

N° 11F0019M au catalogue — N° 454
ISSN 1205-9161
ISBN 978-0-660-36165-9

Direction des études analytiques : documents de recherche

Répercussions des robots sur l'emploi : données à l'échelle des entreprises

par Jay Dixon

Date de diffusion : le 2 novembre 2020



 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 2020

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.

Répercussions des robots sur l'emploi : données à l'échelle des entreprises

par

Jay Dixon

Division de l'analyse économique
Statistique Canada

et

Bryan Hong, Stern School of Business, Université de New York
Lynn Wu, Wharton School, Université de Pennsylvanie

11F0019M N° 454

2020017

ISSN 1205-9161

ISBN 978-0-660-36165-9

Novembre 2020

Direction des études analytiques Documents de recherche

La série Direction des études analytiques : documents de recherche permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel de la Direction des études analytiques et les collaborateurs. Cette série a pour but de favoriser la discussion sur divers sujets, notamment le travail, l'immigration, la scolarité et les compétences, la mobilité du revenu, le bien-être, le vieillissement, la dynamique des entreprises, la productivité, les transitions économiques et la géographie économique. Le lecteur est invité à faire part aux auteurs de ses commentaires et suggestions.

Tous les documents de la série Direction des études analytiques : documents de recherche font l'objet d'une révision interne et d'une révision par les pairs. Cette démarche vise à faire en sorte que les documents soient conformes au mandat de Statistique Canada à titre d'organisme statistique gouvernemental et qu'ils respectent les normes généralement reconnues régissant les bonnes méthodes professionnelles.

Tout en respectant la politique, les lignes directrices et les principes généraux du *Manuel de la politique administrative du Conseil du Trésor* relatifs à l'emploi du féminin dans les écrits gouvernementaux, dans les textes qui traitent de collectivités, l'emploi du masculin générique est utilisé pour des raisons stylistiques et d'économie d'espace.

Table des matières

Résumé	5
Sommaire	6
1 Introduction	7
2 Considérations théoriques	8
2.1 Les robots et l'emploi total.....	9
2.2 Les robots et l'emploi des travailleurs non cadres	10
2.3 Les robots et l'emploi des cadres	13
3 Données et mesures	14
3.1 Données	14
3.2 Capacités des robots	16
3.3 Mesures	17
4 Stratégie empirique	19
5 Résultats.....	20
5.1 Principales constatations.....	20
5.2 Changements dans les pratiques organisationnelles et la nature du travail.....	29
5.3 Robots et vérifications du mécanisme de mesure du rendement.....	35
5.4 Vérifications de la robustesse.....	37
6 Discussion et conclusion	38
7 Annexe : Répercussions des robots sur la productivité et l'emploi : données à l'échelle des entreprises	40
Bibliographie	45

Résumé

À titre de nouvelle technologie d'application générale, les robots pourraient transformer radicalement les industries et l'emploi. Contrairement aux études précédentes menées à l'échelle des industries qui annonçaient des diminutions marquées de l'emploi, la présente étude révèle que les investissements en robotique sont associés à des augmentations de l'emploi total des entreprises, mais aussi à des diminutions du nombre total de cadres. Elle révèle également que les investissements dans les robots sont associés à une augmentation de l'étendue du contrôle des cadres qui demeurent au sein de l'organisation. Selon les résultats de l'étude, l'adoption des robots n'est pas motivée par la volonté de réduire les coûts de la main-d'œuvre, mais est plutôt liée à l'amélioration de la qualité des produits et des services. Ces constatations sont conformes à l'idée selon laquelle les robots réduisent la variation des processus de production, ce qui réduit la nécessité que des cadres surveillent les travailleurs pour assurer la qualité de la production. Des diminutions du nombre de cadres peuvent aussi découler de changements dans la composition de la main-d'œuvre. L'étude révèle que les investissements en robotique sont associés à des diminutions de l'emploi des travailleurs moyennement spécialisés, mais aussi à des augmentations de l'emploi des travailleurs peu spécialisés et très spécialisés, ce qui pourrait modifier les activités des cadres que requiert l'entreprise. En ce qui concerne le changement organisationnel, l'étude indique que les robots annoncent à la fois la centralisation et la décentralisation du pouvoir de décision, mais que la prise de décision est dans les deux cas écartée du niveau hiérarchique des cadres. Cela contraste avec les études précédentes portant sur la technologie de l'information, qui ont généralement relevé des effets de décentralisation sur le pouvoir de décision au sein des organisations. Dans l'ensemble, les résultats de la présente étude donnent à penser que l'incidence des robots sur l'emploi et les pratiques organisationnelles est plus nuancée que les études précédentes l'ont démontré.

Sommaire

La crainte des machines dotées d'intelligence artificielle subsiste dans l'imaginaire humain depuis des milliers d'années. Les mythes grecs comme ceux de Talos ou de Pandore disaient des êtres artificiels créés par les dieux qu'ils semaient le chaos et la destruction lorsqu'ils étaient envoyés vivre parmi les mortels sur la Terre. Les percées récentes en intelligence artificielle ont accru le potentiel de production des machines. Parallèlement, cela a attiré l'attention sur la possibilité que les robots fassent des ravages sur les marchés du travail. Les machines dotées d'un jugement et d'une flexibilité humanoïdes menacent de remplacer les travailleurs humains dans de nombreuses tâches qu'ils accomplissent actuellement dans l'économie.

Cependant, il est possible que l'incidence des robots ne soit pas très différente des vagues d'automatisation précédentes, qui ont créé suffisamment de tâches à l'intention des humains pour compenser les emplois des travailleurs que les nouvelles machines ont déplacés. Même s'il a souvent été risqué de diriger les travailleurs vers d'autres tâches et si ces derniers ne pouvaient pas tous en tirer profit, l'automatisation a dans le passé généré une part assez constante de production en rapide augmentation.

La question de savoir si la robotisation entraînera une diminution permanente du rôle de la main-d'œuvre — ou les mêmes résultats que les changements non robotiques qui ont précédé — dépend de la manière dont les entreprises réorganisent la production après avoir adopté les robots. La présente étude s'appuie sur de nouvelles données administratives compilées à l'échelle des entreprises de 1996 à 2017 pour examiner la façon dont les entreprises canadiennes qui adoptent la technologie robotique modifient leurs processus de production et ce qu'il advient de leurs travailleurs lorsqu'elles le font.

Selon l'étude, l'adoption des robots au Canada n'est pas motivée par la volonté de réduire les coûts de la main-d'œuvre, mais plutôt par la volonté d'améliorer la qualité des produits et des services. Ces améliorations sont associées à une plus grande productivité. Contrairement aux études précédentes menées à l'échelle des industries qui annonçaient des diminutions marquées de l'emploi, le présent article révèle que les investissements en robotique sont associés à des augmentations de l'emploi total dans les entreprises qui les adoptent. Cependant, il révèle également que ces entreprises organisent la production en ayant recours à un moins grand nombre de cadres et que ces derniers supervisent davantage de travailleurs. Ces constatations sont conformes à l'idée selon laquelle les robots réduisent la variation des processus de production, ce qui réduit la nécessité que des cadres surveillent les travailleurs pour assurer la qualité de la production.

Des diminutions du nombre de cadres peuvent aussi survenir en raison de l'évolution du rôle des cadres associée aux changements dans la composition de la main-d'œuvre. Les investissements en robotique sont associés à des diminutions de l'emploi des travailleurs moyennement spécialisés parallèlement à des augmentations des travailleurs peu spécialisés et très spécialisés. Les robots annoncent à la fois la centralisation (vers les propriétaires) et la décentralisation (vers les travailleurs de la production) du pouvoir de décision, mais la prise de décision est dans les deux cas écartée du niveau hiérarchique des cadres. Cela contraste avec les études précédentes sur la technologie de l'information, qui ont généralement relevé des effets de décentralisation sur le pouvoir de décision au sein des organisations.

Dans l'ensemble, les résultats de l'étude donnent à penser que l'incidence de l'adoption des robots sur l'emploi n'a pas été apocalyptique pour la main-d'œuvre dans son ensemble. Cependant, les changements dans les pratiques organisationnelles associés à l'adoption des robots exigeront une combinaison de compétences différente de celle sur laquelle reposent actuellement de nombreux secteurs de l'économie.

1 Introduction

La présente étude porte sur la mesure dans laquelle l'emploi et les organisations se sont transformés par suite de l'adoption des robots. Alors que les entreprises ont de plus en plus recours à la robotique et à l'intelligence artificielle (IA) comme prochains moteurs de l'innovation et de la croissance de la productivité, leurs effets sur la main-d'œuvre et les pratiques et la productivité des entreprises sont devenus un sujet de plus en plus important. Selon de nombreuses données non scientifiques diffusées dans les médias, les robots réduisent l'emploi global et accentuent l'inégalité du revenu, tandis que les progrès rapides réalisés en ce qui a trait à leurs capacités de vision, de parole, de traitement du langage naturel et de prédiction ont rattrapé ou dépassé les capacités humaines pour un éventail de tâches. Ces progrès technologiques ont fait passer l'avantage comparatif des humains aux machines pour une liste de plus en plus longue de professions (Brynjolfsson et Mitchell, 2017; Felten, Raj et Seamans, 2019; Frey et Osborne, 2017), ce qui laisse éventuellement à la main-d'œuvre humaine considérablement moins d'activités qui peuvent ajouter de la valeur (Brynjolfsson et McAfee, 2014; Ford, 2015). Ce remplacement de la main-d'œuvre fondé sur la technologie peut déplacer une proportion considérable de l'ensemble des travailleurs, même s'il génère des gains de productivité (Acemoglu et Restrepo, 2020; Autor et Salomons, 2017; Ford, 2015). Si c'est effectivement le cas, l'adoption des robots est susceptible d'entraîner des changements considérables dans la manière dont les entreprises organisent les activités de production et gèrent leur capital humain (Bidwell, 2013; Puranam, Alexy et Reitzig, 2014; Zammuto, Griffith, Majchrzak et Dougherty, 2007).

Des études empiriques récentes reposant sur des données à l'échelle des industries ou des régions géographiques ont révélé que les robots étaient associés à des diminutions massives de l'emploi global (Acemoglu et Restrepo, 2020; Dinlersoz et Wolf, 2018; Graetz et Michaels, 2018; Mann et Püttmann, 2017). Cependant, on a également fait valoir que les robots sont semblables aux générations passées de technologies d'application générale (TAG), qui ont en fin de compte accru la demande de main-d'œuvre. De cet autre point de vue, même lorsque la main-d'œuvre est déplacée, les nouveaux emplois créés compenseront amplement les emplois perdus (Autor et Salomons, 2017). Des résultats provisoires reposant sur des données à l'échelle des entreprises appuient ce point de vue et révèlent que les entreprises qui adoptent les robots deviennent plus productives et accroissent en fin de compte leur emploi total (Koch, Manuylov et Smolka, 2019). Ces nouveaux emplois sont susceptibles de compléter le travail des robots, ce qui suppose un changement de composition de la main-d'œuvre dans les entreprises. Alors que les robots offrent de nouvelles capacités qui sont différentes de la technologie de l'information (TI) dans laquelle on a auparavant investi (Brynjolfsson et Mitchell, 2017), les changements dans le capital humain et l'organisation des activités de production pourraient aussi être différents de ceux qu'a entraînés la TI et ils pourraient témoigner de compétences qui sont complémentaires aux robots.

La présente étude repose sur des données détaillées sur les entreprises dans l'économie canadienne de 2000 à 2015 pour démontrer que les robots sont associés à des augmentations de l'emploi total, mais que l'effet n'est pas uniforme chez les différents travailleurs. Les investissements en robotique annoncent des diminutions importantes de l'emploi des cadres, malgré des augmentations de l'emploi des travailleurs non cadres. Cette constatation contraste avec la TI adoptée antérieurement, qui ne pouvait pas remplacer facilement le travail des cadres et des professionnels (Autor, Katz et Kearney, 2006; Autor, Levy et Murnane, 2003; David et Dorn, 2013; Dustmann, Ludsteck et Schönberg, 2009; Murnane, Levy et Autor, 1999). Les résultats indiquent que les robots peuvent influencer sur l'emploi des cadres de deux façons. En premier lieu, les robots peuvent réduire directement la nécessité de surveiller et de superviser les travailleurs, car ils peuvent réduire considérablement les erreurs humaines dans le processus de production. Étant donné que la supervision des travailleurs représente une partie importante du travail accompli par les cadres (Hales, 1986), la demande de main-d'œuvre dans les postes de

gestion pour superviser les travailleurs peut diminuer avec l'adoption des robots. En second lieu, les robots peuvent aussi avoir une incidence indirecte sur l'emploi des cadres en changeant les types de travailleurs nécessaires. Bien que le nombre total d'employés non cadres augmente avec l'adoption des robots, les investissements dans les robots annoncent des diminutions de l'emploi des travailleurs moyennement spécialisés et des augmentations de l'emploi de la main-d'œuvre peu spécialisée et très spécialisée, selon la présente étude. Ces changements dans la composition de la main-d'œuvre peuvent entraîner une diminution du nombre de cadres (Malone, 2003; Mintzberg, 2013). En accord avec les constatations selon lesquelles le nombre d'employés non cadres a augmenté et le nombre de cadres a diminué, l'étude a révélé que les investissements dans les robots annonçaient une augmentation de l'étendue du contrôle chez les cadres qui demeuraient au sein de l'organisation.

La présente étude a permis d'examiner les raisons pour lesquelles les entreprises adoptent les robots. Selon les résultats qui y sont présentés, les investissements dans les robots ne sont pas associés à l'importance stratégique de réduire les coûts de la main-d'œuvre, mais ils sont plutôt associés à l'importance stratégique accrue d'améliorer la qualité des produits et des services. En ce qui concerne l'attribution du pouvoir de décision au sein des organisations, l'étude a révélé que les investissements dans les robots annonçaient à la fois la centralisation et la décentralisation du pouvoir de décision et ce dernier était écarté du niveau hiérarchique des cadres. Cela donne à penser que, non seulement le nombre de cadres a diminué, mais que leur pouvoir de décision a aussi diminué. Ce résultat est différent des études précédentes qui ont révélé que la TI a généralement entraîné la décentralisation de la prise de décision (Acemoglu et coll., 2007; Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002). Dans l'ensemble, les résultats indiquent que l'évolution de l'emploi est liée à des changements complémentaires dans les pratiques organisationnelles qui sont essentielles à l'utilisation efficace des robots.

La présente étude fournit les données les plus exhaustives possible à l'échelle des entreprises individuelles sur les effets sur l'emploi et les effets organisationnels des investissements dans les robots. Les résultats très variés examinés, à savoir l'emploi, la composition de la main-d'œuvre, l'étendue du contrôle, les priorités stratégiques et l'attribution du pouvoir de décision, donnent à penser que les robots ont un effet substantiel tant sur l'emploi que sur l'organisation de la production qui est différent des technologies précédentes. Elle fournit également un examen plus approfondi et guidé par les données de la façon dont les robots peuvent modifier l'emploi et les pratiques organisationnelles qu'il est difficile de déterminer en utilisant des données à l'échelle du pays et des industries (Raj et Seamans, 2018). Plus généralement, les résultats de la présente étude donnent à penser qu'il peut être utile d'examiner en détail les diverses entreprises pour éclairer l'important débat concernant les conséquences des robots sur la main-d'œuvre et les organisations.

2 Considérations théoriques

L'adoption des TAG est souvent associée à des gains de productivité substantiels et généralisés dans les différents secteurs de l'économie (Bresnahan et Trajtenberg, 1995). Pour maximiser la valeur des TAG, les entreprises doivent réorganiser considérablement leurs activités et changer la nature de leurs besoins en matière de travail et de capital humain (Autor, Levy et Murnane, 2003; Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002; Brynjolfsson, Rock et Syverson, 2018). En tant que TAG récente qui se répand rapidement (Brynjolfsson, Rock et Syverson, 2018; Cockburn, Henderson et Stern, 2018), les robots pourraient transformer l'emploi, les pratiques des entreprises et l'économie (Agrawal, Gans et Goldfarb, 2018; McAfee et Brynjolfsson, 2017).

2.1 Les robots et l'emploi total

L'effet des robots sur l'emploi demeure à ce jour inconnu. Les travaux portant sur l'effet des robots sur la main-d'œuvre en sont encore à leurs balbutiements, seules quelques études ayant permis d'examiner la substituabilité des robots au travail (Acemoglu et Restrepo, 2020; Arntz, Gregory et Zierahn, 2016; Frey et Osborne, 2017; Mann et Püttmann, 2017; Manyika et coll., 2017). Cependant, la plupart de ces études préliminaires prédisent des conséquences désastreuses découlant du déplacement de la main-d'œuvre attribuable à l'adoption des robots. Par exemple, Frey et Osborne (2017) ont révélé que jusqu'à 47 % de tous les emplois aux États-Unis pouvaient être déplacés. À l'aide d'une approche fondée sur les tâches qui divisait chaque profession en un ensemble concret de tâches, les chercheurs de l'Organisation de coopération et de développement économiques ont constaté que 70 % des tâches accomplies par la main-d'œuvre pouvaient être automatisées (Arntz, Gregory et Zierahn, 2016). Selon d'autres études qui reposaient sur l'approche fondée sur les tâches, plus de 50 % des tâches étaient susceptibles d'être automatisées (Manyika et coll., 2017), ce qui a entraîné à la fois le déplacement de la main-d'œuvre et la réduction des salaires (Bessen et coll., 2019). À l'aide d'une mesure de la pénétration des robots à l'échelle des industries aux États-Unis, Acemoglu et Restrepo (2020) ont révélé qu'un robot pouvait remplacer environ six personnes. Graetz et Michaels (2018) ont utilisé des données semblables sur l'adoption des robots pour 17 pays et ont également constaté que l'adoption des robots était associée à une réduction des heures de travail au sein de la main-d'œuvre peu spécialisée.

Les constatations de ces études initiales tranchent nettement avec celles qui sont liées aux générations précédentes de technologies, lesquelles ont donné lieu à des augmentations de l'emploi parallèlement à des gains de productivité, ce qui, en fin de compte, a fait en sorte que la part de la productivité de la main-d'œuvre est demeurée constante. Plutôt que de réduire l'emploi, les robots peuvent avoir une incidence positive sur l'emploi compte tenu de ce qui suit : 1) les augmentations de la productivité découlant du remplacement de la main-d'œuvre, y compris de la demande pour d'autres biens et services exigeant des tâches non automatisées; 2) l'intensification du capital qui augmente l'efficacité des robots et qui peut accroître la productivité sans réduire davantage la main-d'œuvre; 3) la création de nouvelles tâches ou la demande accrue de tâches existantes qui sont complémentaires à celles des robots (Acemoglu et Restrepo, 2018; Brynjolfsson, Rock et Syverson, 2018). Les premiers résultats d'enquêtes menées auprès d'entreprises manufacturières espagnoles donnent à penser que les organisations qui adoptent les robots enregistrent des gains à la fois au chapitre de la productivité et de l'emploi (Koch, Manuylov et Smolka, 2019).

Ces résultats différents sont en partie attribuables aux difficultés que pose l'observation de ces effets compensatoires dans une économie entière à l'aide de données à l'échelle des industries ou des régions géographiques. Les études menées à ces niveaux d'analyse ne permettent pas d'examiner clairement la façon dont les entreprises utilisent la robotique pour remplacer ou compléter la main-d'œuvre. Comme l'ont indiqué les ouvrages antérieurs portant sur le lien entre la TI et la productivité, l'analyse à des niveaux plus agrégés peut souvent mener à des conclusions nettement différentes de celles des études empiriques menées à l'échelle des entreprises (Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002; Brynjolfsson et Hitt, 1996). Ces différences peuvent découler de la forte hétérogénéité dans la croissance de la productivité des différentes entreprises qu'on ne peut pas observer clairement à l'échelle des industries ou à d'autres niveaux d'analyse plus agrégés (Syverson, 2004). Par exemple, les entreprises qui adoptent les robots peuvent enregistrer des gains au chapitre de la productivité et de l'emploi tandis que les entreprises qui ne les adoptent pas dans la même industrie enregistrent des pertes d'emploi et de productivité. Si c'est effectivement le cas, même si l'on observe que les robots entraînent des pertes d'emploi à l'échelle de l'industrie, on ne sait toujours pas clairement si les robots déplacent des travailleurs au sein des entreprises qui adoptent les robots ou si les travailleurs sont plutôt déplacés dans les entreprises qui ne les adoptent pas en raison d'une diminution de la

compétitivité. Sans avoir une idée claire de ces mécanismes sous-jacents, il est particulièrement difficile de faire des inférences significatives, des questions empiriques semblables ayant fait obstacle aux premières tentatives pour comprendre les effets des investissements dans la TI sur les organisations. En fin de compte, il a été essentiel d'obtenir une mesure plus précise des capacités à la fois de la TI et des organisations à l'échelle des entreprises pour résoudre le paradoxe TI-productivité relevé dans des études antérieures et de faire la lumière sur les facteurs qui sont à l'origine des effets hétérogènes de la TI sur les résultats des entreprises (Brynjolfsson, Hitt et Yang, 2002). La présente étude est fondée sur une mesure des investissements dans les robots à l'échelle des entreprises au sein de la population des entreprises au Canada dans le but d'examiner de façon empirique les hypothèses divergentes visant à déterminer si les entreprises qui adoptent les robots accroissent ou diminuent l'emploi dans les entreprises.

H1a : Les investissements dans les robots sont associés à des augmentations de l'emploi total.

H1b : Les investissements dans les robots sont associés à des diminutions de l'emploi total.

2.2 Les robots et l'emploi des travailleurs non cadres

Peu importe l'effet sur l'emploi total, la composition de la main-d'œuvre est susceptible de changer avec l'adoption des robots, tout comme la demande de compétences différentes évolue au sein de l'entreprise. La situation est semblable à ce qui s'est produit dans les générations précédentes de changements technologiques influencés par les compétences. Par exemple, l'avènement de la TI à la fin des années 1990 a entraîné une réduction de la demande de professions peu spécialisées et moyennement spécialisées, alors que les tâches routinières sont devenues automatisées, et une augmentation correspondante de la demande de tâches non routinières et exigeantes sur le plan cognitif, y compris la gestion des employés (Autor, Katz et Kearney, 2006; Autor, Levy et Murnane, 2003; Card et DiNardo, 2002; Murnane, Levy et Autor, 1999). Comme dans ces études, les travailleurs peu spécialisés ont été définis dans la présente étude comme les travailleurs dont la profession exige un diplôme d'études secondaires ou un niveau de scolarité inférieur, les travailleurs moyennement spécialisés ont été définis comme ceux dont la profession exige une formation professionnelle ou la connaissance d'un métier ou un diplôme connexe, et les travailleurs très spécialisés ont été définis comme ceux dont la profession exige au moins un diplôme universitaire de premier cycle. Bien qu'on ait fait valoir que les tâches non routinières et exigeantes sur le plan cognitif sont difficiles à automatiser (Autor, Levy et Murnane, 2003; Murnane, Levy et Autor, 1999), la sophistication de plus en plus grande des robots est susceptible de permettre d'automatiser des tâches qui étaient auparavant épargnées par l'automatisation.

Grâce aux progrès réalisés au chapitre des capacités de vision, de parole et de prédiction, la robotique a dépassé l'automatisation des tâches simples et routinières, et les robots sont maintenant capables d'accomplir un travail plus complexe sur le plan cognitif ainsi que des tâches exigeant des types précis de dextérité manuelle. Les travailleurs moyennement spécialisés sont plus susceptibles d'accomplir ces tâches que les robots sont de plus en plus capables d'automatiser. Par exemple, dans l'industrie pharmaceutique et celle des soins de santé, les robots sont utilisés pour manipuler et préparer du matériel, suivre des protocoles complexes afin de préparer et d'analyser des échantillons et contribuer à coordonner les soins aux patients sans intervention humaine (Gombolay et coll., 2018). Les entreprises ayant des activités d'entreposage importantes ont aussi connu des effets semblables. Les robots ont permis d'automatiser un large éventail d'activités logistiques d'entreposage en transportant efficacement des objets d'un lieu à l'autre sans intervention humaine. En libérant les humains des tâches de soulèvement et de manipulation d'objets lourds et délicats dans la gestion des stocks, les robots permettent non seulement d'éviter les blessures, mais ils assurent aussi la qualité constante des produits et

diminuent le délai de livraison global. Dans le secteur de la fabrication, les robots industriels peuvent réduire considérablement la variation de la qualité des produits. La vision artificielle permet aux robots dans l'industrie de l'automobile d'installer et de souder continuellement des pièces sur les carrosseries d'automobile avec un degré de précision élevé, ce qui réduit au minimum les erreurs dans le processus de production. Ces tâches peuvent exiger des manipulations difficiles comme des rotations multibras à 360 degrés à répétition. Les robots peuvent être programmés pour accomplir ces tâches avec précision sur une longue période. Par conséquent, les robots peuvent réduire considérablement à la fois les erreurs humaines, comme celles qui surviennent avec l'épuisement, et les actes délibérés, comme le contournement des quotas de production, qui entravaient auparavant la productivité et la gestion efficace (Helper et Henderson, 2014).

Ces exemples donnent à penser que les robots peuvent permettre d'automatiser certaines tâches complexes qui relevaient principalement de la responsabilité des travailleurs moyennement spécialisés, notamment des techniciens, des machinistes et du personnel de l'exploitation dans un éventail d'industries qui doivent suivre des protocoles complexes pour assurer la qualité de la production. Ces tâches peuvent également mettre en jeu certains types de dextérité manuelle qui exigent beaucoup de formation pour les humains au fil du temps. Lorsque les robots sont utilisés, bon nombre de ces tâches peuvent être automatisées à l'aide d'algorithmes, ce qui élimine les erreurs humaines et la nécessité de donner de la formation à l'égard de ces compétences. En réduisant la variation de la qualité de la production, les robots peuvent diminuer la demande de travailleurs moyennement spécialisés, étant donné que ces tâches sont susceptibles d'être automatisées par les robots.

H2 : Les investissements dans les robots sont associés à des diminutions de l'emploi des travailleurs moyennement spécialisés.

Cependant, les investissements en robotique peuvent aussi créer de la demande de main-d'œuvre humaine et des tâches qui complètent le travail accompli par les robots. Bien que la demande de travailleurs moyennement spécialisés puisse diminuer en raison de la substitution directe, la demande de travailleurs complémentaires — qu'ils soient peu ou très spécialisés — peut augmenter avec l'adoption des robots. Dans les entreprises qui repensent leurs processus de production pour mettre à profit les capacités que les robots ont à offrir, la productivité peut augmenter, ce qui peut en fin de compte entraîner des augmentations de l'emploi chez des types de travailleurs précis. Malgré les progrès technologiques récents, les robots sont souvent incapables d'automatiser entièrement la plupart des processus de production. Pour bon nombre de ces tâches soi-disant résiduelles, la main-d'œuvre humaine demeure une solution plus efficace et rentable (Autor, Levy et Murnane, 2003; Brynjolfsson et Mitchell, 2017). Par exemple, Elon Musk a notoirement revu à la baisse les investissements dans l'automatisation à l'usine de Tesla et réintroduit les travailleurs humains après qu'une automatisation excessive a ralenti la production du véhicule électrique modèle 3 et retardé son lancement sur le marché (Hawkins, 2018). Pour que les robots soient utilisés efficacement, le capital humain doit également être réorganisé et réaffecté pour contribuer à la production. Par exemple, Amazon a considérablement réorganisé le travail dans ses entrepôts pour utiliser efficacement ses systèmes robotiques Kiva. Dans le cadre de cette réorganisation, les robots sont utilisés pour les déplacements d'un lieu à l'autre dans l'entrepôt, mais les travailleurs humains ramassent et emballent les produits déplacés par les robots. Dans ce cas-ci, plutôt que d'avoir recours aux travailleurs moyennement spécialisés pour gérer les stocks en se déplaçant d'une étagère à l'autre pour examiner et manipuler les produits, les robots et les algorithmes peuvent automatiser ce processus et apporter les stocks directement aux travailleurs humains. Ces travailleurs humains ramassent ensuite les articles et les placent dans des boîtes d'expédition. Les chercheurs ont aussi apparié systématiquement les professions à ce que peut accomplir l'apprentissage machine et ont constaté que bon nombre des tâches manuelles accomplies par les travailleurs peu spécialisés ne peuvent pas être accomplies facilement en les remplaçant par la technologie (Brynjolfsson et Mitchell, 2017; Felten, Raj et Seamans, 2019).

Bien que l'apprentissage machine ne soit pas identique à la technologie des robots, la robotique fait grandement appel à l'apprentissage machine pour faire des inférences, ce qui peut constituer un indicateur utile de l'incidence potentielle des robots sur le travail.

Les données actuelles donnent à penser que, bien que les robots puissent accroître la dextérité manuelle pour certaines tâches, ils ne peuvent pas encore accomplir efficacement de nombreuses tâches manuelles que les humains peuvent accomplir facilement. Par conséquent, les augmentations de la productivité découlant des investissements dans les robots entraîneront des augmentations de la demande de travailleurs peu spécialisés accomplissant ces tâches résiduelles.

H3 : Les investissements dans les robots sont associés à des augmentations de l'emploi des travailleurs peu spécialisés.

La demande de travailleurs très spécialisés peut aussi augmenter avec l'adoption des robots. Comme l'illustre l'exemple de la manière dont Amazon a réorganisé les activités dans ses entrepôts après avoir adopté les robots, la majorité des gains de productivité issus de l'adoption de la technologie proviennent de la réorganisation complémentaire du travail (Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002; Hammer, 1990). La mise en œuvre de l'amélioration des processus et de la réorganisation du travail nécessaires exige des professionnels très spécialisés (Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002; Hammer, 1990; Helper et Henderson, 2014; Huselid et Becker, 1997; Ichniowski, Shaw et Prennushi, 1997), certains d'entre eux étant nécessaires pour programmer, réparer et personnaliser les robots et pour travailler avec eux (Acemoglu et Restrepo, 2020; Autor et Salomons, 2018; Brynjolfsson et Mitchell, 2017).

Cependant, la demande de travailleurs très spécialisés peut également augmenter chez ceux qui ne travaillent pas directement avec les robots, car l'automatisation de certaines tâches routinières peut libérer des ressources pour accomplir des tâches plus complexes sur le plan cognitif. Par exemple, lorsque les hôpitaux adoptent les robots pour soulever les patients afin de les sortir de leur lit, les infirmières sont non seulement libérées des efforts physiques de tâches qui sont plus susceptibles de causer des blessures, mais elles obtiennent aussi plus de temps pour interagir avec les patients et prendre part au traitement clinique (Gombolay et coll., 2018). De même, en donnant des comprimés et d'autres médicaments par algorithme directement aux patients (Bepko, Moore et Coleman, 2009), les infirmières peuvent passer plus de temps à assurer la conformité et à prendre d'autres décisions cliniques. Dans le secteur de la fabrication, dans lequel la plus grande partie du processus de production routinier est assurée par les robots et la main-d'œuvre peu spécialisée, du temps et des ressources peuvent être libérés pour que les professionnels très spécialisés conçoivent et mettent en marché de nouveaux produits et optimisent les processus de production (Felten, Raj et Seamans, 2019). Les robots programmables peuvent aussi accroître la flexibilité d'une entreprise et lui permettre de livrer différents types de commandes et d'offrir une plus vaste gamme de produits. Cela peut avoir pour effet d'accroître davantage la demande de travailleurs très spécialisés, lesquels peuvent concevoir un plus grand éventail de produits.

Conformément à ces résultats, les travaux réalisés par Autor et Dorn (2009) ont révélé que les investissements dans les technologies informatiques au cours des dernières décennies ont contribué à l'augmentation généralisée des emplois très spécialisés comportant des tâches de création, de résolution de problèmes et de coordination. De même, selon Felten, Raj et Seamans (2019), les investissements en IA présentaient une corrélation avec l'emploi accru des travailleurs très spécialisés, comme les ingénieurs en logiciels. Par conséquent, on s'attend aussi à ce que l'emploi des travailleurs très spécialisés augmente après l'adoption des robots.

H4 : Les investissements dans les robots sont associés à des augmentations de l'emploi des travailleurs très spécialisés.

2.3 Les robots et l'emploi des cadres

L'emploi des cadres peut aussi changer de façon importante avec l'adoption des robots. Lorsque la production est robotisée, les erreurs humaines sont considérablement réduites et la variation de la qualité de la production diminue (Verl, 2019). Contrairement aux humains, les robots peuvent assurer avec précision le même processus complexe à répétition pendant de longues périodes sans éprouver d'épuisement, ce qui entraîne à la fois des augmentations de la productivité et un moins grand nombre d'erreurs dans le processus de production. Les problèmes de délégation découlant de l'asymétrie de l'information ne se posent pas non plus avec les robots, car ces derniers ne fonctionnent pas dans leur intérêt personnel, comme pourraient le faire les humains en milieu de travail (Eisenhardt, 1989; Hong, Kueng et Yang, 2019; Jensen et Meckling, 1976). Compte tenu du coût considérable de la surveillance des employés pour les entreprises (Dickens et coll., 1989 et 1990) et du temps considérable que consacrent les cadres aux activités de surveillance des employés (Hales, 1986 et 1999), l'utilisation des robots dans le processus de production peut permettre de réduire considérablement la nécessité de surveiller étroitement l'effort de travail et la qualité. Grâce à la fois à une réduction de la variation du processus de production et à l'absence de coût de délégation associée à la gestion des robots, le niveau de surveillance nécessaire pour assurer la qualité de la production est susceptible de diminuer. Étant donné que la surveillance et le contrôle représentent une partie importante des activités des cadres (Kolbjørnsrud, Amico et Thomas, 2016), la demande de cadres est susceptible de diminuer après l'adoption des robots.

Bien que les robots puissent réduire la demande de cadres en diminuant la nécessité de surveiller les employés dans le processus de production, ils peuvent aussi avoir une incidence sur le travail des cadres en changeant la composition des employés non cadres au sein de l'organisation. Si l'adoption des robots est associée à une diminution des travailleurs moyennement spécialisés et à une augmentation des travailleurs très spécialisés et peu spécialisés, les activités des cadres peuvent changer au sein de la main-d'œuvre nouvellement transformée. Il peut être très différent de gérer les travailleurs peu spécialisés d'autres types d'employés, car le travail peu spécialisé est généralement plus normalisé et, en conséquence, plus facile à surveiller et à évaluer que le travail très spécialisé (Mintzberg, 1980; Perrow, 1967). En outre, un même cadre peut éventuellement superviser beaucoup plus d'employés si des outils numériques automatisent des aspects du processus de surveillance du travail normalisé. Par exemple, on peut utiliser la technologie pour organiser et présenter la production issue de tâches routinières simples et même faire des prédictions concernant les résultats du travail (Aral, Brynjolfsson et Wu, 2012), surtout dans le cas du travail normalisé, dans le cadre duquel les intrants et les extrants peuvent être précisés et clairement mesurés (Brynjolfsson et Mitchell, 2017). Dans le cas d'Amazon, la productivité des travailleurs d'entrepôt est suivie en temps réel et un système automatisé génère des recommandations à l'égard des avertissements à donner aux employés et de leur licenciement, lorsque les cibles de productivité ne sont pas atteintes. Le fait de disposer d'une mesure objective de la productivité enregistrée à l'aide de la technologie d'automatisation réduit aussi les conflits dérangeants entre les cadres et leurs subordonnés, car les mesures objectives de la productivité sont plus difficiles à contester (Scully, 2000; Wu, 2013). À mesure que la proportion de travailleurs peu spécialisés augmente dans la main-d'œuvre de l'organisation, moins de cadres peuvent s'avérer nécessaires au sein de l'organisation.

En plus des différences dans la gestion du travail peu spécialisé, la gestion des professionnels très spécialisés est aussi susceptible de différer de la gestion des travailleurs moyennement spécialisés. Les travailleurs très spécialisés accomplissent souvent des tâches plus exigeantes sur le plan cognitif qui apportent une plus grande valeur ajoutée, comme la conception de produits et l'optimisation de la production. La gestion de ces types de travailleurs est susceptible de différer considérablement de la gestion des travailleurs qui accomplissent des tâches manuelles routinières (MacDuffie, 1997; Parker et Slaughter, 1988). La supervision des travailleurs peu spécialisés et des travailleurs moyennement spécialisés consiste principalement à s'assurer que

les employés arrivent à l'heure, à vérifier la conformité aux règles et aux règlements, à surveiller les méthodes de travail et la production des employés, à donner des ordres et à former les employés à bien accomplir leur travail (Helper et Henderson, 2014; Taylor, 1911). À titre comparatif, les employés qui font un travail plus complexe sur le plan cognitif sont souvent eux-mêmes des experts dans la résolution des problèmes en dehors des activités courantes et peuvent régler les problèmes de production encore mieux que leur cadre supérieur (Helper, MacDuffie et Sabel, 2000; Kenny et Florida, 1993). Ces employés ont souvent le pouvoir de prendre plus de décisions parce qu'ils sont mieux à même que leur cadre supérieur de résoudre les problèmes pertinents (Huselid et Becker, 1997; Ichniowski, Shaw et Prennushi, 1997). Par conséquent, la gestion de ces employés peut moins consister à donner directement des ordres et davantage à conseiller les employés et à leur donner le pouvoir de résoudre les problèmes (Malone, 2003; Mintzberg, 1973 et 2013).

Bien que l'on s'attende à ce que l'étendue du contrôle dans la gestion des travailleurs peu spécialisés augmente, ce changement attendu est ambigu lorsque les subordonnés en question sont des travailleurs très spécialisés. Si les travailleurs nécessitent plus de conseils et d'encadrement de la part des cadres, l'étendue du contrôle des cadres peut diminuer (Malone, 2003 et 2004). On a également fait valoir que les travailleurs très spécialisés posent des défis uniques pour l'efficacité des hiérarchies organisationnelles, en raison de leur plus grand besoin de communiquer et de résoudre les conflits, défis qui peuvent être atténués en diminuant l'étendue du contrôle (Bell, 1967; Meyer, 1968). Cependant, le recours efficace à la main-d'œuvre très spécialisée revient souvent à lui accorder une plus grande autonomie (Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002), ce qui pourrait augmenter l'étendue du contrôle (Simon, 1946). Les ouvrages antérieurs portant sur la relation entre les changements dans la composition des compétences et l'étendue du contrôle dans le contexte de l'adoption de la technologie sont limités, mais les données disponibles indiquent généralement des effets positifs nets sur l'étendue du contrôle (Scott, O'Shaughnessy et Cappelli, 1994). Si des diminutions de la demande de main-d'œuvre dans les postes de gestion découlant du besoin réduit de surveillance et des changements dans la composition des compétences l'emportent sur les augmentations potentielles en raison des gains de productivité, la demande de main-d'œuvre dans les postes de gestion peut finir par diminuer. À la lumière de ces arguments, on s'attend à ce que l'emploi des cadres diminue avec l'adoption des robots.

H5 : Les investissements dans les robots sont associés à des diminutions de l'emploi des cadres.

3 Données et mesures

3.1 Données

Pour mesurer les investissements dans les robots à l'échelle des entreprises, la présente étude s'appuie sur des données fournies par l'Agence des services frontaliers du Canada (ASFC) qui rendent compte des achats de robots importés par les entreprises canadiennes de 1996 à 2017. La fabrication mondiale de matériel robotique est fortement concentrée dans relativement peu de pays, comme le Japon, l'Allemagne, les États-Unis et, de plus en plus, la Chine. À titre comparatif, le Canada ne fabrique pas une quantité importante de matériel robotique au pays. Par conséquent, il doit importer les robots de fabricants étrangers, ce qui fait en sorte qu'il est possible d'utiliser les données sur les transactions d'importation pour mesurer l'adoption des robots par les entreprises. Pour toutes les transactions d'importation, l'ASFC classe les biens selon les codes du Système harmonisé (SH), et elle classe les robots industriels séparément des autres types de technologie, de machines et de matériel. En plus du code du SH, le nom de l'entreprise exportatrice, le pays d'origine du produit, le nom et l'adresse de l'entreprise importatrice, le numéro de l'entreprise importatrice (un identificateur unique délivré par le gouvernement à

l'intention des entreprises canadiennes) et la valeur de la transaction sont consignés. Voir Dixon (2020) pour obtenir des précisions sur la construction de ces données.

Étant donné que la présente étude est fondée sur des données portant sur les importations, la définition de « robot » repose en fin de compte sur le type de transactions d'importation qui sont classées comme des robots. Comme point de départ, la Fédération internationale de robotique (IFR) définit les robots industriels comme présentant les caractéristiques d'être 1) à commande automatique; 2) reprogrammables; 3) des manipulateurs multiapplications pouvant être programmés suivant trois axes ou plus; 4) utilisés dans les applications d'automatisation industrielle. La IFR donne un certain nombre d'exemples de robots et de leurs principales fonctions dans le matériel qu'elle publie et sur son site Web. Ce matériel présente des activités comme le montage, la soudure, la peinture, l'emballage, le ramassage et le positionnement ainsi que la manutention de matériaux pour la fonte des métaux. En principe, les entreprises qui sont membres d'une association de l'industrie affiliée à la IFR sont susceptibles d'utiliser une définition des robots qui est conforme à celle de la IFR.

Pour examiner la mesure des investissements en robotique plus en détail, des recherches ont été effectuées manuellement dans le domaine public pour trouver des transactions représentant 95,0 % de la valeur totale des achats de robots dans les données. Les membres des associations de l'industrie affiliées à la IFR (p. ex. l'association des industries de la robotique, l'association de robotique du Japon) représentaient 58,4 % de la valeur totale des importations figurant dans les données. Les entreprises qui n'étaient pas membres d'une association de robotique, mais qui annonçaient qu'elles vendaient le même type de robots, représentaient un autre 13,3 % de la valeur des importations. La plupart du temps, ces entreprises étaient spécialisées dans l'installation et l'intégration de robots qui avaient en réalité été fabriqués par les membres d'une telle association. Un autre 2,0 % de la valeur totale des transactions concernait des entreprises exportatrices qui n'étaient pas affiliées à une association de l'industrie de la robotique, mais qui fabriquaient des robots pour des laboratoires scientifiques. Selon les données, ces robots ont été importés principalement par des entreprises dans le secteur des soins de santé et ont été utilisés pour automatiser une gamme de tâches répétitives dans la recherche en biologie et en chimie, comme le pipetage.

Un autre 19,0 % de la valeur totale était attribuable aux entreprises importatrices dans les industries à forte intensité de robots, principalement l'industrie de l'automobile, mais aussi les industries des machines-outils et de la fabrication de matières plastiques. Certaines entreprises de ces industries sont membres des associations de l'industrie de la robotique, mais les données utilisées dans la présente étude offrent une couverture plus complète des entreprises qui investissent dans les robots. Compte tenu de la prévalence bien documentée de l'utilisation des robots dans ces industries et à partir de l'examen des types de robots utilisés par les entreprises importatrices représentés dans ces transactions, il a été possible d'inférer que ces transactions témoignaient d'investissements en robotique semblables à ceux qui concernaient les membres des associations de robotique. Pour les 2,3 % restants de la valeur des importations, les sites Web des entreprises ont permis de confirmer que les robots étaient utilisés dans diverses activités, y compris l'exécution de réparations et la manutention de matériaux dans des milieux dangereux (p. ex. les pipelines et les centrales nucléaires), et qu'ils étaient aussi utilisés en construction et en démolition.

Les données sur les investissements dans les robots utilisées dans l'étude ont été fusionnées avec deux ensembles de données de Statistique Canada contenant des mesures des caractéristiques des entreprises : 1) le Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux (FMLCN), un ensemble de données de panel qui renferme des mesures de l'emploi et des intrants économiques agrégés à l'échelle des entreprises issues des données des déclarations de revenus de 2000 à 2015; 2) l'Enquête sur le milieu de travail et les employés (EMTE), qui a été élaborée et administrée par l'ancienne Division de l'analyse des entreprises et du marché du travail et la Division de la statistique du travail de Statistique Canada. L'EMTE est

constitué d'une composante des employeurs, qui fournit des renseignements détaillés sur l'emploi et les pratiques de gestion à l'échelle des organisations, et d'une composante des employés couplée, qui permet de mesurer les caractéristiques des emplois et les activités à l'échelle des personnes. L'échantillon de la composante des employeurs est un échantillon aléatoire stratifié dans une structure par panel. Il est représentatif de la population des établissements commerciaux dans l'économie canadienne au cours de chaque année. Pour ce qui est de l'échantillon de la composante des employés, les divers employés ont été choisis au hasard dans chaque organisation et ont été interrogés pendant deux années consécutives, Statistique Canada ayant effectué le rééchantillonnage des personnes au sein de chaque organisation après chaque cycle de deux ans. Les données issues de la composante des employeurs de l'EMTE utilisées dans la présente étude se rapportent aux années 2001 à 2006, tandis que les données issues de la composante des employés de l'EMTE utilisées représentent les employés suivis de 2001 à 2002 et de 2003 à 2004.

Plusieurs ajustements ont été apportés aux échantillons du FMLCN et de l'EMTE pour rendre compte avec plus de précision des entreprises ayant une taille suffisante qui ont acheté des robots dans l'intention de les implanter à titre d'utilisateurs finaux dans la production. Seules les entreprises comptant au moins 10 employés ont été incluses dans l'étude, et les entreprises du secteur de la finance et des assurances (code 52 du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord [SCIAN]) et du secteur des services immobiliers et des services de location et de location à bail (code 53 du SCIAN) ont été retirées, car on a constaté qu'elles s'adonnaient principalement à la location de robots à d'autres entreprises et qu'elles représentaient un pourcentage négligeable des importations totales de robots au Canada. Les entreprises des industries de services qui participaient à la programmation des robots importés en vue de leur revente à d'autres entreprises (codes 5413, 5414, 5415 et 5416 du SCIAN) et les entreprises du secteur du commerce de gros (code 41 du SCIAN) ont également été retirées. Dans les données définitives utilisées aux fins d'analyse, l'échantillon du FMLCN comprenait 168 729 entreprises au total, l'échantillon de la composante des employeurs de l'EMTE comprenait 3 981 établissements commerciaux et l'échantillon de la composante des employés de l'EMTE comprenait 7 958 employés.

3.2 Capacités des robots

Selon Dixon (2020), les robots étaient particulièrement actifs dans les secteurs de l'assemblage de véhicules automobiles et de machines et de matériel ainsi que dans les industries de la transformation des matières plastiques et de la fabrication des minéraux et des métaux.

Dans le secteur de l'automobile, les robots sont généralement disposés le long d'une chaîne de montage structurée pour effectuer les tâches suivantes : récupérer et positionner des pièces; attacher, riveter ou souder des pièces ensemble; appliquer des revêtements ou de la peinture aux pièces assemblées. Les robots sont aussi bien présents dans l'industrie de l'assemblage de composants électroniques, dans laquelle des robots « de transfert » choisissent des circuits et les positionnent sur des cartes de circuits imprimés ou des plaquettes de silicium. Ils manipulent de petites pièces délicates avec précision, choisissant ces dernières parmi différents types de pièces et les positionnant par pressage sur les cartes de circuits imprimés. Ils peuvent aussi faire une inspection visuelle des cartes de circuits imprimés, vérifier les connexions et graver les circuits imprimés. Les robots peuvent aussi prendre part à l'emballage des produits finis. En plus de l'amélioration de la qualité, l'une des principales raisons pour lesquelles les entreprises adoptent les robots dans l'industrie électronique est l'augmentation de la flexibilité qu'ils offrent pour remplir différentes commandes, car ils peuvent passer de grosses commandes à de plus petits lots.

Les robots sont aussi largement utilisés dans la transformation des matières plastiques, industrie dans laquelle ils exécutent principalement des rôles secondaires de surveillance des machines.

Ils appliquent également des étiquettes et déplacent des pièces dans d'autres zones où elles font l'objet d'autres traitements ou sont emballées en vue de leur expédition. Dans le moulage par injection de pièces en plastique et les matériaux d'emballage, ils sont aussi utilisés pour choisir des articles et appliquer des étiquettes. Dans l'ensemble, dans l'industrie de la transformation des matières plastiques, les robots peuvent remplacer une proportion considérable de la main-d'œuvre accomplissant des tâches manuelles répétitives.

Dans la fabrication des minéraux et des métaux, les robots participent au chargement des flancs métalliques dans les machines-outils commandées par ordinateur et à leur déchargement, au repositionnement des pièces semi-finies dans le processus d'usinage, et par la suite à l'ébavurage. L'une des principales raisons pour lesquelles les entreprises adoptent les robots dans les industries du moulage sous pression est l'amélioration de la sécurité des travailleurs. Les fonderies sont des milieux de travail dangereux dans lesquels les robots — ou les travailleurs — sont soumis à une chaleur intense et à des émanations toxiques. Une fois moulées, les pièces doivent être refroidies, soumises à d'autres traitements et inspectées. Les robots peuvent contrôler la qualité à toutes ces étapes. Alors que la qualité des pièces moulées dépend de la compétence des divers travailleurs, les robots offrent une constance beaucoup plus grande. Les personnes qui travaillent aux côtés des robots peuvent aussi travailler beaucoup plus efficacement et être bien plus en sécurité.

En plus de ces applications propres aux industries, la palettisation est une application très répandue que les robots peuvent faciliter dans de nombreuses industries. Les robots peuvent reconnaître, ramasser, orienter et empiler des paquets sur des palettes. Ils peuvent aussi se déplacer facilement entre diverses quantités de paquets de différentes tailles et variétés. Parallèlement à la capacité de contrôler la qualité, les robots peuvent placer efficacement des articles dans des paquets et les sceller et les étiqueter au moyen de codes lisibles par machine. Ces capacités augmentent non seulement l'efficacité et la précision, mais elles réduisent aussi les blessures associées à la palettisation d'objets de grandes dimensions.

3.3 Mesures

Les mesures utilisées dans les principaux tests de base sont présentées ci-dessous.

Investissements dans les robots : Une mesure du stock de capital robotique a été créée en utilisant les données qui rendent compte des importations de matériel robotique et en ajoutant tous les achats de robots faits par chaque entreprise recensée au cours de chaque année. Pour tenir compte de la dépréciation économique de la mesure du stock de capital robotique, on a supposé une durée de vie utile de 12 ans d'après les conseils de la IFR.

Nombre d'employés, embauches et départs : Pour mesurer le nombre total d'employés dans l'entreprise, le nombre total d'employés fourni dans les données du FMLCN a été utilisé pour chaque entreprise-année. Ce nombre a été obtenu à partir des formulaires de versement des retenues sur la paye présentés par l'ensemble des entreprises canadiennes à l'Agence du revenu du Canada. Le nombre d'employés-cadres et non cadres a été recensé à partir des réponses données chaque année à la composante des employeurs de l'EMTE. Le nombre total de nouveaux employés embauchés et de départs a aussi été recensé pour chaque année des données de l'enquête, à la fois pour les employés-cadres et les employés non cadres. Le nombre d'employés non cadres a aussi été déclaré selon le degré de spécialisation (c.-à-d. moyennement spécialisés, peu spécialisés et très spécialisés).

Importance stratégique de la réduction des coûts de la main-d'œuvre et de l'amélioration de la qualité : Pour mesurer l'importance stratégique de la réduction des coûts de la main-d'œuvre et de l'amélioration de la qualité pour l'entreprise, une section de la composante des employeurs de l'EMTE dans laquelle on demande aux répondants « veuillez évaluer l'importance relative des facteurs suivants dans la stratégie générale d'entreprise de cet

emplacement » pour les années 2001, 2003 et 2005 a été utilisée. On a demandé aux répondants d'indiquer l'importance de chaque facteur sur une échelle de Likert en choisissant parmi les réponses possibles suivantes : 1) sans objet; 2) pas important; 3) un peu important; 4) important; 5) très important; 6) essentiel. Dans la présente étude, les facteurs liés à la réduction des coûts de la main-d'œuvre et à l'amélioration de la qualité des produits et des services ont été considérés séparément aux fins d'analyse. Pour la mesure de la priorité stratégique de chaque facteur, les valeurs de 2) sur l'échelle de Likert ont été redéfinies pour être égales à 1) et l'échelle a été réinitialisée pour aller de 1 à 5, car une augmentation de la valeur originale 1) pour la faire passer à 2) et vice versa ne permet pas de rendre clairement compte des changements dans la priorité stratégique que l'étude vise à mesurer.

Pouvoir de décision lié à la formation et au choix de la technologie de production : Les données issues de la composante des employeurs de l'EMTE comprennent des renseignements détaillés sur le pouvoir de décision lié aux tâches à différents niveaux de la hiérarchie organisationnelle. Ces renseignements sont tirés de questions de l'Enquête semblables à celles utilisées par Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt (2002), et Bloom et coll. (2014) pour mesurer le degré d'autonomie des travailleurs. Dans l'Enquête, on demandait « dans le cadre de vos activités, qui décide normalement des aspects suivants? ». Dans la présente étude, les activités liées à la formation et au choix de la technologie de production ont été prises en considération, car elles sont directement liées aux investissements de l'entreprise dans le capital humain et à l'utilisation de la robotique par l'entreprise aux fins de productivité. Pour les vagues de 2003 et de 2005 de l'Enquête, les répondants pouvaient choisir l'une des cinq réponses suivantes à la question sur la personne qui prend les décisions : 1) personnel opérationnel; 2) superviseur; 3) cadre supérieur; 4) personne ou groupe à l'extérieur du lieu de travail (généralement le siège social des entreprises à établissements multiples); 5) propriétaire. Afin de créer des catégories distinctes qui correspondent aux niveaux hiérarchiques au sein des organisations, trois variables nominales ont été utilisées. Chaque variable était égale à 1 si le pouvoir de décision sur la tâche était attribué à l'une des personnes suivantes : 1) personnel opérationnel; 2) superviseur ou cadre supérieur (pour englober les employés-cadres); 3) propriétaire ou siège social.

Étendue du contrôle du superviseur : Pour rendre compte de l'étendue du contrôle du superviseur, on demandait aux répondants, dans la composante des employés de l'EMTE, s'ils exerçaient des fonctions quotidiennes de supervision et, dans l'affirmative, de déclarer le nombre total d'employés qui relevaient directement d'eux ou qui relevaient de leurs subordonnés. Dans la présente étude, ce nombre total a été utilisé comme mesure de l'étendue du contrôle du superviseur, et seuls les cadres qui n'avaient pas été promus au cours de la période de deux ans pendant laquelle ils ont été suivis, selon les données, ont été pris en considération.

Imprévisibilité de l'horaire de travail : Pour évaluer l'imprévisibilité de l'horaire de travail des employés, la composante des employés de l'EMTE demandait aux répondants combien de temps à l'avance ils connaissaient leurs heures de travail hebdomadaire, et les réponses possibles étaient les suivantes : 1) toujours connu; 2) plus d'un mois (plus de 31 jours); 3) un mois (de 22 à 31 jours); 4) 3 semaines (de 15 à 21 jours); 5) 2 semaines (de 8 à 14 jours); 6) de 1 à 7 jours; 7) moins d'une journée. Pour la mesure principale de l'imprévisibilité de l'horaire de travail, la valeur numérique associée à chaque réponse a été utilisée, des valeurs croissantes indiquant un délai plus court dans lequel les employés connaissaient leur horaire de travail à l'avance.

Variables de contrôle : Un certain nombre de variables de contrôle ont aussi été utilisées dans la présente analyse. Dans toutes les spécifications d'échantillon du FMLCN et de la composante des employeurs de l'EMTE, des effets fixes d'organisation ont été inclus pour remédier à l'hétérogénéité non observée des différentes entreprises ainsi que des effets fixes d'année pour tenir compte des stocks agrégés et des tendances. Dans les régressions de l'échantillon de la composante des employés de l'EMTE, on a aussi estimé des modèles, y compris des effets fixes d'employé. L'étude tenait compte de la taille de l'organisation, laquelle était mesurée par le logarithme du total de l'actif dans l'échantillon du FMLCN, le logarithme des recettes totales dans

l'échantillon de la composante des employeurs de l'EMTE et le logarithme du nombre total d'employés dans l'échantillon de la composante des employés de l'EMTE. Une variable nominale était incluse pour tenir compte des entreprises ayant de multiples unités commerciales dans l'échantillon du FMLCN et des organisations qui faisaient partie d'une entreprise à établissements multiples dans l'échantillon de la composante des employeurs de l'EMTE. Dans l'analyse de l'échantillon de la composante des employeurs de l'EMTE, des variables nominales distinctes ont été utilisées pour tenir compte des établissements commerciaux ayant un syndicat organisé ou ayant instauré la sous-traitance comme changement organisationnel.

4 Stratégie empirique

Un des grands problèmes que pose l'estimation de l'effet de la robotique est que l'adoption des robots est peu susceptible d'être aléatoire, ce qui pourrait biaiser les estimations de coefficient. Ce problème est résolu de deux façons, en plus des tests de robustesse effectués.

En premier lieu, pour la régression de l'emploi total (à l'aide de l'échantillon du FMLCN), les investissements dans les robots sont calculés en utilisant le pourcentage de travailleurs dans les professions associées à chaque code à quatre chiffres du SCIAN se caractérisant par une grande dextérité manuelle et de faibles aptitudes verbales en 1995, multiplié par l'inverse du prix médian par robot au Canada au cours de chaque année. Les mesures de la dextérité manuelle et des aptitudes verbales à l'échelle des professions sont tirées du Guide sur les carrières de 2003, un ensemble de données créé par Emploi et Développement social Canada qui renferme une évaluation du degré de dextérité manuelle et d'aptitudes verbales associé à plus de 920 professions distinctes sur une échelle de quatre points. Le degré élevé et le faible degré sont définis comme les deux points les plus élevés et les deux points les moins élevés sur l'échelle, respectivement. Le prix médian par robot au cours de chaque année au Canada a été calculé à partir des données sur les importations fournies par l'ASFC. Le pourcentage de travailleurs dans les professions associées à chaque code à quatre chiffres du SCIAN se caractérisant par une grande dextérité manuelle et de faibles aptitudes verbales en 1995 fournit une mesure transversale des industries qui comptent une plus forte proportion de travailleurs pouvant se livrer à des activités qui correspondent plus étroitement aux capacités des robots, laquelle mesure est multipliée par l'inverse du prix médian par robot au Canada pour créer une variable instrumentale qui varie dans le temps. À mesure que les prix des robots diminuent au fil du temps, on présume que les industries comptant un pourcentage plus élevé de travailleurs qui accomplissent un travail semblable aux capacités des robots sont plus susceptibles de les adopter. Cette hypothèse est utilisée comme instrument pour faire valoir que tant la composition transversale de l'emploi selon l'industrie en 1995 que le prix médian national des robots peuvent servir de prédicteurs de l'adoption des robots à l'échelle des entreprises vraisemblablement exogènes.

En second lieu, l'appariement exact avec groupement (Iacus, King et Porro, 2012) a été utilisé pour appairer les organisations ayant adopté les robots aux organisations n'ayant pas adopté les robots en fonction de grands facteurs observables, et l'estimation des principales régressions a été répétée pour les échantillons appariés aux fins de comparaison. Pour l'échantillon du FMLCN, les entreprises ayant adopté les robots dans l'échantillon ont été appariées aux entreprises n'ayant pas adopté les robots selon l'industrie (déterminée en fonction du code à quatre chiffres du SCIAN), l'année, la province, le statut d'entreprise à unités multiples (déterminé en demandant si l'entreprise comptait plusieurs unités), le total de l'actif, l'âge de l'entreprise, les gains annuels moyens des employés de l'entreprise et le stock de capital. L'appariement exact a été réalisé selon l'industrie, l'année, la province et le statut d'entreprise à unités multiples, le regroupement ayant été autorisé pour les autres variables. Pour l'échantillon de l'EMTE, l'appariement exact a été réalisé selon l'industrie, l'année et la province, le regroupement ayant été autorisé pour les recettes totales, l'âge de l'organisation, les gains annuels moyens des employés et le stock de capital.

5 Résultats

5.1 Principales constatations

Les entreprises adoptent les robots pour accroître la productivité (voir le tableau A1 en annexe). Cependant, cela ne semble pas se faire au détriment de l'emploi total. Les résultats des tests de base liés à la relation entre les investissements dans les robots et l'emploi total sont présentés au tableau 1, dans les colonnes 1 et 2, pour les échantillons complets et les échantillons appariés créés au moyen de l'appariement exact avec groupement. Comme le montrent les colonnes 1 et 2, le coefficient lié à la mesure des investissements dans les robots est positif et significatif sur le plan statistique; il annonce une augmentation de l'emploi total et appuie l'hypothèse H1a. La colonne 3 présente les résultats de l'estimation de la variable instrumentale, lesquels sont directionnellement compatibles avec les colonnes 1 et 2 et ont une ampleur est très semblable aux résultats obtenus pour les échantillons appariés présentés dans la colonne 2. Pour ce qui est des estimations liées à la fois aux échantillons appariés et à la variable instrumentale, une augmentation de 1 % des investissements dans les robots annonce une augmentation d'environ 0,015 % de l'emploi total au sein de l'entreprise. Étant donné que le capital robotique représente seulement 0,05 % de la part des facteurs, cet effet est considérable et donne à penser que les entreprises ont des pratiques complémentaires associées aux robots. Comme étape supplémentaire, la même régression présentée dans la colonne 1 a été estimée, mais la mesure des investissements dans les robots a été remplacée par une série de variables nominales indexées temporellement pour les années précédant et suivant l'adoption des robots. Les coefficients des variables nominales ont été représentés graphiquement dans le graphique 1. Avant l'adoption des robots, aucune différence n'a été observée dans les tendances de l'emploi total au sein des entreprises n'ayant pas adopté les robots, mais il y avait une augmentation de l'emploi total à compter de la première année de l'adoption des robots. Les résultats de la relation entre les investissements dans les robots et l'emploi des travailleurs non cadres selon les différents degrés de spécialisation sont présentés au tableau 1, dans les colonnes 4 à 9. Comme le montrent les colonnes 4 et 5, on peut invariablement observer une relation négative et significative sur le plan statistique avec l'emploi des travailleurs moyennement spécialisés, ce qui appuie l'hypothèse H2. On peut également observer une relation positive et significative sur le plan statistique tant avec l'emploi des travailleurs peu spécialisés (colonnes 6 et 7) qu'avec l'emploi des travailleurs très spécialisés (colonnes 8 et 9), ce qui appuie les hypothèses 3 et 4.

Tableau 1-1

Régressions de l'emploi total et de l'emploi des travailleurs non cadres selon le degré de spécialisation — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8	Modèle 9
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes	Doubles moindres carrés	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes
Ensemble de données	FMLCN	FMLCN	FMLCN	Composante des employeurs de IEMTE	Composante des employeurs de IEMTE	Composante des employeurs de IEMTE	Composante des employeurs de IEMTE	Composante des employeurs de IEMTE	Composante des employeurs de IEMTE
Échantillon	Complet	Apparié	Complet	Complet	Apparié	Complet	Apparié	Complet	Apparié
Variable dépendante	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total de travailleurs moyennement spécialisés)	ln(nombre total de travailleurs moyennement spécialisés)	ln(nombre total de travailleurs de la production peu spécialisés)	ln(nombre total de travailleurs de la production peu spécialisés)	ln(nombre total de travailleurs très spécialisés)	ln(nombre total de travailleurs très spécialisés)

Note : FMLCN signifie Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux; EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations), Enquête sur le milieu de travail et les employés et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Tableau 1-2

Régressions de l'emploi total et de l'emploi des travailleurs non cadres selon le degré de spécialisation — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8	Modèle 9
In(total de l'actif)									
Coefficient	0,191 ***	0,215 ***	0,346 ***	...	...	...	...	...	...
Erreur-type	0,013	0,037	0,016	...	...	...	...	...	...
In(recettes totales)									
Coefficient	...	...	...	0,147	0,106	0,122	0,398 **	0,040	0,037
Erreur-type	...	...	...	0,103	0,094	0,086	0,162	0,071	0,074
Entreprise à unités multiples									
Coefficient	0,139 ***	0,144 ***	0,500 ***	-0,077	-0,396 ***	-0,235 *	-0,049	0,090	0,486 **
Erreur-type	0,014	0,022	0,027	0,095	0,062	0,132	0,074	0,063	0,175
Syndicat									
Coefficient	...	...	...	0,389 ***	-0,092	0,200	2,052 ***	-0,219 **	-1,041 *
Erreur-type	...	...	...	0,115	0,669	0,161	0,477	0,095	0,523
Sous-traitance									
Coefficient	...	...	...	-0,001	0,419 **	0,048	-0,335	0,171 **	0,162
Erreur-type	...	...	...	0,086	0,187	0,104	0,322	0,068	0,151
In(stock de capital robotique)									
Coefficient	0,007 ***	0,015 **	0,015 ***	-0,086 ***	-0,031 **	0,061 ***	0,021 **	0,016 **	0,018 **
Erreur-type	0,002	0,006	0,004	0,014	0,012	0,021	0,009	0,007	0,008
Effets fixes d'industrie	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Effets fixes de province	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Observations (nombre)	929 162	41 399	865 759	17 449	1 746	17 449	1 746	17 449	1 746
R-carré ajusté	0,92	0,94	...	0,70	0,74	0,72	0,83	0,59	0,76

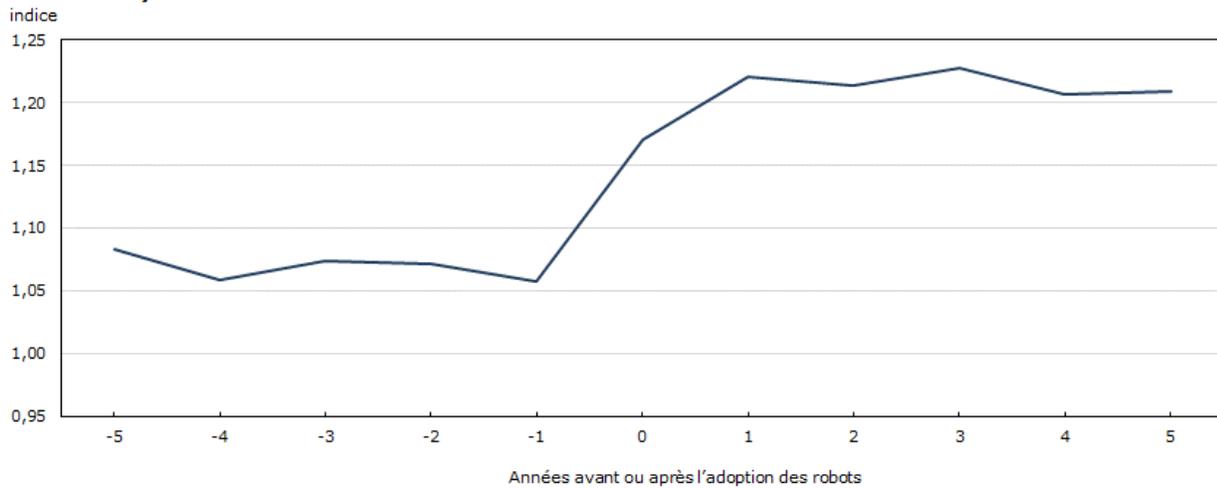
... n'ayant pas lieu de figurer

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Notes : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Toutes les régressions reposant sur les données de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations), Enquête sur le milieu de travail et les employés et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Graphique 1
Variation des employés (indexée en fonction de la première année de l'entreprise dans l'échantillon)



Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique.
Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Les résultats des tests liés à la relation entre les investissements dans les robots et l'emploi des cadres et l'emploi total des travailleurs non cadres sont présentés au tableau 2, lequel présente là encore les résultats obtenus pour les échantillons complets et les échantillons appariés. Dans les colonnes 1 et 2, on peut observer une relation négative et significative sur le plan statistique entre l'adoption des robots et l'emploi des cadres. Comme pour l'exercice fait dans le graphique 1, la même régression présentée dans la colonne 1 a été estimée, mais la mesure des investissements dans les robots a été remplacée par une série de variables nominales indexées temporellement pour les années précédant et suivant l'adoption des robots, et les coefficients ont été représentés graphiquement dans le graphique 2. Avant l'adoption des robots, aucune différence n'a été observée dans l'emploi total des cadres chez les organisations n'ayant pas adopté les robots, mais il y avait une diminution considérable de l'emploi des cadres à compter de la première année de l'adoption des robots. Le tableau 3 montre la façon dont les investissements dans les robots peuvent annoncer l'embauche et les départs des employés-cadres et des employés non cadres. L'adoption des robots annonce une diminution de l'embauche de nouveaux cadres (colonnes 1 et 2), mais une augmentation du nombre de départs des cadres (colonnes 3 et 4), ce qui donne à penser que les deux situations contribuent à la variation du nombre de cadres.

Tableau 2-1
Régressions de l'emploi, de l'embauche et des départs des travailleurs cadres et des travailleurs non cadres — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes
Ensemble de données	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE
Échantillon	Complet	Apparié	Complet	Apparié
Variable dépendante	In(nombre total de cadres)	In(nombre total de cadres)	In(nombre total de travailleurs non cadres)	In(nombre total de travailleurs non cadres)

Note : EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 2-2
Régressions de l'emploi, de l'embauche et des départs des travailleurs cadres et des travailleurs non cadres — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
In(recettes totales)				
Coefficient	0,084 **	0,009	0,242 ***	0,389 ***
Erreur-type	0,033	0,168	0,053	0,093
Entreprise à unités multiples				
Coefficient	0,032	0,307	0,046	1,199
Erreur-type	0,096	0,434	0,049	0,847
Syndicat				
Coefficient	0,168	0,594	0,025	-2,309 ***
Erreur-type	0,108	0,472	0,033	0,488
Sous-traitance				
Coefficient	0,001	0,160	0,005	-0,205 *
Erreur-type	0,059	0,152	0,059	0,115
In(stock de capital robotique)				
Coefficient	-0,080 ***	-0,073 ***	0,005 **	0,016 **
Erreur-type	0,011	0,014	0,002	0,008
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Oui	Oui	Oui	Oui
Observations	17 449	1 746	17 449	1 746
R-carré ajusté	0,69	0,75	0,88	0,86

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Toutes les régressions reposant sur les données de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés (EMTE) utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 3-1

Régressions de l'embauche et des départs des travailleurs cadres et des travailleurs non cadres — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes				
Ensemble de données	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE				
Échantillon	Complet	Apparié	Complet	Apparié	Complet	Apparié	Complet	Apparié
Variable dépendante	ln(nombre total de travailleurs cadres embauchés)	ln(nombre total de travailleurs non cadres embauchés)	ln(nombre total de travailleurs non cadres embauchés)	ln(nombre total de départs de travailleurs non cadres)	ln(nombre total de départs de travailleurs non cadres)			

Note : EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 3-2

Régressions de l'embauche et des départs des travailleurs cadres et des travailleurs non cadres — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8
In(recettes totales)								
Coefficient	0,053	0,066	0,023	0,024	0,209 **	0,045	0,077	0,203 *
Erreur-type	0,070	0,183	0,037	0,044	0,082	0,161	0,084	0,112
Entreprise à unités multiples								
Coefficient	0,030	-0,343 *	-0,050	-0,061	-0,124	-0,584	0,178	0,006
Erreur-type	0,149	0,185	0,078	0,223	0,208	0,419	0,118	0,192
Syndicat								
Coefficient	0,279 **	0,514	-0,019	-0,159	-0,149	-1,139 ***	0,292 ***	0,119
Erreur-type	0,124	0,523	0,067	0,106	0,104	0,301	0,100	0,117
Sous-traitance								
Coefficient	0,116	0,109	-0,049	0,089	0,158	-0,343 **	0,062	0,053
Erreur-type	0,086	0,101	0,050	0,115	0,119	0,173	0,079	0,084
In(stock de capital robotique)								
Coefficient	-0,032 ***	-0,037 ***	0,025 ***	0,031 **	0,044 ***	0,028 **	0,037 ***	0,018 ***
Erreur-type	0,009	0,013	0,004	0,012	0,007	0,014	0,009	0,006
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Observations (nombre)	17 449	1 746	17 449	1 746	17 449	1 746	17 449	1 746
R-carré ajusté	0,19	0,22	0,06	0,03	0,60	0,46	0,33	0,15

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

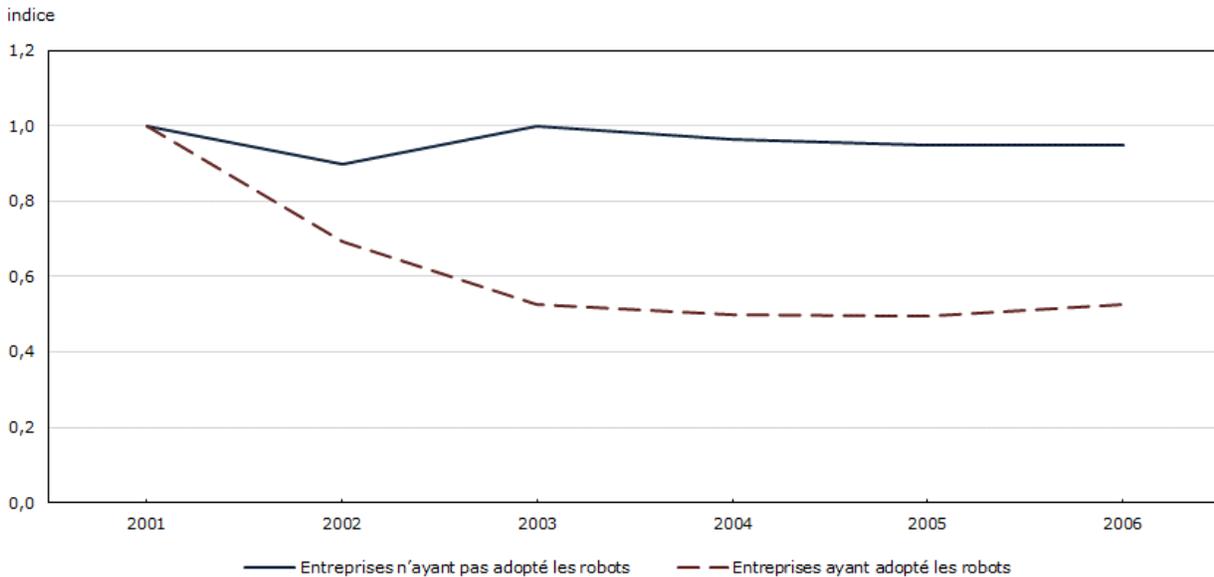
** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Notes : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Toutes les régressions reposant sur les données de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Graphique 2
Nombre de cadres (indexé en fonction de 2001)



Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique.
Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

À titre de confirmation supplémentaire, un test a été effectué pour déterminer si une augmentation de l'emploi total des travailleurs non cadres peut expliquer les augmentations de l'emploi total. Les résultats de ce test sont présentés au tableau 2, dans les colonnes 3 et 4. Si les résultats liés à l'emploi total ou à l'emploi des cadres étaient attribuables à une erreur de mesure de l'une ou l'autre des variables, il serait peu probable d'observer une évolution correspondante de l'emploi des travailleurs non cadres. Le coefficient lié aux investissements dans les robots est positif et significatif sur le plan statistique, ce qui concorde avec l'hypothèse selon laquelle l'emploi des travailleurs non cadres est à l'origine des augmentations de l'emploi total. Dans le tableau 3, les colonnes 5 à 8 montrent si des changements dans l'embauche ou le roulement des employés non cadres peuvent expliquer ces résultats. Le coefficient lié aux investissements dans les robots est positif et significatif pour l'ensemble des spécifications, ce qui donne à penser que les investissements en robotique permettent d'augmenter à la fois l'embauche des employés non cadres (colonnes 5 et 6) et les départs des employés non cadres (colonnes 7 et 8). Bien que l'embauche et le roulement augmentent tous deux, l'effet net des deux (tableau 2, colonnes 3 et 4) annonce en fin de compte un gain net de l'emploi total chez les employés non cadres. Les augmentations de l'embauche et des départs chez les employés non cadres semblent aussi indiquer un changement dans la composition de la main-d'œuvre, conformément aux résultats du tableau 1, qui montrent une diminution des travailleurs moyennement spécialisés et une augmentation des travailleurs peu spécialisés et très spécialisés.

Ensuite, l'examen a porté sur la relation entre les investissements dans les robots et les changements dans les priorités stratégiques des organisations. Les résultats sont présentés au tableau 4. La tendance de l'évolution de l'emploi attribuable à l'adoption des robots — surtout la diminution de l'emploi des cadres — peut être liée à la nécessité pour les entreprises de réduire les coûts de la main-d'œuvre. Si c'est effectivement le cas, ces résultats peuvent témoigner d'une causalité inverse par laquelle les entreprises qui cherchent à réduire le nombre de cadres coûteux choisissent d'adopter les robots. Comme le montrent les colonnes 1 et 2, le coefficient lié aux investissements dans les robots n'est pas significatif sur le plan statistique, ce qui n'indique en rien que les entreprises qui achètent des robots sont motivées par la volonté de réduire les coûts de la main-d'œuvre. Les colonnes 3 et 4 présentent un coefficient positif et significatif lié aux

investissements dans les robots en ce qui concerne l'importance stratégique d'améliorer la qualité des produits et des services. Dans l'ensemble, les résultats donnent à penser que les investissements dans les robots sont plus susceptibles d'être motivés par une volonté d'améliorer la qualité de la production, par opposition à la volonté d'améliorer l'efficacité par la réduction des coûts de la main-d'œuvre. Cela laisse croire que la possibilité d'une causalité inverse par laquelle les entreprises peuvent choisir de réduire le nombre de cadres et adopter par la suite les robots est moins probable. Ces résultats corroborent aussi des données obtenues sur le terrain — surtout dans le secteur de la fabrication — selon lesquelles les robots sont souvent utilisés pour améliorer l'uniformité et réduire la variation de la production.

Tableau 4-1
Régressions des priorités stratégiques — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes
Ensemble de données	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE
Échantillon	Complet	Apparié	Complet	Apparié
Variable dépendante (importance stratégique)	Réduire les coûts de la main-d'œuvre	Réduire les coûts de la main-d'œuvre	Améliorer la qualité des produits et des services	Améliorer la qualité des produits et des services

Note : EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 4-2
Régressions des priorités stratégiques — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
In(recettes totales)				
Coefficient	-0,014	0,118	0,098	0,180
Erreur-type	0,130	0,322	0,133	0,380
Entreprise à unités multiples				
Coefficient	-0,197	0,192	-0,198	0,629 *
Erreur-type	0,121	0,347	0,173	0,374
Syndicat				
Coefficient	-0,144	-0,743 ***	-0,336 *	0,093
Erreur-type	0,230	0,209	0,199	0,333
Sous-traitance				
Coefficient	0,050	0,488	0,094	0,960
Erreur-type	0,178	0,488	0,169	0,590
In(stock de capital robotique)				
Coefficient	0,027	-0,001	0,108 ***	0,103 ***
Erreur-type	0,036	0,020	0,013	0,031
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Oui	Oui	Oui	Oui
Observations (nombre)	8 906	889	8 906	889
R-carré ajusté	0,32	0,46	0,38	0,21

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Toutes les régressions reposant sur les données de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

5.2 Changements dans les pratiques organisationnelles et la nature du travail

La présente section vise à étudier si l'attribution du pouvoir de décision aux cadres au sein de l'organisation change après l'adoption des robots. Si les entreprises réduisent simplement le nombre de cadres pour réduire leur capacité excédentaire, on ne s'attend pas nécessairement à un changement dans le pouvoir de décision des cadres qui demeurent au sein de l'entreprise. La réduction du nombre de cadres peut plutôt donner à penser que les cadres qui demeurent au sein de l'entreprise en font plus qu'auparavant et que, par conséquent, ils obtiennent un plus grand pouvoir de décision. Pour examiner cette possibilité, l'étude aborde la façon dont les investissements dans les robots permettent de prédire l'attribution du pouvoir de décision sur les activités de formation et le choix de la technologie de production. Les résultats sont présentés aux tableaux 5 et 6. Ces deux décisions sont particulièrement pertinentes, car elles se rapportent à la gestion du capital humain au sein de l'entreprise. Le tableau 5 présente les résultats liés à l'attribution du pouvoir de décision sur la formation. Le coefficient lié aux investissements dans les robots était positif chez les employés non cadres (colonnes 1 et 2) et négatif chez les employés-cadres (colonnes 3 et 4), aucune relation significative n'ayant été observée chez les propriétaires et les sièges sociaux (colonnes 5 et 6). Les résultats indiquent une décentralisation des responsabilités liées à la formation des employés-cadres aux employés non cadres au sein de l'entreprise en réponse à l'adoption des robots. Le tableau 6 présente les résultats liés à l'attribution du pouvoir de décision sur le choix de la technologie de production. Aucune relation significative n'a été observée chez les employés non cadres (colonnes 1 et 2), une relation négative et significative a été observée chez les employés-cadres (colonnes 3 et 4) et une relation positive et significative a été observée chez les propriétaires et pour les sièges sociaux (colonnes 5 et 6). Contrairement aux activités de formation, ces résultats donnent à penser que le choix de la technologie de production devient centralisé et passe des employés-cadres aux propriétaires et aux sièges sociaux. Bien qu'on ne puisse pas mesurer l'attribution du pouvoir de décision lié à l'ensemble des tâches des cadres, ces résultats donnent à penser que le type de travail qu'accomplissent les cadres change avec l'adoption des robots. La réduction des cadres ne représente pas seulement une réduction de leur nombre, mais également un changement dans leur pouvoir de décision et dans la nature des tâches qu'ils accomplissent. Ces résultats laissent aussi entendre que l'adoption des robots est également associée à des changements fondamentaux dans la conception organisationnelle.

Tableau 5-1**Régressions de l'attribution des tâches, décisions sur la formation — spécifications des modèles**

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes				
Ensemble de données	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE				
Échantillon	Complet	Apparié	Complet	Apparié	Complet	Apparié
Variable dépendante (décisions sur la formation)	Travailleurs non cadres	Travailleurs non cadres	Cadres	Cadres	Propriétaires d'entreprises ou sièges sociaux	Propriétaires d'entreprises ou sièges sociaux

Note : EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 5-2

Régressions de l'attribution des tâches, décisions sur la formation — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6
In(recettes totales)						
Coefficient	-0,003	-0,022	0,003	-0,017	0,027	0,307
Erreur-type	0,019	0,046	0,090	0,066	0,089	0,230
Entreprise à unités multiples						
Coefficient	0,009	-0,094	-0,021	-0,234	0,110	0,755 *
Erreur-type	0,013	0,095	0,077	0,640	0,104	0,450
Syndicat						
Coefficient	-0,041	0,014	-0,070	-0,027	-0,139	0,018
Erreur-type	0,139	0,015	0,212	0,025	0,173	0,101
Sous-traitance						
Coefficient	0,011	0,121	-0,019	0,066	-0,058	-0,278
Erreur-type	0,028	0,074	0,072	0,300	0,081	0,195
In(stock de capital robotique)						
Coefficient	0,074 ***	0,077 ***	-0,077 ***	-0,080 ***	0,003	0,012
Erreur-type	0,011	0,012	0,011	0,012	0,003	0,009
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Observations (nombre)	6 173	632	6 173	632	6 173	632
R-carré ajusté	0,29	0,84	0,33	0,72	0,39	0,75

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Toutes les régressions reposant sur les données de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 6-1**Régressions de l'attribution des tâches, choix de la technologie de production — spécifications des modèles**

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes				
Ensemble de données	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE				
Échantillon	Complet	Apparié	Complet	Apparié	Complet	Apparié
Variable dépendante (choix de la technologie de production)	Travailleurs non cadres	Travailleurs non cadres	Cadres	Cadres	Propriétaires d'entreprises ou sièges sociaux	Propriétaires d'entreprises ou sièges sociaux

Note : EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 6-2

Régressions de l'attribution des tâches, choix de la technologie de production — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6
In(recettes totales)						
Coefficient	0,004	0,006	0,056	-0,131	-0,049	0,365
Erreur-type	0,008	0,033	0,072	0,100	0,075	0,262
Entreprise à unités multiples						
Coefficient	-0,007	-0,010	0,038	-0,498	0,070	0,930 ***
Erreur-type	0,012	0,018	0,066	0,427	0,096	0,344
Syndicat						
Coefficient	-0,000	0,009	0,231	0,868 ***	-0,527 ***	-0,878 ***
Erreur-type	0,004	0,009	0,189	0,092	0,181	0,070
Sous-traitance						
Coefficient	-0,010	0,024	0,038	0,212	-0,003	-0,324 *
Erreur-type	0,019	0,024	0,075	0,250	0,077	0,179
In(stock de capital robotique)						
Coefficient	-0,000	0,002	-0,069 ***	-0,077 ***	0,075 ***	0,082 ***
Erreur-type	0,000	0,001	0,015	0,012	0,013	0,017
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Observations (nombre)	6 173	632	6 173	632	6 173	632
R-carré ajusté	0,30	0,09	0,31	0,54	0,33	0,54

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Toutes les régressions reposant sur les données de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Pour confirmer ces résultats à l'échelle des organisations et examiner en quoi la nature du travail peut changer lorsqu'on adopte des robots à l'échelle des employés, un test a été effectué pour déterminer si l'adoption des robots à l'échelle des organisations annonce des changements dans l'étendue du contrôle des employés-cadres, dont les résultats sont présentés au tableau 7, dans la colonne 1. Le coefficient lié aux investissements dans les robots était positif et significatif sur le plan statistique, ce qui donne à penser que l'adoption des robots annonce des augmentations de l'étendue du contrôle chez les cadres qui demeurent au sein de l'organisation. Une augmentation de l'étendue du contrôle des cadres est conforme aux résultats précédents observés à l'échelle des organisations qui indiquent une réduction du nombre de cadres et une augmentation des employés non cadres.

Tableau 7-1
Régressions de l'étendue du contrôle et de l'imprévisibilité de l'horaire de travail — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes
Ensemble de données	Composante des employés de l'EMTE	Composante des employés de l'EMTE
Variable dépendante	Étendue du contrôle	Imprévisibilité de l'horaire de travail

Note : EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 7-2
Régressions de l'étendue du contrôle et de l'imprévisibilité de l'horaire de travail — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2
In(recettes totales)		
Coefficient	22,532 *	-0,112
Erreur-type	12,112	0,317
Entreprise à unités multiples		
Coefficient	32,915	0,255
Erreur-type	29,069	0,270
Syndicat		
Coefficient	-6,911	0,067
Erreur-type	4,560	0,231
Sous-traitance		
Coefficient	-4,066	0,325
Erreur-type	5,147	0,229
In(stock de capital robotique)		
Coefficient	0,342 **	0,158 **
Erreur-type	0,132	0,066
Effets fixes d'année	Oui	Oui
Effets fixes d'employé	Oui	Oui
Observations (nombre)	11 719	10 969
R-carré ajusté	0,15	0,59

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Toutes les régressions reposant sur les données de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Comme autre test, un examen de l'incidence potentielle des investissements dans les robots sur la nature routinière du travail chez les employés a été effectué. La présente étude repose sur une définition précise de routine, soit la mesure dans laquelle les employés peuvent prévoir leur horaire de travail, correspondant à la mesure utilisée. Comme le montre le tableau 7, dans la

colonne 2, il existe une relation positive entre les investissements dans les robots et l'imprévisibilité de l'horaire de travail. Les résultats sont conformes à l'idée selon laquelle, lorsque les robots automatisent une plus grande proportion des tâches au sein de l'organisation et réduisent la variation du processus de production, les travailleurs humains doivent se consacrer à des tâches qui sont de nature moins prévisible.

5.3 Robots et vérifications du mécanisme de mesure du rendement

Deux tests distincts pour lesquels les mesures disponibles dans la composante des employeurs de l'EMTE sont utilisées ont été effectués pour déterminer si les investissements dans les robots ont une incidence sur la capacité d'une entreprise à mesurer le rendement, comme le proposent les arguments théoriques de la présente étude.

Le premier test a permis d'examiner si les investissements dans les robots augmentent la probabilité d'améliorations de la mesure du rendement lorsque des changements organisationnels surviennent en milieu de travail. Dans la composante des employeurs de l'EMTE, on demandait si des changements organisationnels étaient survenus au cours de l'année et si les changements organisationnels étaient définis comme « ceux qui touchent l'organisation du travail dans votre emplacement ou entre votre emplacement et d'autres emplacements ». Si des changements organisationnels étaient survenus, on demandait par la suite aux répondants si l'incidence des changements organisationnels ayant touché le plus grand nombre d'employés avait accru la « capacité de mesurer le rendement » en milieu de travail. Une variable nominale égale à 1 a été créée si l'on a indiqué, dans le milieu de travail, avoir apporté un changement organisationnel qui avait accru la capacité de l'entreprise de mesurer le rendement. Pour répondre aux préoccupations relatives à la sélection de l'échantillon, une régression probit de premier stade a été estimée pour prédire la survenue de changements organisationnels, en utilisant la priorité stratégique de la « réorganisation des méthodes de travail » au sein de l'entreprise comme prédicteur exogène et en incorporant l'inverse du ratio de Mill de cette régression comme autre variable de contrôle. Comme le montre le tableau 8, dans la colonne 1, le coefficient lié aux investissements dans les robots est positif et significatif, ce qui donne à penser que les robots contribuent à l'amélioration de la mesure du rendement lorsque des changements organisationnels sont mis en œuvre.

Le second test visait à déterminer si les investissements dans les robots affichaient une relation positive avec la priorité stratégique de l'amélioration de la mesure du rendement au sein de l'entreprise. Pour la mesure de la priorité stratégique, on a utilisé la section de la composante des employeurs de l'EMTE dans laquelle on demandait aux répondants d'évaluer l'importance relative de certains facteurs dans la stratégie générale de l'entreprise quant au milieu de travail, en tenant compte cette fois du facteur de « l'amélioration des mesures du rendement ». Comme le montrent les résultats présentés au tableau 8, dans les colonnes 2 et 3, le coefficient lié aux investissements dans les robots est positif et significatif, ce qui donne à penser que l'adoption des robots et l'importance stratégique de l'amélioration des mesures du rendement affichent une relation positive.

Tableau 8-1**Régressions de la mesure du rendement, échantillon de la composante des employeurs de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés — spécifications des modèles**

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
Type de régression	Effets fixes	Effets fixes	Effets fixes
Ensemble de données	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE	Composante des employeurs de l'EMTE
Échantillon	Complet	Complet	Apparié
Variable dépendante	Augmentation de la capacité à mesurer le rendement	Priorité stratégique de l'amélioration des mesures du rendement	Priorité stratégique de l'amélioration des mesures du rendement

Note : EMTE signifie Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

Tableau 8-2**Régressions de la mesure du rendement, échantillon de la composante des employeurs de l'Enquête sur le milieu de travail et les employés — résultats des régressions**

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
In(recettes totales)			
Coefficient	0,034	0,090	-0,171
Erreur-type	0,047	0,141	0,258
Entreprise à unités multiples			
Coefficient	0,027	0,167	0,356
Erreur-type	0,088	0,192	0,251
Syndicat			
Coefficient	-0,028	0,039	-0,523 ***
Erreur-type	0,062	0,186	0,120
Sous-traitance			
Coefficient	...	-0,011	0,702
Erreur-type	...	0,142	0,582
In(stock de capital robotique)			
Coefficient	0,022 **	0,076 ***	0,119 ***
Erreur-type	0,011	0,014	0,024
Inverse du ratio de Mill			
Coefficient	-0,140 **	...	...
Erreur-type	0,068	...	...
Effets fixes d'organisation	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui
Observations (nombre)	4 947	8 906	889
R-carré ajusté	0,42	0,29	0,59

... n'ayant pas lieu de figurer

** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. L'inverse du ratio de Mill est issu de la régression probit de premier stade prédisant le changement organisationnel. Toutes les régressions utilisent des poids d'échantillonnage.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Enquête sur le milieu de travail et les employés.

5.4 Vérifications de la robustesse

Une série de tests de robustesse supplémentaires ont été effectués pour vérifier les résultats de l'étude. La relation positive entre les investissements dans les robots et l'emploi total était solide dans les différentes industries (tableaux A2 à A4 en annexe), ce qui donne à penser que les résultats ne sont pas attribuables à des facteurs propres aux industries. D'autres régressions (disponibles sur demande) tenaient compte des investissements dans la TI comme possible variable omise, permettaient d'examiner si les achats non observés des grossistes et des revendeurs au Canada (plutôt que les achats faits par importation directe) pouvaient avoir une incidence sur les résultats, tenaient compte des améliorations générales du rendement des entreprises comme autre explication des augmentations de l'emploi total, tenaient compte de la concurrence des importations de la Chine et des États-Unis et appliquaient une correction de Heckman liée au choix d'adopter les robots. Les principaux résultats exposés dans le présent article étaient solides dans tous ces tests supplémentaires.

6 Discussion et conclusion

La présente étude repose sur de nouvelles données qui rendent compte des investissements faits en robotique au sein d'une population d'entreprises dans une économie développée pour fournir les premières indications à l'échelle des entreprises de l'effet de l'adoption des robots sur l'emploi et la gestion, ainsi que sur les changements connexes dans les pratiques organisationnelles. Les résultats donnent à penser que l'incidence des robots sur l'emploi au sein de l'entreprise n'est pas uniforme. Les robots entraînent des augmentations nettes du nombre d'employés non cadres, mais également des diminutions du nombre d'employés-cadres. Cela est conforme à l'idée selon laquelle, en se chargeant d'un sous-ensemble de responsabilités et d'activités dans le processus de production de l'entreprise, les robots ont une incidence sur la demande de travailleurs qui accomplissent d'autres activités au sein de l'entreprise. Les employés dont les compétences sont plus complémentaires aux investissements dans les robots sont plus susceptibles d'obtenir des gains nets d'emploi, selon la mesure dans laquelle leurs compétences sont complémentaires. L'étude a révélé une polarisation des compétences de la main-d'œuvre non cadre, des diminutions de l'emploi des travailleurs moyennement spécialisés et des augmentations de l'emploi des travailleurs peu spécialisés et très spécialisés ayant été observées. Cela est conforme aux résultats issus d'études précédentes sur l'automatisation (Autor et Salomons, 2018; Autor, Levy et Murnane, 2003). Étonnamment, un déplacement des travailleurs a été observé dans des emplois précis de nature cognitive très spécialisés (p. ex. les cadres) qui étaient auparavant moins vulnérables au changement technologique influencé par les compétences des vagues technologiques précédentes. Cette réduction peut découler à la fois d'une diminution de la nécessité de certains types de tâches de supervision à compter de l'adoption des robots et de l'effet indirect de l'évolution de la composition des employés non cadres. Parallèlement à une diminution de l'emploi des cadres et à une augmentation de l'emploi total, l'étude a révélé que l'étendue du contrôle des cadres augmentait aussi après l'adoption des robots. Les données indiquent aussi que le travail des cadres changeait radicalement après l'adoption des robots, tandis que le pouvoir de décision des cadres était réduit. Cependant, rien n'indique que les pertes d'emploi étaient attribuables au fait que les entreprises souhaitaient réduire les coûts de la main-d'œuvre. En réalité, les résultats indiquent que les entreprises adoptent principalement les robots pour améliorer la qualité des produits et des services.

En plus de l'évolution de l'emploi, les résultats de la présente étude indiquent que les pratiques organisationnelles changent avec l'adoption des robots, tandis que le pouvoir de décision lié à certaines tâches est attribué à différents niveaux de la hiérarchie et s'éloigne des cadres. Les décisions liées aux ressources humaines en ce qui a trait à la formation étaient décentralisées pour passer des cadres aux employés non cadres, tandis que le choix de la technologie de production était centralisé pour passer des cadres aux propriétaires et aux sièges sociaux. Ce résultat est différent des effets des générations précédentes de TI, qui avaient tendance à décentraliser le pouvoir de décision (Acemoglu et coll., 2007). Cependant, étant donné la prévalence et la capacité des robots en rapide augmentation, l'attribution du pouvoir de décision et d'autres méthodes de travail complémentaires continueront probablement d'évoluer. Les entreprises pouvant mieux faire correspondre leurs capacités et leurs méthodes de travail aux occasions de production peuvent grandement profiter des investissements dans les robots et obtenir d'éventuels avantages concurrentiels. Cette constatation fait ressortir la nécessité de comprendre les différents types de compléments aux robots en tant que nouvelle technologie.

Dans l'ensemble, les constatations issues des données à l'échelle des organisations donnent à penser que l'effet des robots sur la main-d'œuvre est plus nuancé que les études précédentes l'ont prévu et exige un examen plus approfondi qui dépasse le cadre des industries ou des régions, afin de comprendre la façon dont les robots sont utilisés pour compléter et remplacer la main-d'œuvre et la mesure dans laquelle les pratiques organisationnelles doivent se transformer à mesure que la nature du travail évolue. Bien que la présente analyse laisse croire que l'adoption des robots est associée au recours à différents types de travailleurs, les répercussions connexes

sur les salaires constituent aussi une importante question. La mesure dans laquelle les salaires peuvent changer dépend des types d'emplois qui sont créés et éliminés. Les premières données donnent à penser que, bien que la réduction des coûts de la main-d'œuvre ne soit pas la principale raison pour laquelle les entreprises adoptent les robots, la réduction de l'emploi des cadres et des travailleurs moyennement spécialisés et l'augmentation de l'emploi des travailleurs peu spécialisés et très spécialisés annoncent en fin de compte un résultat ambigu au chapitre des salaires moyens. Cependant, en complément à la constatation selon laquelle la demande de travailleurs moyennement spécialisés diminue, Dauth, Findeisen, Südekum et Woessner (2018) ont utilisé les investissements dans les robots à l'échelle des industries pour examiner leur effet sur les salaires des employés et ont révélé que l'adoption des robots entraînait des diminutions considérables des salaires chez les travailleurs moyennement spécialisés.

Les changements observés dans les types d'employés et les compétences découlant de l'adoption des robots feraient aussi en sorte que les entreprises mettent en œuvre des méthodes de travail complémentaires pour répondre à ce changement dans les compétences, comme pour les générations précédentes de changements technologiques influencés par les compétences (Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002; Murnane, Levy et Autor, 1999). Pour comprendre ces effets, la collecte de microdonnées, surtout à l'échelle des entreprises, est essentielle. De plus, de meilleures données sur les investissements dans les robots dans différents contextes sont indispensables pour déterminer si les effets observés sur l'emploi et les méthodes de travail peuvent être généralisés à d'autres économies (Buffington, Miranda et Seamans, 2018; Frank et coll., 2019). Bien que la présente étude fournisse des données détaillées sur la robotique à l'échelle des entreprises et révèle que les méthodes de travail ont déjà évolué en réponse à la technologie robotique, on pourrait continuer à examiner, dans les travaux à venir, l'incidence de cette technologie sur différentes entreprises, professions, industries et régions géographiques (Felten, Raj et Seamans, 2019). Étant donné les progrès rapides des capacités en robotique, il est essentiel de comprendre leurs répercussions, car les investissements dans les robots sont susceptibles d'avoir des répercussions profondes tant sur l'emploi que sur les organisations.

7 Annexe : Répercussions des robots sur la productivité et l'emploi : données à l'échelle des entreprises

S1 Productivité

Un autre test a été effectué pour déterminer si les investissements en robotique entraînent des augmentations de la productivité des entreprises. Comme le montrent les colonnes 2 à 4 dans le tableau ci-dessous, le coefficient lié au stock de capital robotique est positif et significatif, ce qui indique que les robots permettent effectivement d'augmenter la productivité des entreprises.

Tableau A.1-1
Régressions de la productivité — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
Type de régression	Moindres carrés ordinaires	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes	Levinsohn-Petrin
Variable dépendante	ln(recettes totales)	ln(recettes totales)	ln(recettes totales)	ln(recettes totales)

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Tableau A.1-2
Régressions de la productivité — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
ln(matières)				
Coefficient	0,411 ***	0,411 ***	0,235 ***	0,265 ***
Erreur-type	0,024	0,024	0,021	0,003
ln(travail)				
Coefficient	0,445 ***	0,443 ***	0,310 ***	0,312 ***
Erreur-type	0,025	0,025	0,023	0,004
ln(stock de capital non robotique)				
Coefficient	0,226 ***	0,224 ***	0,279 ***	0,220 ***
Erreur-type	0,041	0,041	0,019	0,005
ln(stock de capital robotique)				
Coefficient	...	0,019 ***	0,007 ***	0,008 ***
Erreur-type	...	0,003	0,001	0,002
Effets fixes d'industrie	Oui	Oui	Non	...
Effets fixes de province	Oui	Oui	Non	...
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	...
Effets fixes d'organisation	Non	Non	Oui	...
Observations (nombre)	929 162	929 162	929 162	929 162
R-carré ajusté	0,87	0,87	0,97	...

... n'ayant pas lieu de figurer

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par industrie. Les erreurs-types pour l'estimation de Levinsohn-Petrin sont produites par la méthode bootstrap avec 100 répétitions.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

S2 Résultats des régressions de l'emploi total selon l'industrie

La présente section expose les résultats de la spécification de l'emploi total pour l'échantillon du FMLCN (y compris les moindres carrés ordinaires) selon l'industrie. Dans l'ensemble, les résultats étaient conformes aux régressions de base originales, bien que l'échantillon beaucoup plus petit et une plus faible prévalence de l'adoption des robots aient dans certains cas réduit la puissance statistique.

Tableau A.2-1
Emploi total selon l'industrie — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8
Type de régression	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes						
Industrie	Automobile	Automobile	Pétrole et plastiques	Pétrole et plastiques	Minéraux et métaux	Minéraux et métaux	Fabrication de machines	Fabrication de machines
Variable dépendante	ln(nombre total d'employés)							

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Tableau A.2-2
Emploi total selon l'industrie — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8
In(total de l'actif)								
Coefficient	0,461 ***	0,148 ***	0,433 ***	0,205 ***	0,459 ***	0,257 ***	0,502 ***	0,301 ***
Erreur-type	0,026	0,040	0,010	0,029	0,008	0,019	0,010	0,030
Entreprise à unités multiples								
Coefficient	0,395 ***	0,064	0,416 ***	0,109 ***	0,329 ***	0,075 ***	0,297 ***	0,121 ***
Erreur-type	0,079	0,044	0,035	0,026	0,029	0,020	0,039	0,033
In(stock de capital robotique)								
Coefficient	0,021 ***	0,024 ***	0,035 ***	0,009 ***	0,017 ***	0,012 ***	0,019 ***	0,007 **
Erreur-type	0,008	0,005	0,005	0,003	0,005	0,003	0,003	0,003
Effets fixes d'industrie	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Effets fixes de province	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Observations (nombre)	6 655	6 655	21 997	21 997	50 750	50 750	23 981	23 981
R-carré ajusté	0,72	0,95	0,70	0,95	0,65	0,93	0,67	0,93

** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par entreprise.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Tableau A.3-1
Emploi total selon l'industrie — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8
Type de régression	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes
Industrie	Fabrication de produits informatiques et électroniques	Fabrication de produits informatiques et électroniques	Autres industries de la fabrication	Autres industries de la fabrication	Soins de santé	Soins de santé	Services de recherche scientifique	Services de recherche scientifique
Variable dépendante	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Tableau A.3-2
Emploi total selon l'industrie — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7	Modèle 8
ln(total de l'actif)								
Coefficient	0,445 ***	0,242 ***	0,415 ***	0,209 ***	0,201 ***	0,124 ***	0,355 ***	0,272 ***
Erreur-type	0,013	0,034	0,005	0,013	0,012	0,015	0,028	0,034
Entreprise à unités multiples								
Coefficient	0,408 ***	0,151 ***	0,517 ***	0,118 ***	0,982 ***	0,158	0,317 **	0,087
Erreur-type	0,059	0,039	0,022	0,019	0,129	0,112	0,150	0,220
ln(stock de capital robotique)								
Coefficient	0,026 ***	0,005	0,020 ***	0,002	0,061 ***	0,118 ***	0,028 **	0,018 *
Erreur-type	0,005	0,004	0,005	0,003	0,016	0,002	0,011	0,010
Effets fixes d'industrie	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Effets fixes de province	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Observations (nombre)	13 371	13 371	103 673	103 673	12 165	12 165	1 829	1 829
R-carré ajusté	0,67	0,93	0,63	0,93	0,41	0,92	0,53	0,93

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par entreprise.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Tableau A.4-1
Emploi total selon l'industrie — spécifications des modèles

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
Type de régression	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes	Moindres carrés ordinaires	Effets fixes
Industrie	Services administratifs, de soutien, de gestion des déchets	Services administratifs, de soutien, de gestion des déchets	Autres services	Autres services
Variable dépendante	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)	ln(nombre total d'employés)

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Tableau A.4-2
Emploi total selon l'industrie — résultats des régressions

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
ln(total de l'actif)				
Coefficient	0,284 ***	0,194 ***	0,328 ***	0,172 ***
Erreur-type	0,008	0,016	0,002	0,004
Entreprise à unités multiples				
Coefficient	0,753 ***	0,095 **	0,527 ***	0,150 ***
Erreur-type	0,061	0,047	0,010	0,008
ln(stock de capital robotique)				
Coefficient	0,027 *	0,018 **	0,027 ***	0,003
Erreur-type	0,014	0,007	0,006	0,005
Effets fixes d'industrie	Oui	Non	Oui	Non
Effets fixes de province	Oui	Non	Oui	Non
Effets fixes d'année	Oui	Oui	Oui	Oui
Effets fixes d'organisation	Non	Oui	Non	Oui
Observations (nombre)	38 184	38 184	656 557	656 557
R-carré ajusté	0,39	0,91	0,47	0,91

* valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,01$)

*** valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,001$)

Note : Les stocks de robots sont calculés en fonction de la durée de vie utile de 12 ans suggérée par la Fédération internationale de robotique. Les erreurs-types sont regroupées par entreprise.

Sources : Statistique Canada, base de données Robots! (données sur les importations) et Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux.

Bibliographie

Acemoglu, D., P. Aghion, C. Lelarge, J. Van Reenen et F. Zilibotti. 2007. « Technology, information, and the decentralization of the firm ». *The Quarterly Journal of Economics* 122 (4) : 1759 à 1799.

Acemoglu, D., et P. Restrepo. 2018. *Artificial Intelligence, Automation and Work*. NBER Working Paper Series, n° 24196. Cambridge, Massachusetts : National Bureau of Economic Research.

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

Agrawal, A., J. Gans et A. Goldfarb. 2018. *Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence*. Boston : Harvard Business School Press.

Aral, S., E. Brynjolfsson et L. Wu. 2012. « Three-way complementarities: Performance pay, human resource analytics, and information technology ». *Management Science* 58 (5) : 913 à 931.

Arntz, M., T. Gregory et U. Zierahn. 2016. *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries*. Documents de travail de l'OCDE sur les questions sociales, l'emploi et les migrations, n° 189. Paris : Éditions OCDE.

Autor, D.H., L.F. Katz et M.S. Kearney. 2006. « The polarization of the US labor market ». *American Economic Review* 96 (2) : 189 à 194.

Autor, D.H., F. Levy et R.J. Murnane. 2003. « The skill content of recent technological change: An empirical exploration ». *The Quarterly Journal of Economics* 118 (4) : 1279 à 1333.

Autor, D.H., et A. Salomons. 2017. *Robocalypse Now: Does Productivity Growth Threaten Employment?* Article présenté à l'occasion de la Conférence sur l'intelligence artificielle du National Bureau of Economic Research. Toronto, 13 et 14 septembre 2017.

Autor, D.H., et A. Salomons. 2018. *Is Automation Labor-displacing? Productivity Growth, Employment, and the Labor Share*. NBER Working Paper Series, n° 24871. Cambridge, Massachusetts : National Bureau of Economic Research.

Bell, G.D. 1967. « Determinants of span of control ». *American Journal of Sociology* 73 (1) : 100 à 109.

Bepko, R.J., Jr., J.R. Moore et J.R. Coleman. 2009. « Implementation of a pharmacy automation system (robotics) to ensure medication safety at Norwalk hospital ». *Quality Management in Healthcare* 18 (2) : 103 à 114.

Bessen, J.E., M. Goos, A. Salomons et W. Van den Berge. 2019. *Automatic Reaction—What Happens to Workers at Firms that Automate?* Boston University School of Law, Law and Economics Research Paper.

Bidwell, M. J. 2013. « What happened to long-term employment? The role of worker power and environmental turbulence in explaining declines in worker tenure ». *Organization Science* 24 (4) : 1061 à 1082.

Bloom, N., L. Garicano, R. Sadun et J. Van Reenen. 2014. « The distinct effects of information technology and communication technology on firm organization ». *Management Science* 60 (12) : 2859 à 2885.

Bresnahan, T.F., E. Brynjolfsson et L.M. Hitt. 2002. « Information technology, workplace organization, and the demand for skilled labor: Firm-level evidence ». *The Quarterly Journal of Economics* 117 (1) : 339 à 376.

Bresnahan, T.F., et M. Trajtenberg. 1995. « General purpose technologies 'Engines of growth'? » *Journal of Econometrics* 65 (1) : 83 à 108.

Brynjolfsson, E., et L.M. Hitt. 1996. « Paradox lost? Firm-level evidence on the returns to information systems spending ». *Management Science* 42 (4) : 541 à 558.

Brynjolfsson, E., L.M. Hitt et S. Yang. 2002. « Intangible assets: Computers and organizational capital ». *Brookings Papers on Economic Activity* 2002 (1) : 137 à 181.

Brynjolfsson, E., et A. McAfee. 2014. *The Second Machine Age: Work Progress and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York : W.W. Norton & Company.

Brynjolfsson, E., et T. Mitchell. 2017. « What can machine learning do? Workforce implications ». *Science* 358 (6370) : 1530 à 1534.

Brynjolfsson, E., D. Rock et C. Syverson. 2018. *Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics*. NBER Working Papers Series, n° 24001. Cambridge, Massachusetts : National Bureau of Economic Research.

Buffington, C., J. Miranda et R. Seamans. 2018. *Development of Survey Questions on Robotics Expenditures and Use in US Manufacturing Establishments*. Working Paper 18-44, Center for Economic Studies, U.S. Census Bureau.

Card, D., et J.E. DiNardo. 2002. « Skill-biased technological change and rising wage inequality: Some problems and puzzles ». *Journal of Labor Economics* 20 (4) : 733 à 783.

Cockburn, I.M., R. Henderson et S. Stern. 2018. *The Impact of Artificial Intelligence on Innovation*. NBER Working Paper Series, n° 24449. Cambridge, Massachusetts : National Bureau of Economic Research.

Dauth, W., S. Findeisen, J. Südekum et N. Woessner. 2017. *German robots-the impact of industrial robots on workers*. IAB-Discussion Paper, n° 30/2017. Nürnberg, Allemagne : Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB).

David, H., et D. Dorn. 2013. « The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market ». *American Economic Review* 103 (5) : 1553 à 1597.

Dickens, W.T., L.F. Katz, K. Lang et L.H. Summers. 1989. « Employee crime and the monitoring puzzle ». *Journal of Labor Economics* 7 (3) : 331 à 347.

Dickens, W.T., L.F. Katz, K. Lang et L.H. Summers. 1990. « Why do firms monitor workers? » Dans *Advances in the Theory and Measurement of Unemployment*, publié sous la direction de Y. Weiss et G. Fishelson, chapitre 6, p. 159 à 171. Londres : Palgrave Macmillan.

Dinlersoz, E., et Z. Wolf. 2018. *Automation, Labor Share, and Productivity: Plant-Level Evidence from US Manufacturing*. Working Paper 18-39, Center for Economic Studies, U.S. Census Bureau.

Dixon, J. 2020. *La création d'une base de données Robots! Études analytiques : méthodes et références*, n° 028. Produit n° 11-633-X au catalogue de Statistique Canada. Ottawa : Statistique Canada.

Dustmann, C., J. Ludsteck et U. Schönberg. 2009. « Revisiting the German wage structure ». *The Quarterly Journal of Economics* 124 (2) : 843 à 881.

Eisenhardt, K.M. 1989. « Agency theory: An assessment and review ». *Academy of Management Review* 14 (1) : 57 à 74.

Felten, E., M. Raj et R. Seamans. 2019. *The Occupational Impact of Artificial Intelligence: Labor, Skills, and Polarization*. New York : NYU Stern School of Business.

Ford, M. 2015. *Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future*. New York : Basic Books.

Frank, M.R., D. Autor, J.E. Bessen, E. Brynjolfsson, M. Cebrian, D.J. Deming, M. Feldman, M. Groh, J. Lobo et E. Moro. 2019. « Toward understanding the impact of artificial intelligence on labor ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (14) : 6531 à 6539.

Frey, C.B., et M.A. Osborne. 2017. « The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? » *Technological Forecasting and Social Change* 114 : 254 à 280.

Gombolay, M., X.J. Yang, B. Hayes, N. Seo, Z. Liu, S. Wadhwan, T. Yu, N. Shah, T. Golen et J. Shah. 2018. « Robotic assistance in the coordination of patient care ». *The International Journal of Robotics Research* 37 (10) : 1300 à 1316.

Graetz, G., et G. Michaels. 2018. « Robots at work ». *Review of Economics and Statistics* 100 (5) : 753 à 768.

Hales, C. 1986. « What do managers do? A critical review of the evidence ». *Journal of Management Studies* 23 (1) : 88 à 115.

Hales, C. 1999. « Why do managers do what they do? Reconciling evidence and theory in accounts of managerial work ». *British Journal of Management* 10 (4) : 335 à 350.

Hammer, M. 1990. « Reengineering work: Don't automate, obliterate ». *Harvard Business Review* 68 (4) : 104 à 112.

Hawkins, A.J. 2018. « Tesla relied on too many robots to build the Model 3, Elon Musk says ». *THE VERGE*, 13 avril 2018. Disponible au lien suivant : <https://www.theverge.com/2018/4/13/17234296/tesla-model-3-robots-production-hell-elon-musk>.

Helper, S., J.P. MacDuffie et C. Sabel. 2000. « Pragmatic collaborations: Advancing knowledge while controlling opportunism ». *Industrial and Corporate Change* 9 (3) : 443 à 488.

Helper, S., et R. Henderson. 2014. « Management practices, relational contracts, and the decline of General Motors ». *Journal of Economic Perspectives* 28 (1) : 49 à 72.

Hong, B., L. Kueng et M.J. Yang. 2019. « Complementarity of performance pay and task allocation ». *Management Science* 65 (11) : 5152 à 5170.

Huselid, M.A., et B.E. Becker. 1997. « The impact of high performance work systems, implementation effectiveness, and alignment with strategy on shareholder wealth ». Dans *Academy of Management Proceedings*, publié sous la direction de G. Atinc, vol. 1997, n° 1, p. 144 à 148. Briarcliff Manor, New York : Academy of Management.

Iacus, S.M., G. King et G. Porro. 2012. « Causal inference without balance checking: Coarsened exact matching ». *Political analysis* 20 (1) : 1 à 24.

Ichniowski, C., K. Shaw et G. Prennushi. 1997. « The effects of human resource practices on manufacturing performance: A study of steel finishing lines ». *American Economic Review* 87 (3) : 291 à 313.

Jensen, M.C., et W.H. Meckling. 1976. « Agency costs and the theory of the firm ». *Journal of Financial Economics* 3 (4) : 305 à 360.

Kenny, M., et R. Florida. 1993. *Beyond Mass Production: The Japanese System and its Transfer to the US*. New York : Oxford University Press.

Koch, M., I. Manuylov et M. Smolka. 2019. *Robots and Firms*. CESifo Working Paper, n° 7608. Munich, Allemagne : CESifo.

Kolbjørnsrud, V., R. Amico et R.J. Thomas. 2016. « How artificial intelligence will redefine management ». *Harvard Business Review* 2 : 1 à 6.

MacDuffie, J.P. 1997. « The road to 'root cause': Shop-floor problem-solving at three auto assembly plants ». *Management Science* 43 (4) : 479 à 502.

Malone, T.W. 2003. « Is empowerment just a fad? Control, decision making, and IT ». Dans *Inventing the Organizations of the 21st Century*, publié sous la direction de T.W. Malone, R. Laubacher et M.S. Scott Morton, chapitre 3, p. 49 à 69. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press.

Malone, T.W. 2004. *The Future of Work: How the New Order of Business Will Shape Your Organization, Your Management Style and Your Life*. AudioTech Business Book Summaries, Incorporated. Oak Brook, Illinois : AudioTech, Inc.

Mann, K., et L. Püttmann. 2017. « Benign Effects of Automation: New Evidence from Patent Texts ». Manuscrit non publié.

Manyika, J., M. Chui, M. Miremadi, J. Bughin, K. George, P. Willmott et M. Dewhurst. 2017. *A Future that Works: Automation, Employment, and Productivity*. McKinsey Global Institute. Sans lieu : McKinsey and Company.

McAfee, A., et E. Brynjolfsson. 2017. *Machine, Platform, Crowd: Harnessing our Digital Future*. New York : W.W. Norton & Company.

Meyer, M.W. 1968. « Expertness and the span of control ». *American Sociological Review* 33 (6) : 944 à 951.

Mintzberg, H. 1973. *The Nature of Managerial Work*. New York : Harper & Row.

Mintzberg, H. 1980. « Structure in 5's: A synthesis of the research on organization design ». *Management Science* 26 (3) : 322 à 341.

Mintzberg, H. 2013. *Simply Managing: What Managers Do—And Can Do Better*. San Francisco : Berrett-Koehler Publishers.

Murnane, R.J., F. Levy et D. Autor. 1999. *Technical Change, Computers and Skill Demands: Evidence from the Back Office Operations of a Large Bank*. Manuscrit.

Parker, M., et J. Slaughter. 1988. « Management by stress ». *Technology Review* 91 (7) : 37 à 44.

Perrow, C. 1967. « A framework for the comparative analysis of organizations ». *American Sociological Review* 32 (2) : 194 à 208.

Puranam, P., O. Alexy et M. Reitzig. 2014. « What's "new" about new forms of organizing? » *Academy of Management Review* 39 (2) : 162 à 180.

Raj, M., et R. Seamans. 2019. « Primer on artificial intelligence and robotics ». *Journal of Organization Design* 8 (1) : 1 à 14.

Scott, E.D., K.C. O'Shaughnessy et P. Cappelli. 1994. *Management Jobs in the Insurance Industry: Organizational Deskilling and Rising Pay Inequity*. Wharton Financial Institutions Center, Wharton School de l'Université de Pennsylvanie.

Scully, M.A. 2000. « Manage your own employability: Meritocracy and the legitimation of inequality in internal labor markets and beyond ». *Relational Wealth: The Advantages of Stability in a Changing Economy*. Publié sous la direction de C.R. Leana et D.M. Rousseau, chapitre 11, p. 199 à 214. Oxford : Oxford University Press.

Simon, H.A. 1946. « The proverbs of administration ». *Public administration review* 6 (1) : 53 à 67.

Syverson, C. 2004. « Product substitutability and productivity dispersion ». *Review of Economics and Statistics* 86 (2) : 534 à 550.

Taylor, F.W. 1911. *Shop Management*. Sans lieu : Harber & Bothers.

Verl, A. 2019. *Managing Mass Customisation with Software-defined Manufacturing*. Stuttgart, Allemagne : Fédération internationale de robotique, Université de Stuttgart.

Wu, L. 2013. « Social network effects on productivity and job security: Evidence from the adoption of a social networking tool ». *Information Systems Research* 24 (1) : 30 à 51.

Zammuto, R.F., T.L. Griffith, A. Majchrzak, D.J. Dougherty et S. Faraj. 2007. « Information technology and the changing fabric of organization ». *Organization Science* 18 (5) : 749 à 762.