil du temps figurent celles du pétrole et du gaz, de la fabrication de vêtements, de la fabrication de matériel électrique, et de la finance et des assurances. L'industrie de la publicité a aussi consacré une bonne part de ses investissements aux actifs numériques; il est possible que cela soit lié au changement observé dans le domaine au cours des dernières années, et du passage des supports papier aux supports en ligne. L'industrie de l'information et l'industrie culturelle se classent encore parmi les premières industries numériques, mais elles ont enregistré des hausses beaucoup moins prononcées, et les industries du film et de l'enregistrement sonore ont aussi affiché des baisses sur le plan de l'intensité.

Quelques nouvelles tendances ont aussi découlé de cette analyse de la numérisation. Alors que les industries de la finance et des assurances ont affiché une intensification modérée de leur capital des

31. Plus précisément, les tableaux de demande finale utilisés étaient une version adaptée des tableaux des ressources et des emplois publiés par Statistique Canada (Statistique Canada, s.d.d.).
32. Les détails de la classification des actifs des TIC en fonction des classes d'actifs de la déduction pour amortissement se trouvent à l'annexe B.
33 L'investissement en TIC dans le FMLCN au début des années 2000 a été imputé de la même manière en utilisant les données de la demande finale, comme décrit dans la note de bas de page x, avant d'être combiné aux données d'investissement du tableau de la demande finale.

TIC, l'intensification de leur investissement en TIC au cours de la période d'échantillonnage a été marquée, ayant presque triplé. Cette dualité, marquée par une intensité relativement faible du stock de capital, mais d'une intensité élevée de l'investissement, pourrait signifier que ces industries ont entrepris une importante transition vers les technologies numériques et qu'elles bâtissent graduellement leur stock de capital des TIC. Une autre observation intéressante est la baisse de l'intensité dans l'industrie de la fabrication de produits informatiques et électroniques. Ce recul est probablement relié, au moins en partie, au choc ou au repli observé dans cette industrie après la bulle des entreprises point-com au début des années 2000. Un exemple bien connu est l'effondrement de Nortel Networks, qui était à l'époque l'un des plus grands fabricants d'équipement de télécommunications au monde.

Graphique C.1
Intensité de l'investissement en technologies de l'information et des communications, par industrie, 2000 à 2002 et 2013 à 2015



Notes : Les noms des industries sont abrégés en raison de limites d'espace. Consulter le tableau A.1. pour obtenir le nom complet et la classification des industries. TIC : technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada, tableau 36-10-0478-01, Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux; et calculs des auteurs.

Annexe D – Classification des intrants intermédiaires

Tableau D.1
Classification des produits et services de technologies de l'information et des communications intermédiaires

Produit	Années	Catégorie
Services informatiques et services connexes	2000 à 2008	Services de TIC
Traitement et hébergement de données, et services connexes	2009 à 2015	Services de TIC
Conception de systèmes informatiques et services connexes (sauf le développement de logiciels)	2009 à 2015	Services de TIC
Services de location et de location à bail de matériel informatique	2009 à 2015	Services de TIC
Abonnement à du contenu en ligne	2010 à 2015	Services de TIC
Abonnement à des sites et du contenu Internet	2009	Services de TIC
Logiciels à usages multiples	2009 à 2015	Services de TIC
Services d'accès à Internet	2009	Services de TIC
Services d'accès à Internet fixes	2010 à 2015	Services de TIC
Autres services d'information	2009 à 2015	Services de TIC
Services de production, de montage et de postproduction de films, de programmes de télévision et de vidéo	2010 à 2015	Services de TIC †
Frais pour la distribution de canaux d'émissions de télévision et de radio (paiements d'affiliation)	2010 à 2015	Services de TIC †
Services de télécommunications fixes (sauf l'accès à Internet)	2010 à 2015	Services de TIC †
Services de télécommunications mobiles	2010 à 2015	Services de TIC †
Câble satellite et autres services de distribution de programmes	2009 à 2015	Services de TIC †
Radiodiffusion et télédiffusion, y compris le câble	2000 à 2008	Services de TIC †
Téléphone et autres services de télécommunications	2000 à 2008	Services de TIC †
Films, émissions de télévision et vidéos	2009	Services de TIC †
Production de films et de vidéos et services connexes	2009	Services de TIC †
Frais pour la distribution de canaux d'émissions de télévision et de radio	2009	Services de TIC †
Services téléphoniques par fil	2009	Services de TIC †
Services téléphoniques sans fil	2009	Services de TIC †
Pièces d'ordinateurs et de périphériques (sauf les assemblages de circuits imprimés)	2009 à 2012	Biens de TIC
Ordinateurs, matériel informatique et périphérique	2009 à 2012	Biens de TIC
Ordinateurs, périphériques et pièces	2013 à 2015	Biens de TIC
Appareils de mesure et de commande et appareils médicaux	2009 à 2012	Biens de TIC
Instruments de mesure, photo, médicaux et scientifiques	2000 à 2008	Biens de TIC
Instruments scientifiques, de mesure et de contrôle	2013 à 2015	Biens de TIC
Appareils médicaux	2013 à 2015	Biens de TIC
Circuits imprimés et intégrés, semi-conducteurs et assemblages de circuits imprimés	2009 à 2015	Biens de TIC
Composants d'équipement électronique	2000 à 2008	Biens de TIC
Systèmes d'alarme et de signaux électroniques	2000 à 2008	Biens de TIC
Autres composants électroniques	2009 à 2015	Biens de TIC
Matériel téléphonique	2009 à 2015	Biens de TIC †
Fils et câbles électriques et de communication	2009	Biens de TIC †
Dispositifs de câblage	2009 à 2015	Biens de TIC †
Équipement téléphonique et connexe, y compris télécopieurs	2000 à 2008	Biens de TIC †
Matériel de télédiffusion et de radiocommunication	2000 à 2008	Biens de TIC †
Fils et câbles d'aluminium	2000 à 2008	Biens de TIC †
Matériel de câblage et compteurs électriques	2000 à 2008	Biens de TIC †
Ordinateurs et matériel de bureau, excluant les photocopieurs et les télécopieurs	2000 à 2008	Biens de TIC †

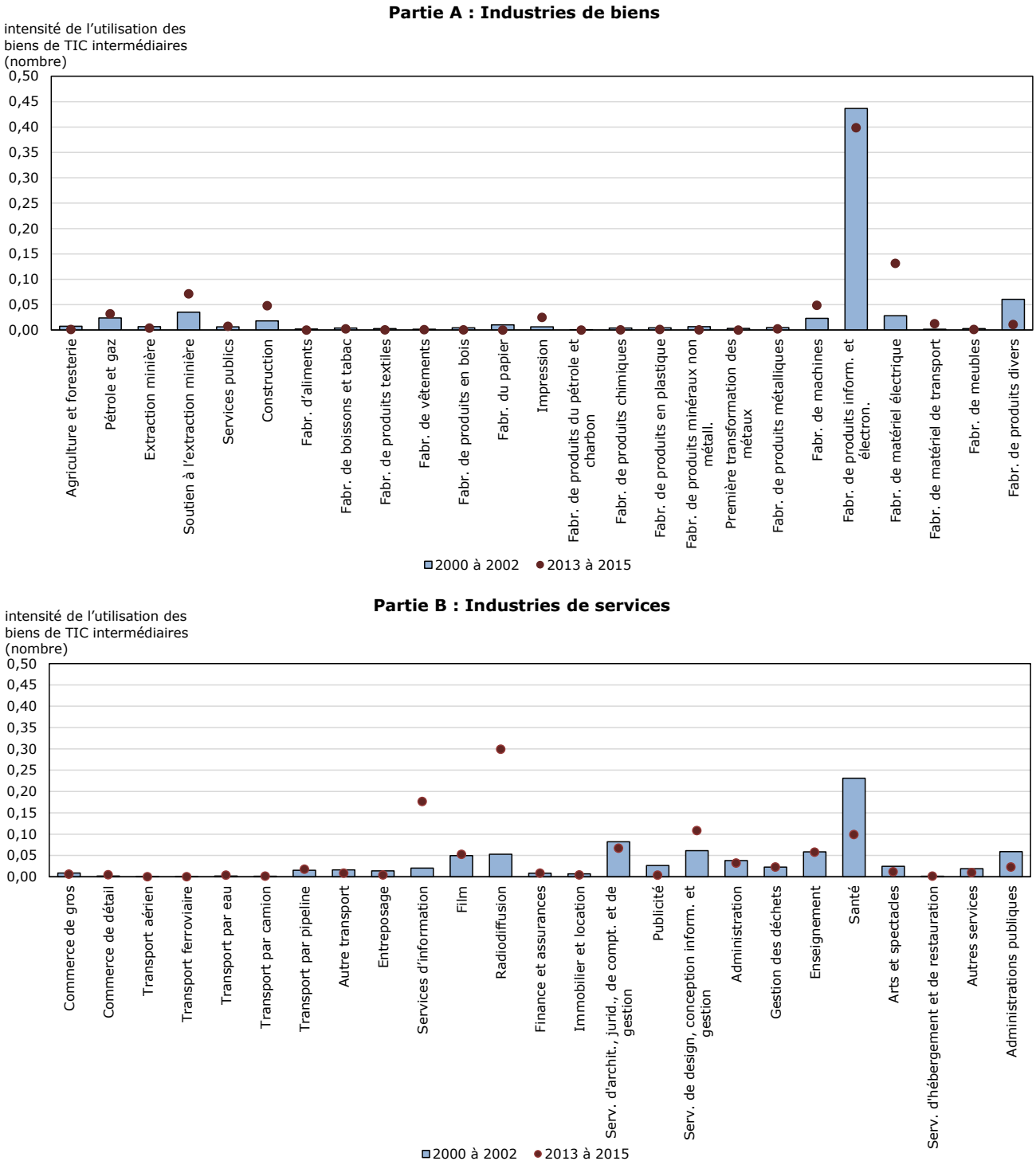
† se reporter aux produits et services faisant partie des spécifications « télécommunications hors Internet »

Note : TIC : technologies de l'information et des communications.

Sources : Statistique Canada; et compilation des auteurs.

Annexe E – Utilisation des biens des TIC intermédiaires

Graphique E.1
Utilisation des biens de TIC intermédiaires (excluant les télécommunications hors Internet), par industrie, 2000 à 2002 et 2013 à 2015



Notes : Les noms des industries sont abrégés en raison de limites d'espace. Consulter le tableau A.1. pour obtenir le nom complet et la classification des industries. TIC : technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada, tableaux 36-10-0424-01 et 36-10-0478-01; et calculs des auteurs.

Annexe F – Classification des professions numériques

Tableau F.1
Certaines professions numériques

Professions du domaine numérique sélectionnées aux fins de l'étude	Code CNP	Comprises dans OCDE (Calvino et coll., 2018)	Comprises dans McKinsey (Manyika et coll., 2015)	Comprises dans Brookfield (Lamb et Seddon, 2016)
Directeurs/directrices d'entreprises de télécommunications	131	Oui	Oui	Oui
Directeurs/directrices des services de génie	211	Non	Non	Oui
Gestionnaires des systèmes informatiques	213	Oui	Oui	Oui
Agents/agentes de statistiques et professions connexes du soutien à la recherche	1254	Non	Non	Non
Ingénieurs mécaniciens/ingénieures mécaniciennes	2132	Non	Non	Oui
Ingénieurs électriciens et électroniciens/Ingénieures électriciennes et électroniciennes	2133	Oui	Oui	Non
Ingénieurs/ingénieures d'industrie et de fabrication	2141	Non	Non	Non
Ingénieurs/ingénieures métallurgistes et des matériaux	2142	Non	Non	Oui
Ingénieurs/ingénieures en aérospatiale	2146	Non	Non	Oui
Ingénieur informaticiens/ingénieures informaticiennes	2147	Oui	Oui	Oui
Mathématiciens/mathématiciennes, statisticiens/statisticiennes et actuaires	2161	Non	Non	Oui
Analystes et consultants/consultantes en informatique	2171	Oui	Oui	Oui
Analystes de bases de données et administrateurs/administratrices de données	2172	Oui	Oui	Oui
Ingénieurs/ingénieures et concepteurs/conceptrices en logiciel	2173	Oui	Oui	Oui
Programmeurs/programmeuses et développeurs/développeuses en médias interactifs	2174	Oui	Oui	Oui
Concepteurs/conceptrices et développeurs/développeuses Web	2175	Oui	Oui	Oui
Technologues et techniciens/techniciennes en génie industriel et en génie de fabrication	2233	Non	Non	Non
Technologues et techniciens/techniciennes en génie électronique et électrique	2241	Non	Non	Non
Personnel technique en géomatique et en météorologie	2255	Non	Non	Non
Techniciens/technicennes de réseau informatique	2281	Oui	Oui	Non
Agents/agentes de soutien aux utilisateurs	2282	Oui	Oui	Non
Évaluateurs/évaluatrices de systèmes informatiques	2283	Oui	Oui	Non
Techniciens/techniciennes en graphisme	5223	Non	Non	Oui
Designers graphiques et illustrateurs/illustratrices	5241	Non	Non	Oui
Surveillants/surveillantes dans la fabrication de matériel électronique	9222	Non	Non	Non

Note : CNP : Classification nationale des professions; OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques.
Sources : Calvino et coll. 2018; Manyika et coll. 2015; Lamb et Seddon 2016; et compilations des auteurs.

Annexe G - Commerce électronique

Même s'il ne fait pas directement partie du processus de production, le commerce électronique constitue tout de même une manifestation importante de l'adoption des technologies numériques. Il peut relier les entreprises aux clients éventuels sans le fardeau de temps et d'espace. Les activités du commerce électronique en temps réel permettent aux entreprises de répondre rapidement aux changements de la demande en mettant à jour leurs plans de production, ce qui a des répercussions directes sur le processus de production.

Les données sur les activités du commerce électronique proviennent de diverses enquêtes de Statistique Canada, lesquelles s'inscrivent dans le Programme intégré de la statistique des entreprises. Ces enquêtes couvrent uniquement un sous-ensemble d'industries canadiennes, y compris celles de l'exploitation forestière, de l'agriculture, de la fabrication et du commerce de gros et de détail, ainsi que certaines industries de services. De plus, les entreprises qui ne sont pas physiquement présentes au Canada sont exclues du champ des enquêtes, de même que les ventes en ligne effectuées par l'intermédiaire d'un tiers sans présence physique. En raison des limites des données et des exigences en matière de confidentialité, la mesure du commerce électronique est actuellement accessible uniquement pour l'année 2016, et les industries sont classées et groupées par quartile d'intensité du commerce électronique[34]. Pour cette raison, cette mesure ne peut être que pour les analyses transversales et n'a pas été utilisée pour l'élaboration de l'indice composite final.

La mesure du commerce électronique a été élaborée comme suit

$$ME_{i2016} = \frac{ES_{i2016}}{TS_{i2016}}$$

où ME_{i2016} est la mesure du commerce électronique, ES_{i2016} est la valeur nominale des ventes effectuées en ligne, TS_{i2016} est la valeur nominale des ventes totales, toutes pour l'industrie i en 2016[35]. La déflation a été effectuée de manière implicite en supposant que les produits vendus en ligne partagent une composante de prix commune avec les ventes totales.

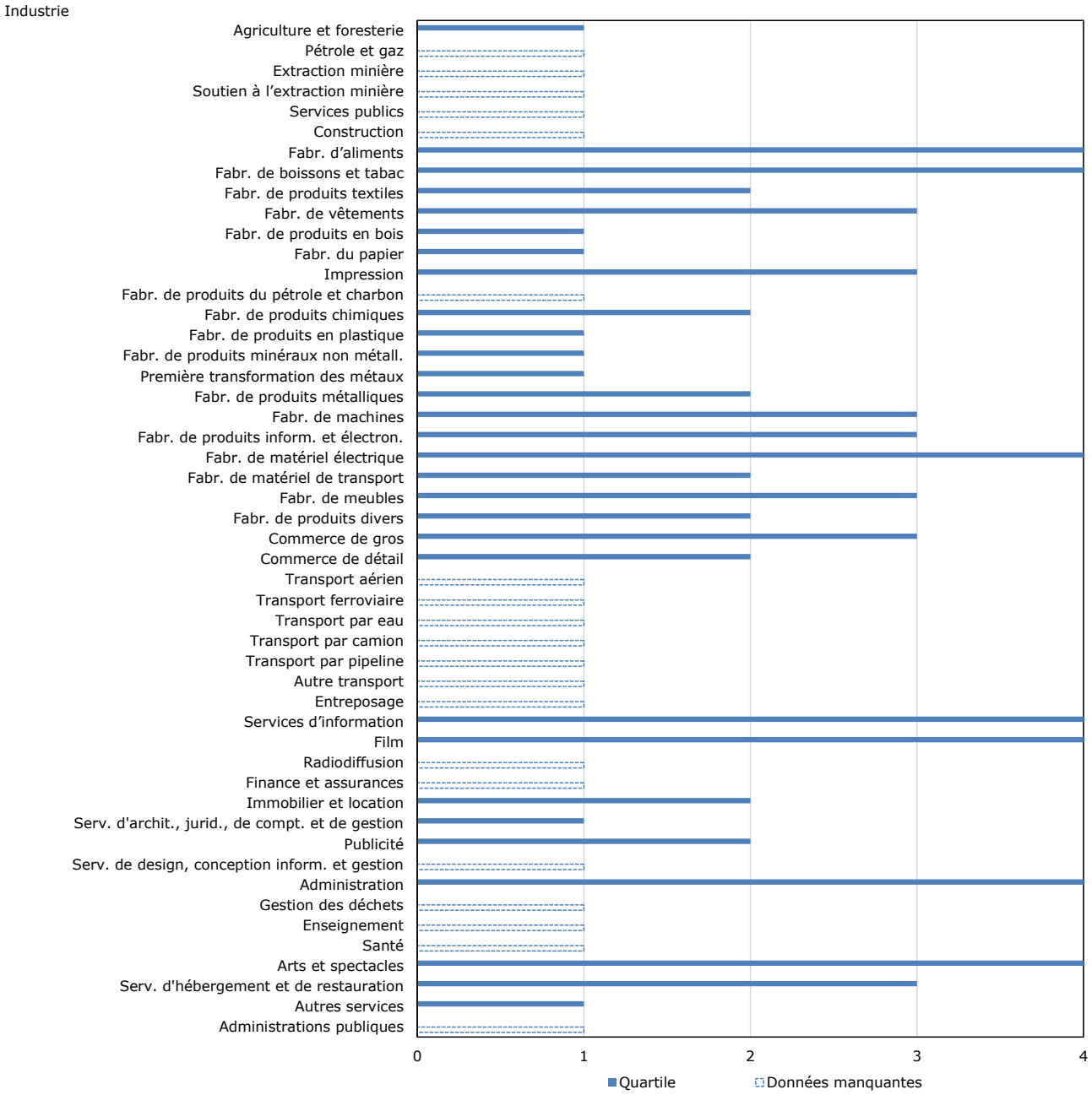
Les résultats pour l'intensité du commerce électronique montrent que l'agriculture et la foresterie (estimée en se fondant sur l'industrie de l'exploitation forestière), ainsi que la plupart des industries de la fabrication, sont restées au bas de la distribution des technologies numériques (graphique G.1). Les services d'information, le traitement des données, la fabrication de produits électroniques et de matériel électrique et la fabrication d'aliments et de boissons se sont classés aux premiers rangs. Cela concorde, de manière générale, avec les résultats de Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini (2018), ce qui semble indiquer que ces industries ont adopté cette dimension de la numérisation. Une différence notable concerne la fabrication de matériel de transport, qui affichait une très forte intensité de ventes en ligne dans Calvino, Criscuolo, Marcolin et Squicciarini, mais qui se classait dans l'avant-dernier quartile dans la présente étude.

Les arts, spectacles et loisirs se classaient dans le premier quartile; ce résultat était attendu, puisque les ventes de billets en ligne représentent une importante part des revenus de cette industrie. Étonnamment, les services professionnels se sont classés dans la moitié inférieure de la distribution, ce qui semble indiquer que la prestation ou le paiement de services de publicité, de services juridiques, de services de

34. Les plus récentes données sur le commerce électronique au moment de la rédaction de la présente étude sont celles de 2016, mais elles ont été mises à jour à 2018. La mesure du commerce électronique pourrait être mise à jour et utilisée ultérieurement pour calculer l'indice final.
35. Le commerce électronique comprend les ventes effectuées aux entreprises et aux particuliers.

génie et de nombreux autres services professionnels se fait encore sous forme non numérique, et ce, même si les services sont fournis de manière numérique. Le classement des industries du commerce de détail était aussi relativement bas en ce qui a trait à l'intensité du commerce électronique. Dans l'ensemble, le commerce électronique a représenté seulement 2,3 % environ des ventes totales du commerce de détail en 2016 (Statistique Canada, s.d.d). Cependant, les ventes en ligne ont représenté 42,7 % des ventes totales des détaillants hors magasin, et ces derniers étaient à l'origine de près de 66 % de toutes les ventes en ligne du commerce de détail. Cette situation est indicatrice d'une certaine dualité dans les industries commerce de détail : alors que le commerce électronique joue un rôle important pour les détaillants hors magasin, les ventes non numériques continuent de dominer chez les détaillants traditionnels.

Graphique G.1
Classements de la mesure du commerce électronique, 2016



Notes : Pour quartile = 0 ou données manquantes = 1, se reporter aux industries ayant des renseignements manquants sur le commerce électronique. Les quartiles 1 à 4 correspondent aux quatre quartiles de l'intensité du commerce électronique dans l'ensemble des industries, 1 étant le quartile inférieur, et 4, le quartile supérieur. Les noms des industries sont abrégés en raison de limites d'espace. Consulter le tableau A.1. pour obtenir le nom complet et la classification des industries.
Sources : Statistique Canada, Programme intégré de la statistique des entreprises (PISE); et calculs des auteurs.

Annexe H – Création de poids au moyen de l'analyse de la composante principale

Cette annexe décrit en détail les étapes à suivre pour effectuer une analyse de la composante principale (ACP) et calculer les poids utilisés pour élaborer l'indice composite.

Avant de mettre en œuvre une ACP, il faut une corrélation significative dans les données sous-jacentes. Autrement, il est peu probable qu'elles puissent partager des composantes communes. Le tableau H.1 montre la corrélation dans les mesures individuelles sélectionnées. Selon les résultats, pratiquement toutes les mesures sélectionnées ont affiché une corrélation positive et statistiquement significative, les unes avec les autres. Le capital des TIC était positivement corrélé avec l'utilisation des services de TIC intermédiaires, ce qui indique une complémentarité possible entre les deux formes d'intrants. La mesure de la main-d'œuvre numérique montre une corrélation positive et significative avec toutes les autres mesures, mettant en relief la complémentarité entre les compétences numériques et les autres intrants. Enfin, l'adoption des robots ne semble pas être significativement corrélée avec les autres mesures, sauf pour ce qui est de la main-d'œuvre numérique[36]. Cela peut être attribuable au fait que l'adoption des robots est concentrée dans les industries de la fabrication, où le capital des TIC et les intensités des services sont relativement faibles.

Dans l'ensemble, ces corrélations motivent davantage la nécessité d'adopter une approche multidimensionnelle pour mesurer l'intensité numérique et justifier l'utilisation de l'ACP dans l'agrégation.

Tableau H.1
Corrélations de classement pour certaines mesures, 2000 à 2002 et 2013 à 2015

	Capital de TIC	Services de TIC intermédiaires (sauf les télécommunications)	Main-d'œuvre numérique	Adoption des robots
		nombre		
Capital des technologies de l'information et des communications	1	…	…	…
Services de technologies de l'information et des communications intermédiaires (sans télécommunications)	0,394 ‡	1	…	…
Main-d'œuvre numérique	0,315 ‡	0,387 ‡	1	…
Adoption des robots	0,081	-0,103	0,327 ‡	1

… n'ayant pas lieu de figurer

‡ indique la signification statistique à partir de 0, au seuil de signification de 5 %

Note : TIC : technologies de l'information et des communications.

Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

Toutes les mesures individuelles doivent être normalisées avant de mettre en œuvre une ACP pour s'assurer qu'elles sont d'une échelle comparable. Ainsi, chacune des mesures est normalisée en soustrayant sa moyenne dans l'ensemble des industries et par année et en la divisant par son écart-type dans l'ensemble des industries et par année, un processus communément appelé l'écart réduit.

De nombreuses étapes sont ensuite suivies pour calculer les poids requis pour l'indice composite final. Premièrement, les composantes principales pertinentes sont sélectionnées en fonction de leurs contributions à la variance globale. Comme recommandé par Nicoletti et coll. (2000), les composantes

36. L'adoption des robots a eu une corrélation positive, mais non significative avec les services de TIC de 2000 à 2002, tandis que la corrélation a été négative et significative de 2013 à 2015. Cependant, sa corrélation avec la main-d'œuvre numérique était toujours positive et significative entre 2000 et 2015.

sélectionnées devraient comporter des valeurs propres supérieures à 1, une contribution individuelle à la variance totale de plus de 10 % et une contribution cumulative de plus de 60 %.

Deuxièmement, pour chacune des composantes principales sélectionnées, l'ACP calcule un ensemble de coefficients (charges) qui l'associent avec les mesures sous-jacentes. Ces charges mesurent les corrélations entre les mesures individuelles et la composante principale latente. Le poids pour chaque mesure individuelle est ensuite calculé en fonction de la proportion de sa variance qui peut être expliquée par la composante principale qui lui est associée (c.-à-d. charges au carré divisées par la somme des charges au carré).

Troisièmement, si plus d'une composante principale est sélectionnée, chaque composante principale est pondérée en fonction de sa contribution à la variance totale.

Ces étapes sont illustrées dans les tableaux H.2 et H.3. Deux composantes principales ont été sélectionnées en fonction de leurs valeurs propres qui sont supérieures à 1. De plus, leur contribution cumulative à la variance totale des données s'est élevée à plus de 80 %.

Tableau H.2
Sélection et poids de la composante principale — Partie A : Sélection

	Composante principale 1	Composante principale 2
	nombre	
Valeur propre	2,11	1,11
	pourcentage	
Contribution à la variance totale	52,72	27,70

Note : TIC : technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

Tableau H.3
Sélection et poids de la composante principale — Partie B : Calcul du poids

	Composante principale 1		Composante principale 2	
	Coordonnées factorielles (colonne A)	Poids des indicateurs individuels (colonne B)	Coordonnées factorielles (colonne C)	Poids des indicateurs individuels (colonne D)
	Nombres			
Services de TIC (sauf les télécommunications)	0,83	0,33	-0,17	0,03
Travail numérique	0,85	0,34	0,33	0,10
Capital de TIC	0,83	0,33	-0,11	0,01
Robots	-0,04	0,00	0,98	0,86
Somme	...	1,00	…	1,00
Poids de certaines composantes principales dans l'indice final	…	0,66	…	0,34

… n'ayant pas lieu de figurer
Note : TIC : technologies de l'information et des communications.
Sources : Statistique Canada; et calculs des auteurs.

Références

Acemoglu, D., et P. Restrepo. 2019. « Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor ». *Journal of Economic Perspectives* 33 (2) : 3 à 30.

Acemoglu, D., et P. Restrepo. 2020. « Robots and jobs: Evidence from US labor markets ». *Journal of Political Economy* 128 (6) : 2188 à 2244.

Acemoglu, D., C. Lelarge et P. Restrepo. 2020. « Competing with robots: Firm-level evidence from France ». *American Economic Review Papers and Proceedings* 110 : 383 à 388.

Aghion, P., G.-M. Angeletos, A. Banerjee et K. Manova. 2005. *Volatilité and Growth: Credit Constraints and Productivity-Enhancing Investment*. NBER Working Paper Series, nº 11349. Cambridge, Massachusetts : National Bureau of Economic Research.

Agopsowicz, A., D. Brouillette, J. McDonald-Guimond, B. Gueye, J. Mollins et Y. Park. 2018. *Potential Output in Canada: 2018 Reassessment*. Banque du Canada Note analytique du personnel nº 2018-10.

Andrews, D., G. Nicoletti et C. Timiliotis, 2018. *Going digital: What determines technology diffusion among firms?* Document de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE, nº 1466.

Barefoot, K., D. Curtis, W. Jolliff, J.R. Nicholson et R. Omohundro. 2018. *Defining and Measuring the Digital Economy*. Document de travail du BEA.

Bloomberg, J. 2018. « Digitization, digitalization and digital transformation: Confuse them at your peril ». *Forbes*, 29 avril

Brynjolfsson. E., et A. McAfee. 2018. « *The Business of Artificial Intelligence* ». *Harvard Business Review*. Disponible au lien suivant : https://hbr.org/2017/07/the-business-of-artificial-intelligence.

Byrne, D., et C. Corrado. 2017. *ICT Asset Prices: Marshaling Evidence into New Measures*. FEDS Working Paper, nº 2017/-016.

Calvino, F., et C. Criscuolo. 2019. « Business dynamics and digitalisation ». *Documents de politique de l'OCDE sur la science, la technologie et l'innovation*, nº 62. Paris : Éditions OCDE.

Calvino, F., C. Criscuolo, L. Marcolin et M. Squicciarini. 2018. « A Taxonomy of Digital Intensive Sectors ». *Documents de travail de l'OCDE sur la science, la technologie et l'industrie*. Paris : Éditions OCDE.

Cardona, M., T. Kretschmer et T. Strobel. 2013. « ICT and Productivity: Conclusions from the empirical literature ». *Information Economics and Policy* 25 (3) : 109 à 125.

Carlsson, B. 2004. « The digital economy: What is new and what is not? » *Structural Change and Economic Dynamics* 15 (3) : 245 à 264.

Dixon, J. 2020. *La création d'une base de données Robots!* Direction des études analytiques : méthodes et références, nº 454. Produit nº 11-633-X au catalogue de Statistique Canada. Ottawa : Statistique Canada.

Dixon J., B. Hong et L. Wu. 2020. *Répercussions des robots sur l'emploi : données à l'échelle des entreprises.* Direction des études analytiques : documents de recherche, nº 454. Produit n° 11F0019M au catalogue de Statistique Canada. Ottawa : Statistique Canada.

Gal, P., G. Nicoletti, T. Renault, S. Sorbe et C. Timiliotis. 2019. « Digitalisation and productivity: In search of the holy grail – Firm-level empirical evidence from EU countries ». *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, nº 1533. Paris : Éditions OCDE.

Hardill, I., et A. Green. 2003. « Remote working—altering the spatial contours of work and home in the new economy ». *New Technology, Work and Employment* 18 (3) : 212 à 222.

Département des statistiques de la Fédération internationale de la robotique (IFR). 2017. World robotics: Industrial robots 2016.

James, G., D. Witten, T. Hastie et R. Tibshirani. 2014. *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R.* New York : Springer-Verlang.

Jorgenson, D.W., M.S. Ho, et K.J. Stiroh. 2005. « Information Technology and the American Growth Resurgence ». *Productivity* vol. *3.*

Jovanovic, B., et P.L. Rousseau. 2005. « General purpose technologies ». Dans *Handbook of Economic Growth* 1 : 1181 à 1224. North Holland : Elsevier.

Lamb, C., et M. Seddon. 2016. *The State of Canada's Tech Sector*. The Brookfield Institute for Innovation and Entrepreneurship.

Manyika, J., S. Ramaswamy, S. Khanna, H. Sarrazin, G. Pinkus, G. Sethupathy et A. Yaffe. 2015. *Digital America: A Tale of the Haves and Have-Mores*. McKinsey Global Institute.

Nedelkoska, L., et G. Quintini. 2018. « Automation, skills use and training ». *Documents de travail de l'OCDE sur les questions sociales, l'emploi et les migrations*, nº 202. Paris : Éditions OCDE.

Nicoletti, G., S. Scarpetta et O. Boylaud. 2000. *Summary indicators of product market regulation with an extension to employment protection legislation*, Documents de travail du Département des affaires économiques, nº 226, OCDE.

OCDE. 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators : Methodology and User Guide.* Paris: Éditions OCDE.

OCDE. 2014. *Measuring the Digital Economy: A New Perspective.* Paris : Éditions OCDE. Disponible au lien suivant : http://dx.doi.org/10.1787/9789264221796-en.

Oschinski, M., et R. Wyonch. 2017. « Le choc du futur? Les répercussions de l'automatisation sur le marché du travail au Canada ». *Institut C.D. Howe, Commentaire* 472.

Schwellnus, C., A. Geva, M. Pak et R. Veiel. 2019. « Gig economy platforms: Boon or bane? » *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE,* nº 1550. Paris : Éditions OCDE.

Spiezia, V. 2017. « Jobs and skills in the digital economy ». *OECD Observer*. Disponible sur le site : www.oecdobserver.org

Statistique Canada 2019a, « Enquête canadienne sur l'utilisation d'Internet ». *Le Quotidien*, 29 octobre.

Statistique Canada. 2019b. *Mesurer les activités économiques numériques au Canada : estimations initiales.* Les nouveautés en matière des comptes économiques canadiens. Produit nº 13-605-X au catalogue de Statistique Canada. Ottawa : Statistique Canada.

Statistique Canada, s.d.a. *Tableau 22-10-0013-01 Utilisation d'Internet selon l'industrie et la taille de l'entreprise, inactif.*

Statistique Canada, s.d.b. *Tableau 36-10-0097-01 Flux et stocks de capital fixe non résidentiel, selon les industries et les types d'actifs.*

Statistique Canada, s.d.c. *Tableau 36-10-0424-01 : Entrées et sorties, selon les industries et le produit de base, agrégation au niveau L et le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN).*

Statistique Canada, s.d.d. *Tableau 36-10-0478-01 Tableaux des ressources et des emplois, au niveau détaillé, provincial et territorial (x 1 000).*

Statistique Canada, s.d.e. *Tableau 20-10-0065-01 Commerce de détail, ventes totales et ventes du commerce électronique.*

Thompson, N., et S. Spanuth. 2019. « The decline of computers as a general purpose technology: Why deep learning and the end of Moore's Law are fragmenting computing ». *MIT Initiative on the Digital Economy Research Brief*, vol. 1.

Van Ark, B. 2016. « The productivity paradox of the new digital economy ». *International Productivity Monitor* 31 (3).

Whelan, K. 2002. « A guide to US chain aggregated NIPA data ». *Review of Income and Wealth* 48 (2) : 217 à 233.