

# La numérisation dans le secteur canadien de la fabrication de pointe : évolution des emplois et des compétences

FÉVRIER 2024





## À propos du programme Parés pour le future

Parés pour le futur est un programme de 19 millions de dollars financé en partie par le Programme de solutions pour la main-d'œuvre sectorielle d'Emploi et Développement social Canada qui vise à aider les entreprises à intégrer une main-d'œuvre nouvelle et diversifiée dans l'industrie manufacturière canadienne. L'initiative aidera également les fabricants canadiens à cerner leurs lacunes en matière de compétences essentielles afin de soutenir la rentabilité et la croissance futures de leur organisation grâce au programme de leadership en transformation de NGen, qui jouit d'une excellente réputation. Avec ces approches, le programme vise à fournir des solutions axées sur la demande pour le secteur manufacturier, l'une des industries les plus durement touchées par la pandémie et un élément clé de la reprise de l'économie canadienne.

Ce projet est financé en partie par le Programme de solutions pour la main-d'œuvre sectorielle du gouvernement du Canada.



# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>Technologies de l'industrie 4.0</b> .....	<b>7</b>
<b>Domaines de la fabrication touchés par l'industrie 4.0</b> .....	<b>10</b>
Décarbonation : .....	10
Automatisation : .....	10
Chaîne d'approvisionnement : .....	11
Expérience client : .....	11
Développement et personnalisation de produits : .....	12
Main-d'œuvre : .....	12
<b>Effets des systèmes de l'I4.0 sur les professions</b> .....	<b>13</b>
Méthodologie .....	14
Résultats .....	16
<b>Discussion : Automatisation et compétences professionnelles</b> .....	<b>22</b>
<b>Obstacles à l'adoption de l'industrie 4.0 dans les secteurs manufacturiers canadiens</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe A</b> .....	<b>28</b>
<b>Annexe B</b> .....	<b>32</b>
<b>Annexe C</b> .....	<b>40</b>
<b>Annexe D</b> .....	<b>41</b>
<b>Références</b> .....	<b>51</b>



## Introduction

Au début des années 1970, l'évolution de la technologie informatique, l'arrivée des automates programmables et les premières automatisations ont ouvert la voie à ce que l'on appelle la troisième révolution industrielle dans le secteur manufacturier. Ces technologies ont également jeté les bases de la quatrième révolution industrielle, communément appelée l'industrie 4.0 (I4.0). L'I4.0 est en train de transformer l'industrie manufacturière grâce à la numérisation et à l'interconnectivité entre plusieurs parties de la chaîne d'approvisionnement, des ateliers de production aux bureaux administratifs. Les technologies clés à l'origine de cette transformation comprennent la robotique autonome, l'analyse avancée des données, l'intelligence artificielle (IA) et l'utilisation de capteurs intelligents. Ces innovations ne changent pas seulement la façon dont les produits sont conçus, fabriqués et consommés, mais aussi la façon dont ils sont entretenus et accessibles par les consommateurs. L'I4.0 améliore également la transparence tout au long de la chaîne d'approvisionnement en intégrant et en connectant les fournisseurs, les fabricants, les clients et le produit lui-même au sein de son écosystème<sup>1</sup>.

L'I4.0 combine à la fois les technologies mécaniques et numériques pour améliorer le flux des opérations dans la fabrication. Elle utilise des technologies de pointe et l'IA pour assurer une prise de décision basée sur les données en temps réel afin d'optimiser la production et d'améliorer la satisfaction des

clients. À l'instar des grands changements technologiques industriels précédents, la numérisation et l'automatisation qui accompagnent l'I4.0 ont le potentiel d'accroître la productivité, de modifier les compétences et les besoins en fait de main-d'œuvre, d'améliorer la qualité des biens et de réduire les coûts. À une époque où les fabricants doivent être en mesure de s'adapter rapidement aux changements et aux perturbations du marché, et d'être concurrentiels à l'échelle régionale et mondiale, ces technologies émergentes peuvent accroître l'efficacité opérationnelle et favoriser la personnalisation des produits.

Le secteur manufacturier du Canada a toujours été une source importante de croissance économique et d'emplois à l'échelle nationale. En 2021, le secteur représentait plus de 10 % du produit intérieur brut (PIB) du Canada<sup>2</sup>. Au cours des deux dernières décennies, l'industrie manufacturière a dû faire face à d'importants défis économiques en raison d'événements tels que la crise financière mondiale de 2008-2009 et la pandémie de COVID-19. Tout au long de ces périodes difficiles, les fabricants se sont efforcés de s'adapter à l'évolution de la conjoncture économique et du marché du travail. Plus récemment, la pandémie de COVID-19 a entraîné des perturbations de la chaîne d'approvisionnement, poussant les fabricants à innover afin de poursuivre leurs opérations malgré des conditions difficiles et la concurrence mondiale. En plus de tous ces enjeux, le secteur est également aux prises



avec une grave pénurie de main-d'œuvre causée par le vieillissement de la population et le départ à la retraite de travailleurs qualifiés. Ce manque de personnel nuit à la capacité de l'industrie manufacturière de fonctionner et de demeurer concurrentielle. Par conséquent, les fabricants canadiens devront faire preuve de prévoyance et anticiper leurs besoins futurs en matière d'emploi à mesure qu'ils adapteront leurs activités aux nouvelles technologies et à l'évolution des compétences qui en résulte<sup>3</sup>.

Au Canada, l'adoption des technologies émergentes par les fabricants a été plus lente que dans de nombreuses autres parties du monde<sup>4</sup>. Un sondage mené auprès de l'industrie en 2017 a révélé que seulement 3 % des entreprises canadiennes ont entièrement mis en œuvre des projets de l'I4.0, et que 36 % d'entre elles sont en cours de processus<sup>1,5</sup>. D'autres pays sont à l'avant-garde de la technologie numérique dans la production, ce qui leur permet de devancer de loin d'autres fabricants moins avancés dans le monde. Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), la formation brute de capital fixe (FBCF)<sup>6</sup> au Canada n'a augmenté que de 6 % entre 2017 et 2022, ce qui est nettement inférieur à la moyenne de 24,6 % de l'OCDE. Au cours de la même période, la FBCF a augmenté de 26 % aux États-Unis et de 30 % dans l'Union européenne<sup>5</sup>. Les entreprises qui ont investi dans la mise en œuvre des technologies de l'I4.0 constatent des améliorations opérationnelles et de productivité dans l'ensemble de leur organisation. Dans une enquête menée par la firme McKinsey & Company, les entreprises ont déclaré qu'il était essentiel de procéder à

leur transformation numérique pour améliorer leur efficacité et réagir aux perturbations. À titre d'exemple, Infineon, un fabricant de semi-conducteurs de Singapour, a augmenté l'efficacité de son personnel de 50 % grâce à l'analytique avancée<sup>7</sup>.

Au fur et à mesure que les technologies de l'I4.0 transforment les opérations de fabrication, elles entraînent des changements considérables dans la nature des emplois manufacturiers, le flux et le type de tâches, ainsi que les compétences requises, car le virage vers la numérisation et l'automatisation des machines modifie la façon dont le travail est effectué. Les implications de ce virage sont multiples. D'une part, il existe une demande croissante de compétences techniques avancées, telles que la programmation, l'analyse des systèmes et le dépannage technologique, pour gérer et entretenir des machines et des systèmes de données sophistiqués. L'intégration de ces technologies exige des compétences cognitives de haut niveau, notamment la pensée critique, la créativité et la résolution de problèmes, pour exploiter pleinement le potentiel de l'I4.0. D'autre part, ces technologies peuvent avoir une incidence importante sur les professions à forte intensité de main-d'œuvre, en modifiant la nature de leurs tâches ou, dans certains cas, en conduisant à l'élimination partielle ou totale de certaines d'entre elles.

Ce rapport se penche sur les technologies de base de l'I4.0 qui transforment les opérations de fabrication. Il met en évidence les domaines du secteur manufacturier qui sont les plus touchés par ces avancées technologiques, tels que la chaîne de



production, la gestion de la chaîne d'approvisionnement et le développement de produits. Le rapport explore ensuite l'évolution des tâches et des exigences en matière de compétences découlant de cette adoption pour certaines professions manufacturières. Avec ses analyses des tendances actuelles et ses projections des avancées futures, le rapport vise à fournir des informations sur la façon de préparer la main-d'œuvre aux exigences changeantes d'un environnement de fabrication de pointe. À travers cette exploration, le rapport présente non seulement les défis posés par ces nouvelles technologies, mais aussi les occasions qu'elles présentent pour l'innovation, la création d'emplois et le perfectionnement de la main-d'œuvre.



## Technologies de l'industrie 4.0

L'I4.0 est caractérisée par la numérisation et l'automatisation des systèmes de production. Dans ce contexte, les systèmes de production sont conçus pour détecter et prédire l'environnement physique ainsi qu'interagir avec lui afin de prendre des décisions concernant la production, la maintenance et l'optimisation des processus<sup>8</sup>. Le passage à l'automatisation et à l'échange de données implique la collecte et le traitement des données en temps réel. Ces dernières permettent ensuite de prendre des décisions autonomes visant à optimiser le processus de production et à améliorer la satisfaction des clients. Les technologies associées à l'I4.0 sont à la fois physiques et numériques. Pour les technologies physiques, il peut s'agir de robots autonomes, de capteurs intelligents et de microprocesseurs. Les technologies numériques comprennent l'analyse de données, l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) et l'informatique en nuage. En intégrant les technologies physiques et numériques, les entreprises peuvent collecter et utiliser des données en temps réel provenant de diverses sources pour gérer et améliorer les opérations et les processus de fabrication<sup>9</sup>.

Pour évaluer les retombées des technologies de l'I4.0 sur les opérations de fabrication, il est essentiel de comprendre d'abord les technologies émergentes de numérisation et d'automatisation. La compréhension de ces technologies est cruciale pour déterminer les changements qu'elles apporteront aux

tâches et aux compétences requises dans les professions manufacturières et la façon dont elles s'intègrent dans le processus de production. L'I4.0 englobe une gamme de technologies et de systèmes qui permettent l'interconnexion entre le paysage de la fabrication physique et numérique. Les technologies présentées dans cette section sont le plus souvent associées aux systèmes de l'I4.0 et sont considérées comme ayant eu une incidence considérable dans le secteur manufacturier.

1. **Intelligence artificielle** : L'intelligence artificielle (IA) permet aux machines d'apprendre à partir des données et de s'améliorer au fil du temps, et ainsi d'exécuter des tâches et de prendre des décisions basées sur un système semblable à l'intelligence et au raisonnement humains. L'IA est particulièrement avantageuse dans l'industrie manufacturière pour la rapidité et la précision de ses prises de décision, ce qui est crucial pour les prévisions, l'analyse des valeurs aberrantes et l'amélioration de l'efficacité, notamment en matière de maintenance prédictive et de gestion des stocks<sup>10</sup>.
2. **Capteurs intelligents** : Les capteurs intelligents sont des composants électroniques avancés qui transforment les données matérielles en signaux numériques, permettant un traitement et une analyse sur place pour une prise de décision immédiate. Contrairement aux capteurs de base, ils intègrent des



capteurs numériques, des processeurs et des technologies de communication pour relayer des informations exploitables, améliorer la visibilité de la chaîne d'approvisionnement et optimiser la production et la distribution<sup>11, 12</sup>.

3. **Internet des objets** : L'Internet des objets (IdO) connecte divers appareils sur Internet, facilitant l'interaction et la prise de décision décentralisée en temps réel grâce à l'informatique intégrée. Dans le secteur de la fabrication, l'IdO stimule la productivité en exploitant les données de production, en facilitant la maintenance prédictive et en intégrant les commentaires des clients dans la conception, améliorant ainsi l'expérience client<sup>1, 13</sup>.
4. **Mégadonnées et analytique** : La numérisation relative à l'I4.0 permet l'accumulation et la gestion de grands ensembles de données tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Les mégadonnées et l'analytique impliquent l'analyse de ces vastes ensembles de données pour découvrir des modèles et des informations, améliorant ainsi la détection des erreurs, la qualité de la production et l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement. Le partage des données entre les entreprises permet d'affiner davantage les algorithmes d'IA et de garantir le rendement optimal des applications basées sur les données<sup>1, 14, 15</sup>.
5. **Cybersécurité** : La transformation numérique dans l'industrie manufacturière comporte un risque de cybermenaces, qui peuvent endommager les systèmes et les produits et mettre en

péril des données importantes. La cybersécurité protège les systèmes contre ces menaces. Dans le secteur de la fabrication, la cybersécurité s'étend à la technologie opérationnelle, qui est essentielle à la sécurité des usines et des produits. L'augmentation des menaces nécessite une détection d'intrusion en temps réel et requiert souvent une assistance externe pour intervenir en cas d'incident<sup>16, 17</sup>.

6. **Robotique autonome** : Dans le secteur manufacturier, les robots sont de plus en plus habiles et collaboratifs. Équipés de capteurs intelligents et d'un accès aux capacités de l'IA, ces robots sont en mesure de prendre des décisions autonomes et d'apprendre de leur environnement, améliorant ainsi l'efficacité, la précision et la sécurité. En assistant les humains, ils réduisent le besoin de travail manuel et le risque de blessures. Dans certains cas, les tâches peuvent être entièrement automatisées, ce qui entraîne une augmentation de la productivité<sup>17, 18, 19</sup>.
7. **Informatique en nuage** : L'informatique en nuage centralise la gestion des données et les services pour la fabrication, la rationalisation des processus et l'intégration de la chaîne d'approvisionnement. Son plein potentiel commercial, au-delà de la technologie et de la sécurité, reste largement inexploité. L'adoption de l'informatique en nuage facilite la mise à l'échelle, l'IdO et les opérations améliorées par l'IA grâce à des modèles de service variés<sup>20, 21, 22</sup>.
8. **Simulation** : La modélisation de simulation rationalise la conception et les





tests, ce qui permet de réaliser des économies et d'optimiser les processus de fabrication. Elle permet de repérer les goulots d'étranglement et d'optimiser le travail de la main-d'œuvre. Malgré les défis liés au temps et à l'expertise nécessaires pour concevoir des modèles valides, les simulations améliorent considérablement le rendement et accélèrent le lancement de nouveaux produits<sup>23, 24</sup>.

9. **Réalité virtuelle et réalité augmentée :** Les images 2D et 3D tirées de la réalité augmentée sur des appareils tels que les tablettes et les visiocasques améliorent la production en fournissant des données et des instructions en temps réel aux travailleurs. Cette technologie est

essentielle pour les domaines qui n'ont pas droit à l'erreur tels que l'industrie automobile et l'aéronautique, car elle améliore la productivité, la précision et la qualité de la prise de décision<sup>25, 26</sup>.

10. **Fabrication additive :** Les procédés de fabrication assistée par ordinateur (FAO) créent des pièces ou des composants en ajoutant des couches de matériaux. Une méthode courante est l'impression 3D, qui présente des avantages dans la production de petits lots, ainsi que dans le prototypage et les produits personnalisés. En tant que méthode efficace et rentable, la fabrication additive est utilisée dans de nombreux contextes industriels<sup>1</sup>.



## Domaines de la fabrication touchés par l'industrie 4.0

La liste des technologies les plus couramment associées à l'I4.0 donne un aperçu des principaux types de technologies actuellement utilisées par les fabricants et de celles qui devraient se répandre dans le secteur. Ces technologies aident les fabricants à rester à l'avant-garde en matière de processus de production tout en améliorant le produit, l'expérience client et les gains économiques. Cette section présente certains des principaux domaines de la production sur lesquels l'I4.0 peut avoir une incidence.

### Décarbonation :

Les technologies de pointe peuvent aider les fabricants canadiens à atteindre leurs objectifs nationaux de décarbonation. Combinées, toutes les technologies de l'I4.0 contribuent à une plus grande précision et à une meilleure efficacité des processus. Par exemple, la fabrication additive peut accroître la durabilité en améliorant la qualité, en préservant les ressources et en augmentant l'efficacité, car elle réduit les déchets et permet la personnalisation. Les simulations, l'analyse de mégadonnées et l'IA optimisent l'efficacité de la production et réduisent la consommation d'énergie en prédisant les résultats de la production et en détectant les défauts. L'IdO fait le pont entre les technologies opérationnelles et de

l'information, améliorant la qualité et la gestion des stocks, tandis que l'informatique en nuage alimente l'apprentissage automatique et l'IA, permettant une fabrication dynamique et adaptée au marché. Enfin, l'utilisation de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée pour la formation réduit les erreurs et le temps d'assemblage, améliorant ainsi l'efficacité énergétique. Dans l'ensemble, ces technologies de pointe de l'I4.0 améliorent l'efficacité, la qualité et la durabilité, jouant un rôle crucial pour orienter les fabricants vers la réalisation des objectifs de décarbonation tout en maintenant des systèmes de production concurrentiels et adaptables<sup>19, 26</sup>.

### Automatisation :

Les technologies de l'I4.0 dans le domaine de l'automatisation, notamment la robotique autonome, les capteurs intelligents et l'IA, transforment la production en améliorant la personnalisation, en augmentant la vitesse et la précision, et en réduisant les coûts de main-d'œuvre et les erreurs. L'automatisation flexible utilise des robots intelligents pour gérer des tâches de plus en plus complexes, réduisant ainsi le travail physique requis tout en augmentant à la fois la vitesse et la précision. La possibilité d'effectuer des ajustements en temps réel dans la production est cruciale pour les activités manufacturières modernes, car elle réduit au



minimum les temps d'arrêt et accélère la production de produits personnalisés. L'IA et l'apprentissage automatique, qui analysent les données pour prendre des décisions stratégiques et optimiser le rendement, sont au cœur de cette démarche. À une époque où les marchés exigent une évolutivité rapide, l'automatisation basée sur l'I4.0 non seulement soutient la croissance, mais maintient également la qualité et allège la pression sur la main-d'œuvre, signalant une transition de l'automatisation traditionnelle vers un modèle plus adaptatif et économiquement avantageux<sup>20, 27, 28</sup>.

### Chaîne d'approvisionnement :

Sur un marché mondialisé, les chaînes d'approvisionnement souples dotées des technologies de l'I4.0 améliorent la connectivité, la réactivité et la coordination, des matières premières à la livraison, garantissant ainsi la qualité et la satisfaction de la demande. En alignant les services à la clientèle, les services intermédiaires et les services administratifs, les fabricants sont en mesure de répondre aux demandes du marché avec efficacité et précision.

L'emballage, la personnalisation et l'expérience globale favorisent désormais la fidélisation de la clientèle, ce qui oblige les entreprises à mesurer la perception des clients au moyen d'une interaction directe entre le client et la production ainsi que sur les médias sociaux pour assurer leur authenticité. L'alignement de tous les aspects de l'entreprise sur les promesses faites aux clients permet d'équilibrer les attentes et la rentabilité. L'I4.0 numérise la gestion de la chaîne d'approvisionnement à l'aide de données et d'analyses de données en temps réel pour la planification avancée, et

d'analyses prédictives pour des prévisions précises et une production adaptable. L'I4.0 crée un système de gestion de la chaîne d'approvisionnement transparent, adaptable, dynamique et capable de répondre aux demandes des marchés actuels et futurs<sup>29</sup>.

### Expérience client :

Les clients n'attendent plus simplement à se procurer un produit; ils sont intéressés et attirés par les entreprises qui offrent une expérience. Les technologies de l'I4.0 permettent de répondre efficacement aux requêtes, de personnaliser les produits et de prédire des tendances. À l'aide de l'analyse de mégadonnées, les préférences des clients sont recueillies à partir des achats en ligne pour guider la mise à l'échelle de la production basée sur l'IA, l'IdO et l'apprentissage automatique, garantissant ainsi que les produits demandés restent facilement accessibles. L'automatisation numérique et l'IA traitent les interactions avec les clients, transformant les commentaires en informations exploitables. La réalité virtuelle et la réalité augmentée peuvent également créer des mises à l'essai de produits virtuelles et offrir des expériences immersives et interactives qui permettent aux clients d'interagir avec les produits dans un environnement simulé afin de favoriser leur confiance et la transparence des produits. Les progrès de l'IdO permettent également de détecter les défauts potentiels des produits dès le début du cycle de production<sup>30</sup>.



## Développement et personnalisation de produits :

L'évolution du paysage de l'I4.0 améliore considérablement le développement et la personnalisation des produits. Alors que la demande des consommateurs s'oriente vers des produits personnalisés et une livraison accélérée, le rôle des chaînes d'approvisionnement souples et des techniques de fabrication de pointe devient crucial. L'une des technologies clés de ce changement est la fabrication additive, qui facilite la création de produits tels que des implants médicaux sur mesure. Cette intégration des technologies opérationnelles et de l'information permet d'offrir des solutions plus complexes et spécifiques au client<sup>9</sup>.

## Main-d'œuvre :

Au fur et à mesure que certaines parties du processus de fabrication deviennent de plus en plus numérisées et automatisées, de nombreux emplois existants changeront alors que les tâches associées seront modifiées ou, dans certains cas, éliminées. La

demande relative à des professions hautement qualifiées découlera de la nécessité de soutenir et d'entretenir les nouvelles technologies incorporées dans les processus de fabrication. De nouvelles compétences professionnelles peuvent être requises pour effectuer certaines tâches et nécessiteront une requalification et un perfectionnement de la main-d'œuvre existante. L'accent mis sur les travailleurs hautement qualifiés peut potentiellement entraîner des hausses de salaire pour ceux qui possèdent les compétences requises. L'abandon des emplois physiques exigeants peut également ouvrir le secteur manufacturier à une main-d'œuvre plus diversifiée, ce qui obligera les entreprises à assurer l'équité et l'inclusion dans leur milieu de travail. L'introduction de la robotique de pointe, de l'IA et de l'analyse de données permettra également d'accroître la sécurité et de réduire les risques sur le lieu de travail<sup>3,4</sup>.



## Effets des systèmes de l'I4.0 sur les professions

Tous les avantages et bénéfices offerts par les technologies de l'I4.0 laissent présager un avenir prometteur pour le secteur manufacturier canadien. Cependant, ces changements dans les processus de production auront également des répercussions sur la main-d'œuvre. De nombreuses professions actuelles s'adapteront pour inclure l'utilisation des nouvelles technologies. La production nécessitera également des travailleurs hautement qualifiés ayant reçu une formation pour exploiter et entretenir les technologies de pointe de l'I4.0. Afin d'effectuer une transition en douceur vers l'utilisation des nouvelles technologies, il est essentiel de comprendre les effets potentiels sur la main-d'œuvre et de se préparer à l'évolution des demandes relatives aux travailleurs. D'une part, malgré la pénurie actuelle de main-d'œuvre dans le secteur manufacturier, on craint souvent que l'automatisation et la numérisation accrues entraînent d'importantes pertes d'emplois, car certaines professions pourraient devenir entièrement automatisées et entraîner l'élimination d'emplois<sup>31</sup>. D'un autre côté, une perspective plus optimiste est que peu d'emplois seront perdus, mais que les activités professionnelles évolueront, avec des répercussions variables selon les professions. Ces variations sont mises en évidence par deux études fréquemment citées sur l'avenir de l'automatisation des professions (voir la figure 1, la figure 2 et

l'annexe A). Frey et Osborne ont analysé la probabilité que différentes professions soient automatisées à l'avenir, suggérant qu'à mesure que l'apprentissage automatique et l'automatisation deviendront plus réalisables, les emplois deviendront de plus en plus automatisés, et certains emplois seront progressivement éliminés. La firme McKinsey & Company a mené une analyse similaire qui a montré que presque toutes les professions seront touchées par l'introduction des technologies de l'I4.0, mais que le degré d'incidence variera d'une profession à l'autre (voir l'annexe A)<sup>30, 32</sup>. McKinsey prévoit que les professions qui pourraient être fortement touchées sont celles qui impliquent des tâches physiques routinières et répétitives, des calculs simples et le traitement de données, car ces tâches sont facilement automatisables avec les technologies existantes. Les emplois dans des environnements imprévisibles, comportant des tâches très variables telles que les interactions sociales et la gestion des personnes ou encore impliquant l'utilisation d'une expertise comme l'ingénierie seront moins touchés, car les tâches qui les composent sont plus difficiles à automatiser. L'incidence sur l'emploi variera selon la profession, certains rôles connaissant une très profonde transformation et d'autres moins en raison de facteurs tels que la faisabilité technique et le coût.



Alors que certaines tâches du domaine de la fabrication seront potentiellement modifiées pour exploiter et maintenir certaines technologies plus avancées, les compétences requises pour les emplois du secteur manufacturier dans le cadre de l'I4.0 seront également touchées et pourraient évoluer. Ce changement implique que les fabricants devront cerner les besoins en matière de perfectionnement et de recyclage de leur main-d'œuvre afin de la doter des compétences et des connaissances nécessaires à l'exploitation des technologies de l'I4.0. Les nouvelles recrues du secteur manufacturier pourraient également voir les compétences requises pour les postes changer afin d'en inclure de nouvelles, et les programmes de formation et éducatifs devront être adaptés pour préparer les étudiants et les nouveaux venus sur le marché du travail aux nouvelles exigences liées à celles-ci. Comprendre les compétences requises et déterminer les personnes qui en ont besoin permettra aux entreprises d'élaborer des stratégies pour faciliter l'apprentissage et le perfectionnement interne.

### Méthodologie

Afin d'évaluer les répercussions des technologies de l'I4.0 et leur potentiel d'automatisation des tâches dans le secteur manufacturier canadien, des données ont été tirées de deux études sur l'automatisation des emplois. Frey et Osborne ont analysé la susceptibilité de professions entières à l'automatisation. Les chercheurs ont utilisé un modèle d'apprentissage automatique, combiné aux données de la base de données O\*NET, pour évaluer les emplois en fonction de facteurs tels que le caractère routinier, les

exigences de création et d'intelligence sociale, et les tâches de perception et de manipulation. Leur étude a mis en évidence que les professions comportant des tâches routinières étaient hautement automatisables, tandis que celles nécessitant des compétences créatives et sociales l'étaient moins. Une autre étude de McKinsey & Company sur l'automatisation des emplois utilisait une approche basée sur les tâches, analysant la proportion d'activités de travail dans diverses professions qui pourraient être automatisées avec la technologie existante. L'étude a montré la nature évolutive du travail et des exigences en matière de compétences, soulignant que si certains emplois peuvent être entièrement automatisés, beaucoup changeront à mesure que certaines de leurs tâches seront automatisées, remodelant ainsi le paysage du travail<sup>28</sup>.

Bien que les études de Frey et Osborne et de McKinsey aient toutes deux utilisé le système de classification des professions des États-Unis dans leurs analyses, aucune étude ou analyse détaillée sur la susceptibilité à l'automatisation des emplois utilisant la Classification nationale des professions (CNP) du Canada n'a été réalisée. Frenette et Frank (2020) ont examiné les effets potentiels de l'automatisation sur les travailleurs canadiens en appliquant une méthodologie basée sur les tâches semblable à celle utilisée par Arntz, et coll. et Frey et Osborne<sup>33,33</sup>. Leur analyse, qui étudiait des variables telles que le niveau de scolarité, l'âge et les types de profession en général, a donné un aperçu des effets potentiels sur les emplois, mais n'a pas fourni d'examen détaillé sur des professions spécifiques du



secteur de la fabrication. Les conclusions de Frey et Osborne et de McKinsey & Company ont pu être utilisées dans le présent rapport grâce à une méthodologie de concordance qui cartographie les professions des systèmes de classification américain et canadien, ce qui a permis d'appliquer les résultats des analyses au cadre professionnel canadien<sup>34</sup>. Cette approche peut apporter une compréhension générale des répercussions potentielles de l'automatisation sur diverses professions manufacturières canadiennes.

Pour choisir les professions manufacturières du système de CNP à inclure dans la présente étude, la proportion de professions dans chaque industrie manufacturière du secteur de la fabrication a été calculée. Cette analyse a utilisé le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) au niveau de codes à quatre chiffres. La proportion de personnes employées dans chacune des 516 professions de la CNP au sein de chaque code à quatre chiffres du SCIAN dans le secteur de la fabrication a été calculée afin de déterminer quelles professions de la CNP comptaient le plus grand nombre de personnes employées dans chaque industrie. Le seuil d'inclusion était d'au moins 1 % du nombre total d'employés dans chaque catégorie du SCIAN, ce qui a donné lieu à une liste de 184 professions, qui figure à l'annexe B. Les cotes d'automatisation de Frey et Osborne et de McKinsey ont été appliquées à cette liste à l'aide de la méthodologie de concordance décrite précédemment. Afin d'examiner la relation entre l'automatisation et les différents types de travail, les professions ont été classées en fonction des catégories

professionnelles de la CNP, désignées par le premier chiffre du code de la CNP<sup>35</sup>. Dans la présente analyse, les codes de la CNP à deux et trois chiffres ont été utilisés pour certaines catégories afin de mieux saisir la variation dans les professions manufacturières (voir l'annexe C). Ces grandes catégories professionnelles s'appuient sur le type de travail effectué ou le secteur d'activité. Elles reflètent aussi la formation, l'expérience ou les études requises pour accéder à la profession. Il s'agit donc des acquis scolaires et, dans certains cas, de l'expérience propre à l'industrie requise, en particulier lorsqu'il s'agit d'un avancement dans la hiérarchie interne. Ces catégories permettent de distinguer les différents segments du type de travail effectué dans l'ensemble du secteur de la fabrication de pointe. Cette façon de regrouper les professions permet d'examiner les relations entre différents types de professions ayant des niveaux de compétences et des exigences de formation similaires. Les données sur l'emploi et les salaires ont été utilisées pour examiner la relation entre le potentiel d'automatisation de diverses professions, leur nombre d'emplois et leurs niveaux de salaire respectifs dans le secteur manufacturier canadien. Le salaire horaire médian a été calculé à partir des données de l'Enquête sur la population active de Statistique Canada menée en 2022<sup>36</sup>. La médiane a été utilisée plutôt que la moyenne, car elle est moins affectée par les valeurs aberrantes et fournit une représentation plus impartiale des salaires. Les données sur l'emploi ont été extraites du recensement canadien. Dans l'ensemble, ces informations peuvent également aider à faire face aux défis futurs relatifs à la main-d'œuvre grâce à l'introduction de nouvelles technologies et



aux changements apportés aux tâches et aux compétences de l'effectif dans les systèmes de fabrication de pointe.

Afin de mieux comprendre les compétences nécessaires pour ces professions en évolution dans le domaine de la fabrication de pointe et de l'I4.0, cette étude a utilisé la récupération de données d'emploi comme outil pour relever les aptitudes et compétences techniques clés. La récupération de données d'emploi est un processus automatisé de collecte de données des offres d'emploi à partir de sites Web, comme ceux des centres de carrière ou des sections emploi des entreprises. Les données sont ensuite nettoyées et catégorisées pour mieux comprendre les exigences actuelles des postes et les tendances des industries. Dans le cadre de la présente étude, l'analyse a porté sur des offres d'emploi pour dix professions clés dans le secteur de la fabrication de pointe et de l'I4.0 dans l'industrie manufacturière canadienne. Les emplois retenus aux fins de la présente analyse comprenaient des emplois des domaines de la production, des métiers spécialisés, de l'ingénierie et de la supervision. Ces emplois ont été choisis en fonction des offres d'emploi actuelles ayant comme exigence de nouvelles compétences liées aux technologies de l'I4.0, et de façon à représenter l'éventail des niveaux et des types de compétences ainsi que la formation et l'éducation requises par les professions du secteur. L'objectif de cette sélection était de relever les emplois directement liés aux technologies de l'I4.0 (scientifique des données, spécialiste de la cybersécurité et ingénieur de l'infonuagique), ainsi que les

emplois existant actuellement qui seront touchés par les technologies de l'I4.0. Les compétences pour chaque emploi ont ensuite été classées en catégories de compétences, telles que définies par la base de données et le système O\*Net. Le résultat de la récupération et de l'analyse des données d'emploi est une liste complète et à jour des compétences clés pour la fabrication de pointe et les technologies de l'I4.0.

## Résultats

L'évaluation des répercussions des technologies de l'I4.0 et de leur potentiel d'automatisation des tâches dans le secteur manufacturier canadien, qui s'appuie sur les études de Frey et Osborne et de McKinsey, fournit des informations importantes pour comprendre les effets potentiels de l'automatisation sur diverses professions manufacturières. Les résultats de cette étude sont résumés dans les figures 1 et 2. Les conclusions détaillées de ce rapport se trouvent dans le tableau 1 des annexes A et B.

La recherche de Frey et Osborne offre un point de vue important sur la susceptibilité de certaines professions à l'automatisation, et souligne particulièrement la vulnérabilité des emplois impliquant des tâches routinières. Leur analyse indique que les rôles caractérisés par des processus répétitifs et prévisibles, tels que ceux de la production, du transport, de la logistique et du soutien administratif, font face à un risque élevé d'automatisation. Cette tendance laisse présager une baisse de la demande de compétences routinières et un besoin croissant de compétences centrées sur la créativité, la résolution de problèmes et





l'intelligence sociale. Les emplois qui nécessitent ces compétences plus complexes et nuancées semblent moins enclins à l'automatisation, ce qui indique une transition de la main-d'œuvre manufacturière vers des compétences plus innovantes et interpersonnelles<sup>34</sup>.

L'approche basée sur les tâches de McKinsey offre une précision supplémentaire, révélant qu'une proportion importante des tâches au sein de diverses professions du secteur de la fabrication pourrait être automatisée avec la technologie actuellement disponible. Cette conclusion ne signale pas nécessairement l'élimination complète de ces emplois, mais indique une transformation considérable de leur nature. En particulier, les tâches manuelles, répétitives et prévisibles sont considérées comme plus susceptibles d'être automatisées. Cette évolution risque d'entraîner un changement dans les rôles et les responsabilités des emplois, notamment en augmentant les tâches qui nécessitent le jugement humain, la créativité et l'interaction sociale<sup>18</sup>.

Dans leur analyse, Frey et Osborne ont conclu que 47 % des professions risquaient d'être automatisées à l'avenir. Les chercheurs ont constaté que les professions comportant un grand nombre de tâches routinières étaient plus à risque, tandis que celles qui exigeaient une intelligence créative, une intelligence sociale et des compétences de perception et de manipulation l'étaient moins. Cet examen concorde avec les conclusions de la firme McKinsey & Company, qui a estimé que 45 % des activités de travail pourraient potentiellement être automatisées à l'aide de la technologie

actuelle. Il est important de noter que certaines des divergences dans les cotes d'incidence de l'automatisation et de l'informatisation des professions entre ces deux études peuvent être expliquées par la différence de leur méthode d'analyse. Frey et Osborne ont analysé la probabilité que des professions entières soient automatisées, tandis que McKinsey & Company ont examiné la proportion de tâches au sein d'une profession qui pourraient être automatisées. Il est également important de noter que ces deux études ont été menées avant les avancées les plus récentes des modèles de langage de l'intelligence artificielle qui sont capables d'effectuer des tâches au-delà de ce qui avait été anticipé auparavant, mais elles restent la meilleure source de données sur l'automatisation professionnelle à ce jour.

Dans le contexte de la fabrication, les deux études prédisent que les métiers techniques (73 % des tâches touchées selon McKinsey & Company et 82 % selon Frey et Osborne), les monteuses et les opérateurs dans la fabrication (82 % selon McKinsey & Company et 85 % selon Frey et Osborne) et les manœuvres dans la fabrication (98 % selon McKinsey & Company et 75 % selon Frey et Osborne) seront parmi les trois catégories professionnelles qui pourraient être le plus touchées. Les groupes professionnels des monteuses et opérateurs et des manœuvres dans la fabrication englobent ensemble une partie importante de la main-d'œuvre du secteur manufacturier et sont caractérisés par des tâches très susceptibles d'être automatisées. Les monteuses et les opérateurs dans la fabrication comprennent des professions telles que les ouvriers de fonderies et les opérateurs de machines



d'usinage, qui présentent toutes deux une cote d'incidence de plus de 85 % selon les deux études. De même, les manœuvres dans la fabrication comprennent des professions telles que les manœuvres en métallurgie et les manœuvres dans la fabrication des produits en caoutchouc et en plastique, qui seront également considérablement touchées par les technologies de numérisation et d'automatisation.

Selon les deux études, les professions liées à la gestion, qui comprennent les cadres supérieurs, les directeurs des services de génie, les directeurs de la fabrication et les surveillants dans la fabrication, sont parmi les moins touchées par les technologies de numérisation et d'automatisation.

L'incidence globale pour ces professions est inférieure à 35 % selon les deux études.

Cependant, les résultats montrent que même les professions les mieux rémunérées, telles que les chefs de la direction, peuvent voir environ 20 % de leurs activités de travail automatisées.

Pour le groupe professionnel des sciences et du génie, la probabilité d'automatisation varie entre 8 % et 30 %, tandis que la probabilité d'automatisation pour les professions techniques des sciences et du génie varie entre 35 % et 45 %. Ces deux groupes comprennent des professions telles que les ingénieurs électriciens, les ingénieurs industriels, les technologues et techniciens en génie mécanique et les évaluateurs de systèmes informatiques, qui font face à une incidence plus modérée que les métiers spécialisés et les professions du domaine de la production.

Les annexes A et B fournissent de plus amples détails sur les effets de l'automatisation et de la numérisation sur les différentes professions. À l'annexe A, 24 graphiques illustrent les résultats de l'incidence des nouvelles technologies sur les différentes professions selon Frey et Osborne et McKinsey & Company. Les données sur les effets de l'incidence par profession sont également présentées, ainsi que le salaire horaire médian de chaque profession. Cette présentation des données permet d'analyser la corrélation entre les effets potentiels de l'automatisation et de la numérisation sur des professions en particulier et leurs niveaux de salaire respectifs. En examinant la tendance générale, il devient clair que les emplois présentant un potentiel d'automatisation plus élevé sont généralement associés à des taux de rémunération horaire médians plus faibles.

L'approche basée sur les tâches de l'analyse de McKinsey réaffirme l'importance du perfectionnement et du recyclage de la main-d'œuvre, ainsi que de la préparation de celle-ci par l'apprentissage de compétences techniques adéquates pour effectuer les nouvelles tâches requises. Pour cette raison, la deuxième partie de la présente étude utilise la récupération et l'analyse de données d'emploi pour présenter un aperçu des aptitudes et des compétences clés essentielles pour les postes dans le secteur de la fabrication de pointe du Canada dans le contexte de l'I4.0, en fournissant un aperçu à jour et complet des compétences requises liées aux technologiques et aux systèmes (voir l'annexe D). Les conclusions, classées selon les classifications des compétences



professionnelles d'O\*Net, indiquent un large éventail de compétences couvrant les compétences de base, sociales, systémiques, de gestion des ressources et techniques.

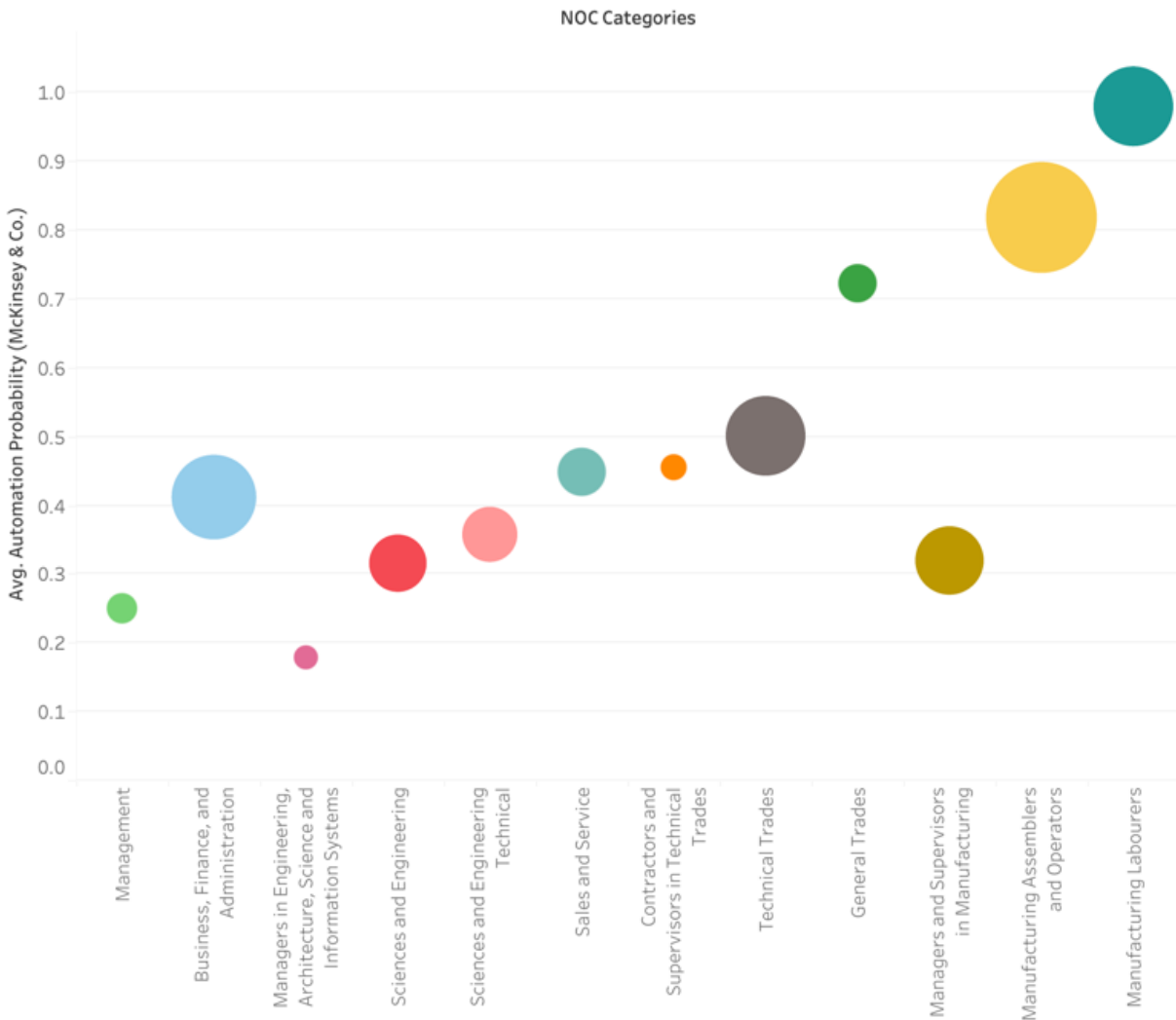
Pour des postes comme les scientifiques des données et les ingénieurs en infonuagique, l'accent est mis sur la gestion des données, la programmation, les services infonuagiques et le développement de l'infrastructure. Des compétences relatives aux langages SQL et Python, aux bases de données NoSQL, à l'apprentissage automatique, ainsi qu'aux services et à la sécurité infonuagiques sont fortement mises en avant dans les offres d'emploi, ce qui souligne l'orientation numérique et analytique de ces postes. De même, on s'attend à ce que les spécialistes de la cybersécurité possèdent une compréhension approfondie des pratiques de sécurité de l'information, de l'infrastructure de réseau et informatique, ainsi qu'une maîtrise des plateformes et des systèmes d'exploitation, ce qui souligne l'importance de protéger les biens numériques dans une industrie manufacturière de plus en plus interconnectée.

Les techniciens industriels et en mécanique, quant à eux, ont besoin d'une solide connaissance des systèmes, d'une

expérience pratique de l'automatisation et de la robotique, et d'une compréhension approfondie des systèmes de commande et de la technologie opérationnelle, y compris la programmation d'automate et les machines à commande numérique pilotées par ordinateur. Pour les emplois relevant des métiers spécialisés et du domaine de la production, les assembleurs de véhicules automobiles et les soudeurs d'équipement robotique se caractérisent par un mélange de dextérité manuelle, de contrôle de la qualité et de familiarité avec la programmation de l'automatisation et les processus robotiques, ce qui indique l'intégration des compétences de fabrication traditionnelles aux nouvelles technologies. Il est important de noter que les assembleurs de véhicules automobiles sont la seule profession qui n'est traditionnellement pas associée à des niveaux élevés de littératie numérique. Cependant, comme le montrent les résultats de la récupération et de l'analyse des données d'emploi, plus de la moitié des compétences recherchées impliquent des connaissances en informatique. On peut donc comprendre que, tout au long du processus de fabrication, il existe déjà une demande pour que les travailleurs aient des compétences numériques qui vont au-delà des logiciels de productivité de base.

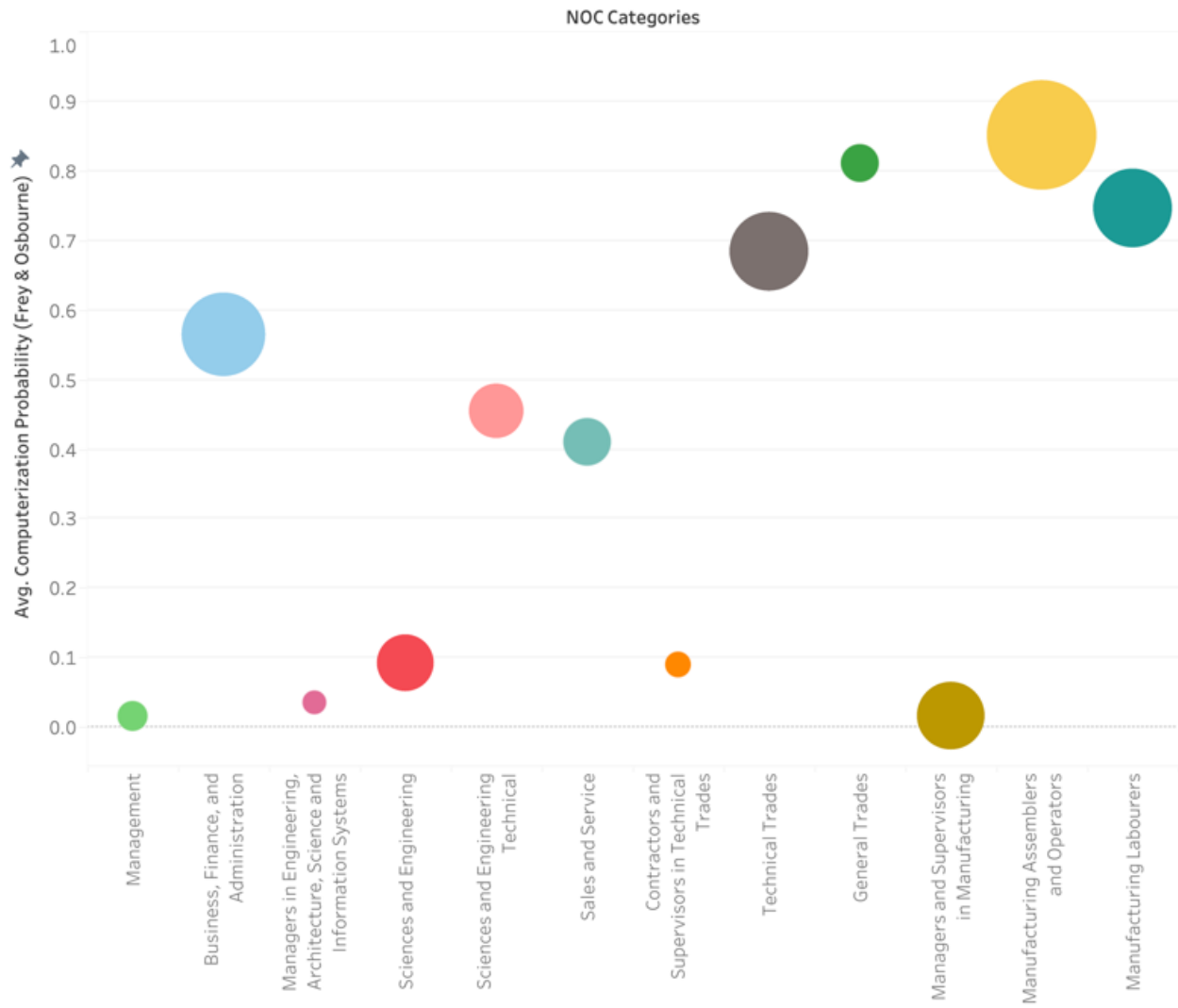


**Figure 1.** Probabilité d'automatisation par catégories professionnelles (McKinsey & Company, 2016)





**Figure 2.** Probabilité d'automatisation par code de CNP (Frey et Osborne, 2013)





## Discussion : Automatisation et compétences professionnelles

L'évaluation de l'incidence de l'automatisation et de la numérisation, qui s'appuie sur les études de Frey et Osborne et de McKinsey & Company, donne un aperçu complet de la façon dont les technologies de l'I4.0 pourraient affecter diverses professions et leurs tâches distinctes dans le secteur manufacturier canadien. L'intégration des nouvelles technologies numériques et l'automatisation accrue associée à l'I4.0 auront des répercussions sur un large éventail de rôles dans le secteur manufacturier, le degré d'incidence variant selon les professions. Bien que ces études aient jeté les bases de l'évaluation de l'incidence de l'automatisation sur les professions, elles n'ont pas détaillé comment des technologies de l'I4.0 spécifiques peuvent potentiellement remodeler les tâches des différentes professions. Les données tirées de la récupération et de l'analyse des données d'emploi effectuées dans cette étude aident à détailler certains des changements introduits par l'I4.0 dans les emplois manufacturiers.

Les emplois liés aux génies industriel, mécanique et électrique, par exemple, sont de plus en plus essentiels dans le secteur de la fabrication de pointe, en particulier avec l'intégration des technologies de l'I4.0. Ces rôles vont désormais au-delà des tâches de génie traditionnelles, car ils sont essentiels à l'intégration de capteurs intelligents et d'analyses prédictives dans les processus de

fabrication. Cette intégration est essentielle pour améliorer l'efficacité de la production et anticiper les besoins de maintenance. Les ingénieurs sont désormais tenus d'avoir une double expertise : une compréhension approfondie des principes fondamentaux du génie, ainsi qu'une maîtrise de l'analyse de données et de leurs logiciels. Ils sont désormais chargés d'analyser les données des capteurs afin d'optimiser le rendement des machines et d'anticiper les pannes potentielles, réduisant ainsi les temps d'arrêt et augmentant la productivité. Leurs compétences en matière d'interprétation et d'application des données sont cruciales pour apporter des ajustements en temps réel aux processus de fabrication, ce qui conduit à des lignes de production plus intelligentes et plus efficaces. Ce changement dans le rôle des ingénieurs signifie qu'ils passent d'une approche purement mécanique ou électrique à une approche plus axée sur les données, reflétant la nature de plus en plus interconnectée des systèmes de fabrication modernes.

Les soudeurs, traditionnellement reconnus pour leur dextérité manuelle et leur précision, s'adaptent également au nouvel environnement de fabrication. L'arrivée des bras de soudage robotisés a transformé leur emploi, passant d'un travail purement manuel à un rôle qui allie compétences manuelles et savoir-faire technique. Ce changement signifie que les soudeurs



doivent désormais être compétents dans la programmation et l'utilisation de ces bras robotisés, ce qui implique une compréhension approfondie de l'interface de la machine, de ses capacités et du logiciel qui la contrôle. Leur capacité à s'adapter à cette technologie est essentielle pour garantir un soudage de haute qualité dans les lignes de production automatisées.

De même, les compétences exigées des outilleurs-ajusteurs sont en pleine évolution en raison de l'intégration des technologies de fabrication additive. Avec l'utilisation croissante des logiciels de CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur), ces professionnels sont désormais amenés à concevoir et à fabriquer des outils et des pièces à l'aide de ces plateformes numériques. Ce changement exige non seulement la maîtrise du logiciel, mais aussi une compréhension des principes de la fabrication additive, comme une connaissance des matériaux, de la conception pour la fabrication additive et du fonctionnement des machines d'impression 3D. La possibilité de produire rapidement des prototypes et des outils à l'aide de ces méthodes révolutionne la façon dont les outilleurs-ajusteurs contribuent au processus de fabrication, permettant une plus grande souplesse et une plus grande efficacité dans la production.

Les monteurs de matériel mécanique dans le secteur de la fabrication de pointe connaissent également un changement important dans leurs rôles en raison de l'introduction des technologies de l'I4.0. Historiquement, affectés aux tâches d'assemblage manuel, ces monteurs se

retrouvent aujourd'hui responsables de la supervision et de la maintenance des chaînes de montage automatisées et numérisées. Ce nouveau rôle exige qu'ils maîtrisent l'exploitation et le dépannage des systèmes robotiques et qu'ils aient une solide compréhension des systèmes de contrôle de la qualité afin de s'assurer que les produits répondent aux normes exigées. À mesure que l'automatisation se répand, leur expertise dans ces domaines devient essentielle au bon fonctionnement des processus de fabrication. Les contrôleurs de la qualité devront également s'adapter aux nouvelles technologies. On s'attend à ce que les systèmes automatisés alimentés par l'IA prennent en charge les vérifications de routine pour détecter les défauts, ce qui forcera les contrôleurs à gérer ces systèmes et à interpréter leurs résultats.

Même les postes de direction sont également remodelés par les technologies de l'I4.0. Au-delà de la surveillance stratégique, l'accent est de plus en plus mis sur la prise de décision basée sur les données et sur la capacité à comprendre et à exploiter les informations issues de l'analyse des mégadonnées, transformant les cadres supérieurs en leaders capables de naviguer autant dans les domaines physiques que numériques de la fabrication.

Alors que certains emplois existants changeront radicalement, les nouvelles appellations d'emploi créées par les technologies émergentes nécessiteront de nouvelles compétences et une nouvelle formation. Pour cette raison, le rôle des spécialistes en ressources humaines et de la formation sera crucial dans la définition des



nouvelles compétences requises au sein de leur organisation. Ils devront élaborer des programmes de formation qui dotent la main-d'œuvre actuelle des compétences nécessaires pour prospérer dans le secteur de la fabrication de pointe.

Ces tendances indiquent un changement net dans les descriptions de poste et l'émergence potentielle de nouvelles désignations d'emploi qui reflètent le mélange de compétences techniques, numériques et en résolution de problèmes nécessaires à la fabrication de pointe. À mesure que les technologies numériques s'imbriquent de plus en plus dans les processus de fabrication, on s'attend à ce que la main-d'œuvre s'adapte, ce qui met en évidence la nécessité de mettre en place des initiatives de perfectionnement et de recyclage adaptées aux rôles émergents et existants. La récupération et l'analyse des données d'emploi révèlent une demande pour des travailleurs qui non seulement maîtrisent les logiciels de productivité, mais qui sont également capables d'utiliser des applications et des outils spécialisés, ce qui souligne l'évolution des compétences de base requises dans le secteur manufacturier.

Les avantages de l'intégration des technologies émergentes ne se limitent pas à l'amélioration des coûts et de l'efficacité de la production, mais peuvent également aider les fabricants à atteindre leurs objectifs de

décarbonation. La transition vers des pratiques plus durables à l'aide des technologies de l'I4.0 conduira probablement à l'émergence de nouvelles compétences et de rôles spécialisés. Pour atteindre les objectifs de carboneutralité du Canada, il y aura une forte demande de gens de métier qualifiés, comme des électriciens, des mécaniciens et des opérateurs d'installations, qui utiliseront les compétences nécessaires pour mettre à l'essai, installer, entretenir, réparer et mettre hors service diverses zones d'installations industrielles. Des gestionnaires de projet spécialisés en décarbonation seront nécessaires pour coordonner et superviser la transformation du processus de production. À mesure que l'accent sera mis sur les sources d'énergie de remplacement, il y aura une demande croissante d'experts dans des domaines tels que la bioénergie, la biofabrication, la gestion du carbone, l'efficacité énergétique et l'hydrogène. Ces spécialistes de l'énergie propre participeront à la recherche et au développement, ainsi qu'à la mise en œuvre de technologies d'énergie propre<sup>27</sup>. La décarbonation de l'industrie manufacturière représente un virage considérable dans les pratiques industrielles qui offrira de nouvelles perspectives d'emploi et permettra l'acquisition de nouvelles compétences.





## Obstacles à l'adoption de l'industrie 4.0 dans les secteurs manufacturiers canadiens

Alors que les secteurs manufacturiers canadiens s'efforcent d'intégrer les technologies de l'I4.0, ils se heurtent à de multiples obstacles qui peuvent entraver leurs progrès. L'adoption de l'I4.0 est financièrement exigeante pour les fabricants canadiens, en particulier pour les petites et moyennes entreprises (PME). Les coûts associés à la modernisation des machines, à l'intégration de systèmes informatiques de pointe et à la mise en place d'une cybersécurité robuste sont élevés. Il ne s'agit pas seulement d'acquérir de nouveaux équipements, mais aussi de mettre à jour les systèmes existants pour qu'ils deviennent « intelligents » et interconnectés, ainsi que d'investir dans la cybersécurité pour se prémunir contre les menaces numériques croissantes. De tels investissements peuvent représenter un lourd fardeau financier pour les PME disposant d'un capital limité, ce qui constitue un obstacle de taille à l'adoption de l'I4.0 et de ses avantages associés.

Un autre obstacle majeur est l'écart de compétences. Dans certains cas, les progrès rapides de la technologie ont peut-être également dépassé la formation d'une main-d'œuvre qualifiée capable de gérer et d'entretenir les systèmes de l'I4.0. Les établissements d'enseignement sont appelés à actualiser rapidement les programmes d'études et de formation pour répondre à la

demande en matière de compétences telles que l'analyse de données, l'apprentissage automatique et la robotique de pointe. Trouver des candidats possédant les compétences appropriées et recycler les travailleurs actuels peut être un défi. Les secteurs et les industries du Canada sont déjà aux prises avec des pénuries de main-d'œuvre et un bassin limité de candidats qualifiés qui possèdent les compétences techniques avancées nécessaires pour les rôles de l'I4.0. Cette pénurie est exacerbée par le vieillissement de la main-d'œuvre et la difficulté d'attirer les jeunes générations vers des carrières dans le secteur manufacturier.

Les difficultés technologiques et techniques, telles que les problèmes de connectivité et d'intégration, peuvent également constituer des obstacles importants lors de l'adoption des technologies de l'I4.0. La transition vers une usine intelligente nécessite une communication transparente entre les appareils et les systèmes, ce qui peut être complexe à réaliser, en particulier dans les installations plus anciennes dont les équipements peuvent ne pas être compatibles avec les nouvelles technologies intelligentes.

Pour surmonter ces obstacles, il faudra coordonner les efforts de l'ensemble de l'industrie, notamment en investissant dans la technologie et la formation, en mettant à



jour les programmes d'études et en se concentrant sur l'attraction de travailleurs qualifiés. Pour combler l'écart, il sera essentiel de recourir à des partenariats public-privé, lesquels devront tirer parti du soutien gouvernemental et d'une approche stratégique pour l'adoption de la technologie ainsi que mettre l'accent sur des améliorations essentielles et le partage d'expériences. Alors que l'I4.0 devient de plus en plus essentiel à la compétitivité sur la scène mondiale, la capacité des secteurs manufacturiers canadiens à relever ces défis sera indispensable à leur succès. Pour demeurer concurrentiels, les fabricants canadiens doivent adopter les technologies de pointe, ce qui nécessite un soutien et un échange d'information facilités par le gouvernement pour l'intégration de la technologie et la formation de la main-d'œuvre, sans quoi le secteur manufacturier canadien risque de prendre du retard sur le marché Mondial.

L'introduction de l'I4.0 et des technologies associées dans le secteur manufacturier canadien devrait entraîner des changements considérables dans une multitude de domaines, notamment l'efficacité opérationnelle, l'innovation de produits, la gestion de la chaîne d'approvisionnement et la durabilité environnementale. Cette transition implique également des changements, parfois notables, dans la nature des professions au sein de la fabrication. Il peut s'agir de modification des tâches professionnelles et des compétences requises ainsi que de l'introduction de nouvelles possibilités d'innovation, de création d'emplois et de perfectionnement de

la main-d'œuvre. De plus, l'automatisation et la numérisation accrues de certaines opérations engendrent une demande croissante de compétences dans des domaines tels que la robotique autonome, l'analyse de données et la maîtrise du numérique.

L'adoption des technologies de l'I4.0, bien que plus lente au Canada que chez certains de ces homologues ailleurs dans le monde, améliore progressivement l'efficacité opérationnelle, la personnalisation des produits et la transparence de la chaîne d'approvisionnement. Cette transition n'est pas sans défis, qu'on pense à la pénurie aiguë de main-d'œuvre et de compétences ou à la nécessité d'investissements importants dans la formation et la technologie. Cependant, les avantages potentiels, notamment l'augmentation de la productivité, l'amélioration de la qualité, la réduction des coûts et l'atteinte des objectifs de décarbonation, sont substantiels.

Au fur et à mesure que le secteur s'adapte aux nouvelles technologies, la main-d'œuvre doit également évoluer. Il existe une demande croissante de compétences techniques avancées ainsi que de capacités cognitives de haut niveau telles que la pensée critique et la résolution de problèmes. L'abandon des professions à forte intensité de main-d'œuvre ouvre le secteur manufacturier à un effectif plus diversifié.

L'une des différences fondamentales entre ce que l'on appelle la quatrième révolution industrielle et les virages antérieurs de l'industrie est la nécessité pour les



organisations d'adopter une approche globale de la transformation. Ce n'est que ce faisant qu'une organisation peut bénéficier des véritables avantages potentiels de la numérisation, car l'I4.0 non seulement changera la façon de travailler, mais elle peut également modifier la nature du travail effectué, en éliminant certaines fonctions et en ajoutant de nouveaux rôles et responsabilités. La thèse fondamentale du très réputé programme de leadership en transformation de NGen est que les entreprises doivent adopter cette approche intégrée pour transformer les opérations, qui comprend la rationalisation des flux de travail pour l'I4.0, l'harmonisation entre les procédures internes et la clientèle et la préparation de l'organisation et des travailleurs avec les processus et les compétences nécessaires à une mise en œuvre réussie. Le programme de leadership en transformation fournit des outils pour aider les organisations à y parvenir.

La numérisation et l'automatisation représentent une transition considérable dans les pratiques industrielles, offrant de nouvelles avenues pour l'économie canadienne, et plus particulièrement pour son secteur manufacturier. Cette transition offre une occasion intéressante de croissance, d'innovation et de leadership dans le paysage mondial de la fabrication. Elle ouvre la voie à une compétitivité accrue grâce à des technologies de pointe et à une prise de décision fondée sur des données, ce qui positionnera le Canada comme un chef de file dans le domaine de la fabrication de pointe. Ces changements nécessitent également une approche proactive en matière de perfectionnement et d'éducation de la main-d'œuvre, pour s'assurer que les travailleurs canadiens acquièrent les compétences nécessaires pour s'épanouir et progresser.

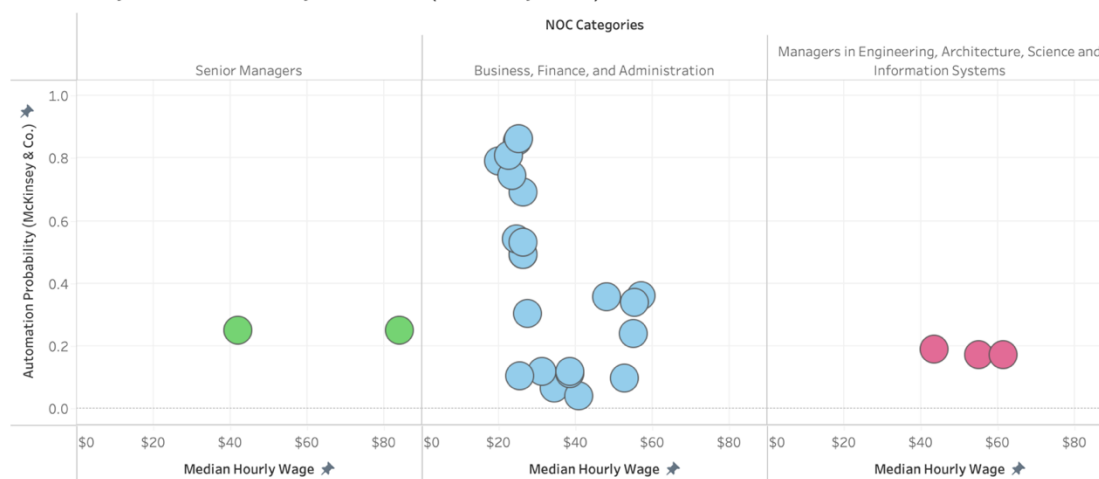


# Annexe A.

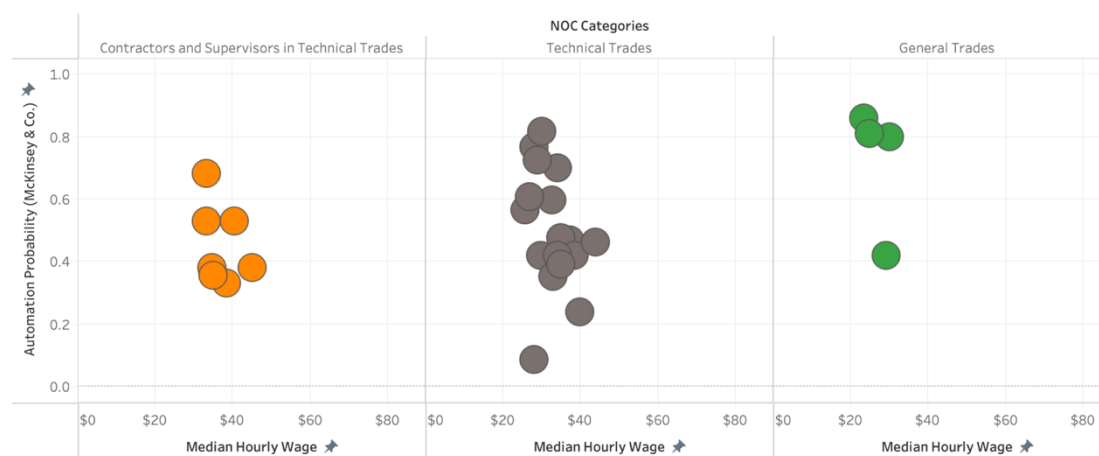
Probabilité d'automatisation des catégories de la CNP selon le niveau de compétence

## Graphiques 1 à 3

Probability of Automation by Skill Level (McKinsey & Co.)

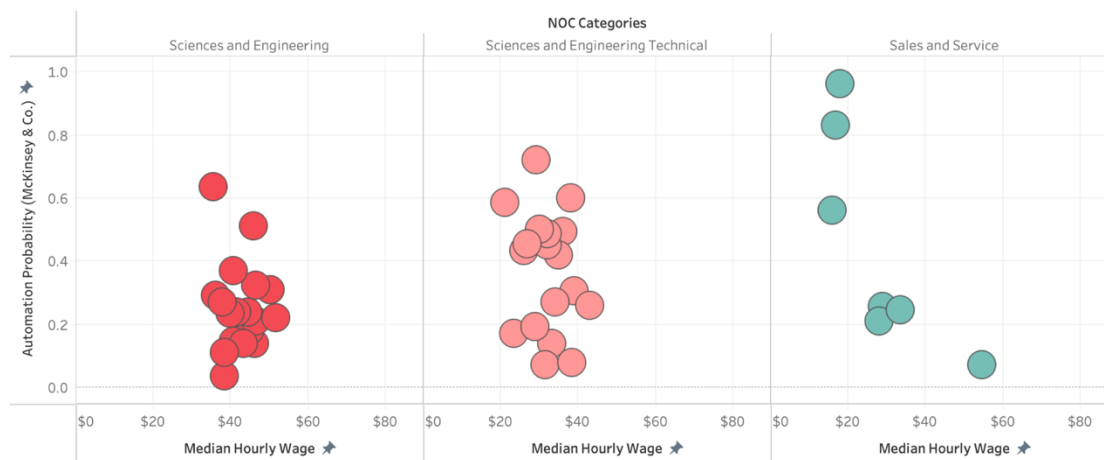


## Graphiques 4 à 6

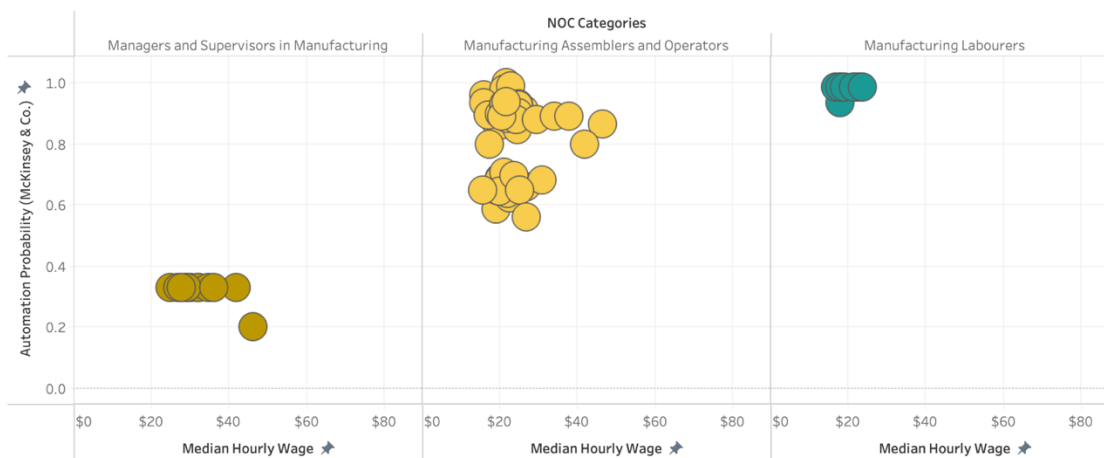




## Graphiques 7 à 9



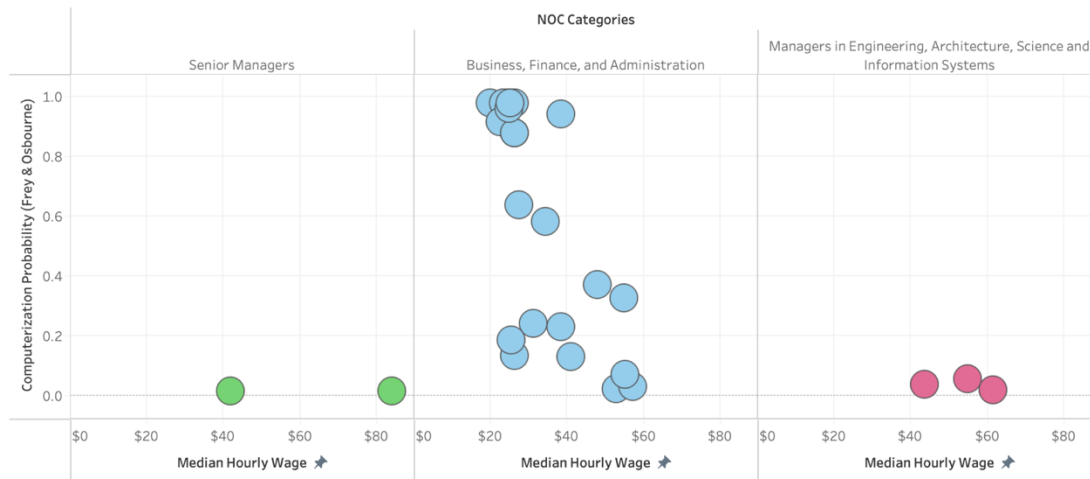
## Graphiques 10 à 12



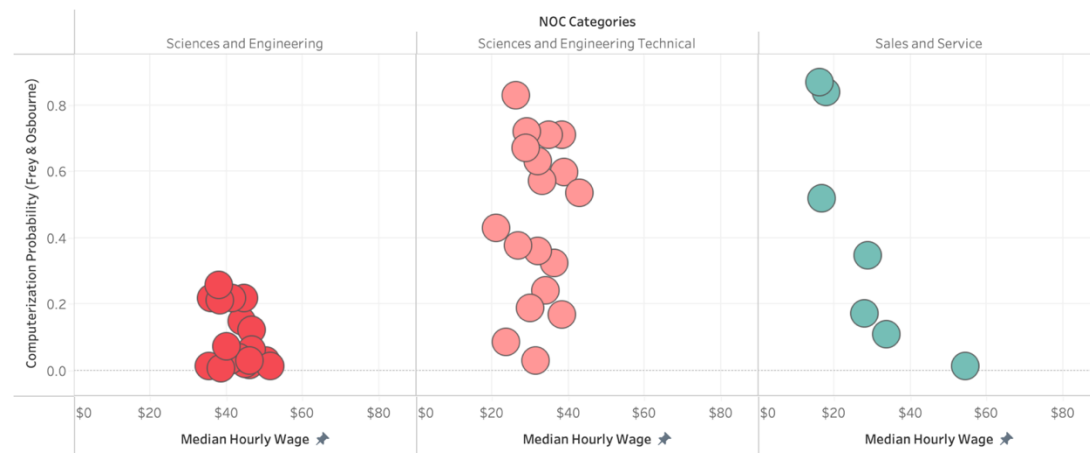


## Graphiques 13 à 15

Probability of Automation by Skill Level (Frey & Osbourne)

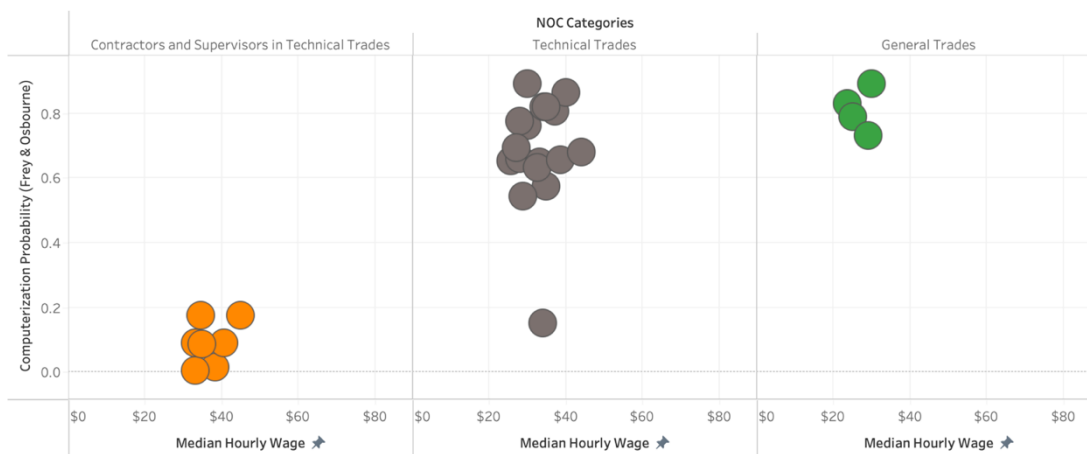


## Graphiques 16 à 18

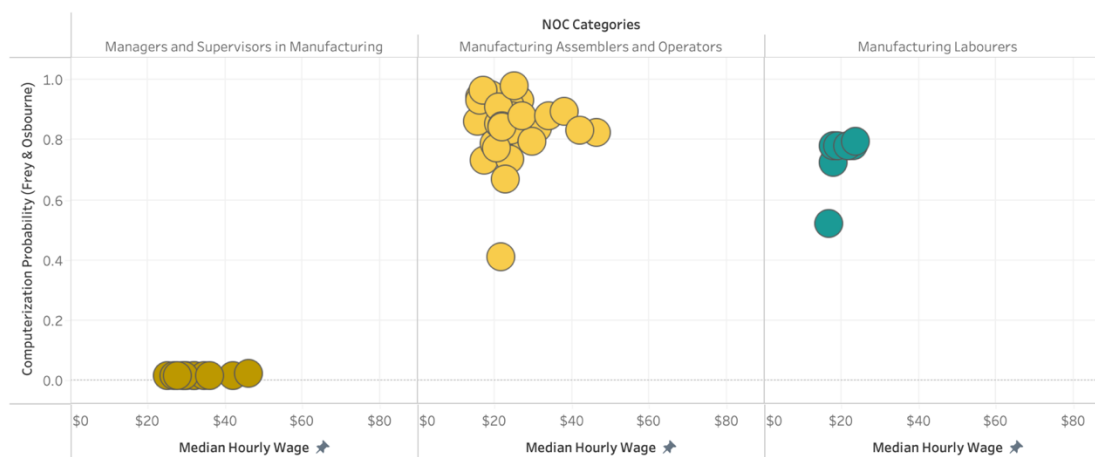




## Graphiques 19 à 21



## Graphiques 22 à 24





## Annexe B.

Liste des professions manufacturières de la CNP avec leurs cotes d'automatisation de Frey et Osborne (2013) et de McKinsey & Company (2016). \* Les écarts dans les données sont le résultat d'absence d'équivalence entre les systèmes de classification canadien et américain.

NOC	Occupation	Frey & Osborne	McKinsey & Co.
12	Senior managers - financial, communications and other business services	2%	25%
15	Senior managers - construction, transportation, production and utilities	2%	25%
10010	Financial managers	7%	34%
10011	Human resources managers	32%	24%
10012	Purchasing managers	3%	36%
10019	Other administrative services managers	37%	36%
10022	Advertising, marketing and public relations managers	2%	10%
11100	Financial auditors and accountants	94%	12%
11101	Financial and investment analysts	23%	11%
11200	Human resources professionals	19%	10%
11201	Professional occupations in business management consulting	13%	4%
11202	Professional occupations in advertising, marketing and public relations	24%	12%
12013	Supervisors, supply chain, tracking and scheduling coordination occupations	13%	53%
12102	Procurement and purchasing agents and officers	58%	7%
12200	Accounting technicians and bookkeepers	98%	86%
13100	Administrative officers	64%	30%
13110	Administrative assistants	96%	54%
13201	Production and transportation logistics coordinators	88%	49%
14100	General office support workers	92%	81%
14200	Accounting and related clerks	98%	74%
14400	Shippers and receivers	98%	79%
14401	Storekeepers and partspersons	98%	86%
14402	Production logistics workers	88%	49%
14403	Purchasing and inventory control workers	98%	69%





<b>NOC</b>	<b>Occupation</b>	<b>Frey &amp; Osbourne</b>	<b>McKinsey &amp; Co.</b>
20010	Engineering managers	2%	17%
20011	Architecture and science managers	6%	17%
20012	Computer and information systems managers	4%	19%
21101	Chemists	26%	27%
21110	Biologists and related scientists	7%	23%
21111	Forestry professionals	1%	11%
21112	Agricultural representatives, consultants and specialists	1%	64%
21120	Public and environmental health and safety professionals	21%	4%
21211	Data scientists	3%	51%
21220	Cybersecurity specialists		65%
21221	Business systems specialists		65%
21222	Information systems specialists		65%
21223	Database analysts and data administrators	3%	37%
21230	Computer systems developers and programmers	22%	24%
21231	Software engineers and designers	2%	22%
21232	Software developers and programmers	22%	24%
21233	Web designers		54%
21234	Web developers and programmers	22%	29%
21301	Mechanical engineers	4%	14%
21310	Electrical and electronics engineers	6%	21%
21311	Computer engineers (except software engineers and designers)	12%	32%
21320	Chemical engineers	3%	31%
21321	Industrial and manufacturing engineers	3%	15%
21322	Metallurgical and materials engineers	2%	18%



<b>NOC</b>	<b>Occupation</b>	<b>Frey &amp; Osbourne</b>	<b>McKinsey &amp; Co.</b>
21390	Aerospace engineers	2%	14%
21399	Other professional engineers	15%	16%
22100	Chemical technologists and technicians	38%	46%
22101	Geological and mineral technologists and technicians	19%	50%
22110	Biological technologists and technicians		48%
22211	Industrial designers		3%
22212	Drafting technologists and technicians	67%	19%
22220	Computer network and web technicians	36%	49%
22221	User support technicians	72%	72%
22222	Information systems testing technicians	9%	17%
22230	Non-destructive testers and inspectors	24%	27%
22231	Engineering inspectors and regulatory officers	54%	26%
22232	Occupational health and safety specialists	17%	8%
22301	Mechanical engineering technologists and technicians	63%	45%
22302	Industrial engineering and manufacturing technologists and technicians	3%	7%
22303	Construction estimators	57%	14%
22310	Electrical and electronics engineering technologists and technicians	71%	42%
22311	Electronic service technicians (household and business equipment)	83%	43%
22312	Industrial instrument technicians and mechanics	60%	31%
22313	Aircraft instrument, electrical and avionics mechanics, technicians and inspectors	71%	60%
32129	Other medical technologists and technicians	32%	49%
33109	Other assisting occupations in support of health services	43%	59%
41402	Business development officers and market researchers and analysts	61%	13%
52111	Graphic arts technicians	34%	30%



NOC	Occupation	Frey & Osbourne	McKinsey & Co.
52121	Interior designers and interior decorators	22%	12%
53123	Theatre, fashion, exhibit and other creative designers	14%	19%
53124	Artisans and craftspersons	28%	64%
60010	Corporate sales managers	1%	7%
62100	Technical sales specialists - wholesale trade	11%	25%
62101	Retail and wholesale buyers	17%	21%
63220	Shoe repairers and shoemakers	52%	83%
64100	Retail salespersons and visual merchandisers	87%	56%
64101	Sales and account representatives - wholesale trade (non-technical)	35%	26%
64200	Tailors, dressmakers, furriers and milliners	84%	96%
70012	Facility operation and maintenance managers	59%	31%
72010	Contractors and supervisors, machining, metal forming, shaping and erecting trades and related occupations	9%	36%
72011	Contractors and supervisors, electrical trades and telecommunications occupations	9%	53%
72012	Contractors and supervisors, pipefitting trades	17%	38%
72013	Contractors and supervisors, carpentry trades	17%	38%
72014	Contractors and supervisors, other construction trades, installers, repairers and servicers	9%	53%
72020	Contractors and supervisors, mechanic trades	0%	68%
72022	Supervisors, printing and related occupations	2%	33%
72100	Machinists and machining and tooling inspectors	54%	73%
72101	Tool and die makers	89%	82%
72102	Sheet metal workers	82%	39%
72103	Boilermakers	68%	46%
72104	Structural metal and platework fabricators and fitters	69%	61%
72105	Ironworkers	87%	24%



<b>NOC</b>	<b>Occupation</b>	<b>Frey &amp; Osbourne</b>	<b>McKinsey &amp; Co.</b>
72106	Welders and related machine operators	78%	9%
72200	Electricians (except industrial and power system)	15%	42%
72201	Industrial electricians	66%	42%
72400	Construction millwrights and industrial mechanics	63%	60%
72401	Heavy-duty equipment mechanics	58%	48%
72402	Heating, refrigeration and air conditioning mechanics	65%	35%
72404	Aircraft mechanics and aircraft inspectors	81%	47%
72405	Machine fitters	82%	70%
72410	Automotive service technicians, truck and bus mechanics and mechanical repairers	66%	77%
72422	Electrical mechanics	76%	42%
72999	Other technical trades and related occupations	65%	56%
73111	Glaziers	73%	42%
73300	Transport truck drivers	79%	81%
73400	Heavy equipment operators	89%	80%
73401	Printing press operators	83%	86%
74203	Automotive and heavy truck and equipment parts installers and servicers	78%	48%
75101	Material handlers	86%	56%
75110	Construction trades helpers and labourers	74%	46%
75119	Other trades helpers and labourers	80%	28%
75201	Delivery service drivers and door-to-door distributors	84%	80%
80020	Managers in agriculture	50%	34%
85100	Livestock labourers	41%	47%
90010	Manufacturing managers	2%	20%
92010	Supervisors, mineral and metal processing	2%	33%



<b>NOC</b>	<b>Occupation</b>	<b>Frey &amp; Osbourne</b>	<b>McKinsey &amp; Co.</b>
92011	Supervisors, petroleum, gas and chemical processing and utilities	2%	33%
92012	Supervisors, food and beverage processing	2%	33%
92013	Supervisors, plastic and rubber products manufacturing	2%	33%
92014	Supervisors, forest products processing	2%	33%
92015	Supervisors, textile, fabric, fur and leather products processing and manufacturing	2%	33%
92020	Supervisors, motor vehicle assembling	2%	33%
92021	Supervisors, electronics and electrical products manufacturing	2%	33%
92022	Supervisors, furniture and fixtures manufacturing	2%	33%
92023	Supervisors, other mechanical and metal products manufacturing	2%	33%
92024	Supervisors, other products manufacturing and assembly	2%	33%
92100	Power engineers and power systems operators	83%	80%
93100	Central control and process operators, mineral and metal processing	90%	89%
93101	Central control and process operators, petroleum, gas and chemical processing	82%	87%
93102	Pulping, papermaking and coating control operators	88%	89%
93200	Aircraft assemblers and aircraft assembly inspectors	88%	56%
94100	Machine operators, mineral and metal processing	80%	88%
94101	Foundry workers	84%	94%
94102	Glass forming and finishing machine operators and glass cutters	77%	89%
94103	Concrete, clay and stone forming operators	83%	88%
94104	Inspectors and testers, mineral and metal processing	98%	65%
94105	Metalworking and forging machine operators	85%	88%
94106	Machining tool operators	84%	90%
94107	Machine operators of other metal products	91%	93%
94110	Chemical plant machine operators	86%	93%



<b>NOC</b>	<b>Occupation</b>	<b>Frey &amp; Osbourne</b>	<b>McKinsey &amp; Co.</b>
94111	Plastics processing machine operators	85%	93%
94112	Rubber processing machine operators and related workers	88%	85%
94120	Sawmill machine operators	86%	93%
94121	Pulp mill, papermaking and finishing machine operators	84%	68%
94122	Paper converting machine operators	67%	99%
94123	Lumber graders and other wood processing inspectors and graders	92%	70%
94124	Woodworking machine operators	79%	90%
94129	Other wood processing machine operators	73%	88%
94130	Textile fibre and yarn, hide and pelt processing machine operators and workers	97%	90%
94131	Weavers, knitters and other fabric making occupations	73%	80%
94132	Industrial sewing machine operators	93%	94%
94133	Inspectors and graders, textile, fabric, fur and leather products manufacturing	86%	65%
94140	Process control and machine operators, food and beverage processing	87%	91%
94141	Industrial butchers and meat cutters, poultry preparers and related workers	77%	98%
94142	Fish and seafood plant workers	94%	96%
94143	Testers and graders, food and beverage processing	41%	100%
94150	Plateless printing equipment operators	83%	86%
94151	Camera, platemaking and other prepress occupations	93%	91%
94152	Binding and finishing machine operators	95%	87%
94200	Motor vehicle assemblers, inspectors and testers	81%	66%
94201	Electronics assemblers, fabricators, inspectors and testers	88%	65%
94202	Assemblers and inspectors, electrical appliance, apparatus and equipment manufacturing	93%	64%
94203	Assemblers, fabricators and inspectors, industrial electrical motors and transformers	86%	71%
94204	Mechanical assemblers and inspectors	88%	62%



<b>NOC</b>	<b>Occupation</b>	<b>Frey &amp; Osbourne</b>	<b>McKinsey &amp; Co.</b>
94205	Machine operators and inspectors, electrical apparatus manufacturing	89%	65%
94210	Furniture and fixture assemblers, finishers, refinishers and inspectors	89%	69%
94211	Assemblers and inspectors of other wood products	86%	65%
94212	Plastic products assemblers, finishers and inspectors	92%	59%
94213	Industrial painters, coaters and metal finishing process operators	91%	95%
94219	Other products assemblers, finishers and inspectors	92%	69%
95100	Labourers in mineral and metal processing	80%	99%
95101	Labourers in metal fabrication	78%	99%
95102	Labourers in chemical products processing and utilities	78%	99%
95103	Labourers in wood, pulp and paper processing	78%	99%
95104	Labourers in rubber and plastic products manufacturing	78%	99%
95105	Labourers in textile processing and cutting	78%	99%
95106	Labourers in food and beverage processing	78%	99%
95107	Labourers in fish and seafood processing	52%	99%
95109	Other labourers in processing, manufacturing and utilities	72%	94%



## Annexe C.

### Catégories professionnelles

NOC Broad Occupational Category		
First Digits of NOC code	Occupational Category	Examples
0	Senior Managers	00012 Senior managers - financial, communications and other business services
1	Business, Finance and Administration	10011 Human resources managers
20	Managers in Engineering, Architecture, Science and Information Systems	20011 Architecture and science managers
21	Sciences and Engineering	21110 Biologists and related scientists
22	Sciences and Engineering Technical	22100 Chemical technologists and technicians
6	Sales and Service	62100 Technical sales specialists - wholesale trade
720	Contractors and Supervisors in Technical Trades	72012 Contractors and supervisors, pipefitting trades
721	Technical Trades	72100 Machinists and machining and tooling inspectors
73	General Trades	73400 Heavy equipment operators
92	Managers and Supervisors in Manufacturing	92010 Supervisors, mineral and metal processing
93	Manufacturing Assemblers and Operators	92100 Power engineers and power systems operators
95	Manufacturing Labourers	95100 Labourers in mineral and metal processing





## Annexe D.

### Tableaux des compétences professionnelles

Data Scientist			
Basic Skills	Oral Communication Communication	Data Manipulation Data Integrity	Data Quality
Complex Problem Solving	Commercial Analysis Customer Intelligence Sales Strategy	Quality Analysis Data Analytics Forecasting	Root Cause Analysis Business Insights Product Requirements
Social Skills	Workplace Relations Social Influence	Labor Relations Teamwork	Meeting Facilitation
System Skills	IT Governance Market Research	Supply Chain Management Strategy Implementation	Business Intelligence (BI)
Resource Management Skills	Key Metrics	Key Performance Indicators	
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Database Management and Administration: SQL, NoSQL, Teradata Database, Microsoft Access, Apache Hive, Data Warehousing, Microsoft Dynamics</li> <li>Data Visualization and Reporting: Microsoft Power BI, Data Visualization, Dashboard Building, Reporting software, Qlik Tech QlikView, Tableau, Microsoft (Excel, Office, PowerPoint)</li> <li>Project and Workflow Management: Atlassian JIRA, Apache Airflow, Atlassian Confluence, Management information systems MIS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Data Analysis and Processing: Data Modeling, Data Profiling, Robotic Process Automation (RPA), Machine Learning, XGBoost, PySpark, Apache Spark, MapReduce big data software, Apache Hadoop, Snowflake</li> <li>Business Intelligence and Analytics: Business Intelligence Tools, Web Analytics, Analytical or scientific software (IBM SPSS, SAS...), StataCorp Stata, The MathWorks MATLAB, Splunk Enterprise, Geographic information system GIS systems</li> <li>Data Interchange and Communication: JavaScript Object Notation JSON</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programming and Development: VBA Excel, C, Ruby, R, Scala, Bash, JavaScript, Docker, GitHub, Git, Jenkins CI, RESTful API, Kubernetes</li> <li>Cloud and Infrastructure Services: Amazon Web Services AWS software, AWS SageMaker, Google Cloud software, Microsoft Azure software, Linux, UNIX</li> <li>Advanced Analytics and Big Data: Apache MXNet, TensorFlow, Keras, C++, Oracle Java</li> </ul>



Industrial Instrument Technician		
Basic Skills	Oral Communication	Problem Solving
System Skills	Compensation	Preventative Maintenance
Resource Management Skills	Facilities	Work Orders
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Systems Knowledge and Maintenance: Control Systems, HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), Hydraulics, Pump Repair, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), Boilers, Industrial Equipment, Mechanical Systems</li> <li>Communication and Network Systems: Network Communications (understanding of communication protocols and network configurations)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advanced Technical Skills: Robotics (knowledge of robotic systems and their applications)</li> <li>Software Proficiency: Minitab, Computer-aided design (CAD) – Autodesk AutoCAD, Autodesk AutoCAD Civil 3D, Bentley MicroStation, Dassault Systemes SolidWorks, National Instruments LabVIEW, Apple macOS, Linux, Microsoft Project</li> <li>Electrical Skills and Instrumentation: Electrical Design, Electrical and Instrumentation Engineering (EIE), AC/DC (Alternating Current/Direct Current knowledge), Electricity, Schematic (ability to read and interpret)</li> <li>Problem-Solving and Analysis: Troubleshooting (diagnosing and resolving equipment malfunctions)</li> </ul>



Mechatronic Technician			
Basic Skills	Communication	Follow Written Instructions	Digital Literacy
Complex Problem Solving	Root Cause Analysis	Operations Management	Quality Control Analysis
Social Skills	Customer Service	Inter-Departmental Collaboration	Self-Directed
System Skills	Equipment Evaluation		
Resource Management Skills	Reduce Machinery Downtime	Automated Equipment Upkeep	
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regulatory and Safety Compliance: Knowledge of CSA, OSHA, and Electrical Safety Code</li> <li>Technical Documentation: Technical document literacy (schematics, prints, pneumatic diagrams)</li> <li>Programming and Software Skills: Experience in PLC programming, troubleshooting, and modifications (specifically for platforms listed), ANSYS Mechanical, Autodesk AutoCAD, CNC Mastercam, Computerized numerical control CNC programming software, Microsoft PowerPoint, Follow procedures for software &amp; firmware setup on systems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Robotics and Automation: Experience in robot programming, Knowledge of servos, sensors, smart actuators, etc., PLC, robot, and HMI programming, implementation, and troubleshooting, Setup, changeover, and PM various automation equipment and systems (e.g., Enfield Automation cells)</li> <li>Troubleshooting and Maintenance: Basic electrical, mechanical, and pneumatic troubleshooting ability, Diagnose and solve basic pneumatics, Assemble &amp; test of electrical, mechanical, and optical systems (including specifics like wiring, crimping &amp; soldering, connector assembly, camera focusing &amp; calibration)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machinery and Equipment Knowledge: Knowledge of injection moulding machines and process, Electrical controls setup, changeover, and Preventative Maintenance of equipment (e.g., Sonic Welders, Barcode Machines), Setup and PM resin pellet receivers and blenders, Clean valve stack filters</li> <li>Quality Control and Inspection: Perform optical calibration procedures on cameras and laser systems, Inspect &amp; test incoming components according to QC instructions</li> </ul>



Supply Chain Supervisor			
Basic Skills	Literacy	Attention to Detail	Problem Solving
	Oral Communication	Multitasking	Analytical Skills
	Forecasting	Managerial Finance	General Management
Complex Problem Solving	Continuous Improvement	Conflict Management	Stress Management
	Site Visits	Industry Training	
Social Skills	Leadership	Customer Service	Interpersonal Communication
	Skilled Multi-tasker	Supervisory Skills	Interviewing
	Coaching	Positive Employee Relations	
System Skills	Key Performance Indicators	Development Approvals	Procurement
	Supplier Evaluation		
Resource Management Skills	Time Management	Inventory Management	Production Planning
	Warehouse Management	Supply Chain Management	Stock Management
	Logistics Management		
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Office and Communication Software: Microsoft (Excel, Outlook, Office suite, Word, PowerPoint)</li> <li>Electronic Data Management: Electronic Data Interchange (EDI), Radio-Frequency Identification (RFID)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventory and Quality Control: BOMs (Bill of Materials), Cycle Counting, Enterprise Resource Planning (ERP), Inventory Control, Material Requirements Planning (MRP), Physical Inventory, SAP Products, SAP ERP, APICS, CPIM (Certified in Production and Inventory Management), Six Sigma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logistics and Material Handling: Sawmill, Timber, Warehouse Management Systems, Material Handling, Truck Driving, Packing, Shipping &amp; Receiving, Damage, Cleansing, Purchase Orders</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enterprise Resource Planning (ERP) and Supply Chain Management: Infor Enterprise Resource Planning (ERP), SAP Electronic Data Interchange (EDI), SAP Products, SAP ERP, Materials requirements planning logistics and supply chain software – Warehouse management system WMS, Inventory management software – Inventory control software, Inventory management systems, Warehouse management system WMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Project Management and Team Collaboration: Project management software – Contract management software, HCSS HeavyJob, Microsoft Project, Microsoft Teams</li> <li>Equipment and Machinery Operation: Forklift Operation, Precision Measuring, RF Scanners, Radio-Frequency Identification (RFID)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Database Management and Interface: Data base user interface and query software – Blackboard software, Microsoft Access, Oracle Database, Yardi software</li> <li>Compliance and Safety: Customs Regulations, Safety Committee, Statutory Accounting Principles (SAP)</li> </ul>



Process Engineer			
Basic Skills	Oral Communication	Report Writing	Research and Development
Complex Problem Solving	Spec Sheets		
Social Skills	Customer Presentations		
Resource Management Skills	Workload Prioritization	Performance Motivation	
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engineering and Design: Chemical Engineering, Engineering Documentation, Fixtures, Flow Charts, Process Design, Process Engineering, Process Flow Charts, process flow diagram (PFD), Process Integration, Process Simulation, Processes Development, Proof of Concept, Piping and Instrumentation Drawing (P&amp;ID)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manufacturing and Operational Processes: Automation, Computer Simulations, Data Driven Testing, Dehydration, Electric Vehicles, Gas Metal Arc Welding (GMAW), HAZOP Study, Manufacturing Processes, Mass &amp; Energy Balance, Material Handling, Modelling, Resistance Welding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software Development and Database Management: Data base user interface and query software (Amazon Web Services AWS software, Microsoft Access, PySpark, Structured query language SQL), Development environment software (C, Microsoft Azure software, Ruby, XGBoost), Object or component oriented development software (C++, Oracle Java, R, Scala)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industry-Specific Knowledge: Oil and Gas Industry</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software and Modeling Tools: 3D Modeling Software, AutoCAD, JMP, Minitab, Statistical Software, Traditional Animation, Analytical or scientific software (IBM SPSS Statistics, SAS, StataCorp Stata, The MathWorks)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentation and Documentation: Presentation software (Microsoft PowerPoint)</li> </ul>



Cloud Engineer			
Complex Problem Solving	Knowledge Acquisition	Defining Requirements	Root Cause Analysis
Social Skills	Focus Groups	Service Work	Technical Advisory
System Skills	Design Documents Computer Science	Systems Analysis	Systems Thinking
Resource Management Skills	Skills Development		
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cloud Infrastructure Management and Design: Decommissioning, architecture, cloud migration, migration projects, implement and manage cloud infrastructure components, including load balancers, caching, web servers, application servers, databases, and networking, deploy and maintain Platform as a Service (PaaS) and Infrastructure as a Service (IaaS) resources to support hosted products and solutions</li> <li>Protocols and Standards: OPC Unified Architecture (OPC UA), open Platform Communication (OPC), protocol Buffers</li> <li>Project and Team Collaboration Tools: project Management software (e.g., Atlassian Confluence; Microsoft Project; Microsoft Teams; Oracle Primavera Enterprise Project Portfolio Management)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Networking and Communications: Internet of Things (IoT), wireless networking, network monitoring tools, participating in the implementation of AWS Cloud VPCs, AWS Networking policies</li> <li>Database Management and Integration: Databases, NoSQL, data base management system software (e.g., Amazon DynamoDB; Apache Hive; Elasticsearch; Redis)</li> <li>Operating Systems and Scripting: operating system software (e.g., Bash; Microsoft Windows Server; Shell script; UNIX Shell)</li> <li>Web Development and Platforms: Web platform development software (e.g., Django; Google Angular; React; Spring Framework)</li> <li>Cloud Service Providers: involving in AWS Cloud, Cloud Networking, and IAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software Development and Engineering: Software development, microservices, algorithms, data structures, object oriented design, Python (Programming Language), acceptance testing</li> <li>Development Tools and Environments: CircleCI, Terraform, development environment software (e.g., Apache Kafka; Apache Maven; Go; Oracle Java 2 Platform Enterprise Edition J2EE)</li> <li>Protocols and Standards: OPC Unified Architecture (OPC UA), open Platform Communication (OPC), protocol Buffers</li> <li>Cloud Security and Identity Management: Identity federation, Okta Identity Cloud, Security Assertion Markup Language (SAML), single Sign-On (SSO), AWS Cloud, Cloud Networking, and IAM</li> </ul>



Motor Vehicle Assembler			
Basic Skills	English Manuals Drawing	Handbooks Communication Schematics	Manual Dexterity Attention to Detail
Complex Problem Solving	Quality Control	Total Productive Maintenance	Quality Assurance
Social Skills	Attitude Change Coordinating Skills	Teamwork	Service Work
System Skills	Product Quality	Continuous Improvement	
Resource Management Skills	Multitasking	Construction Site Inspections	
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analytical and Design Tools: Analytical or Scientific Software (e.g., Harris Technologies BassBox; LinearTeam WinISD; True Audio WinSpeakerz; Yield - Werx)</li> <li>Quality Assurance and Maintenance: Quality Control, Zero Defects, Total Productive Maintenance (TPM)</li> <li>Visual and Technical Aids</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software Proficiency: Microsoft (Outlook, Office, Powerpoint, Excel, Word, Enterprise resource planning ERP software (e.g., SAP software), Computer aided design CAD software (e.g., WHE Term-PAK; Autodesk AutoCAD), Database user Interface and Query Software (e.g., Installalogy Access Client; MobileToys MAIDXl)</li> <li>Assembly and Mechanical Skills: Mechanical Assembly, Automotive Repair</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrial Control and Manufacturing Software: Industrial Control Software (e.g., Camstar Systems Camstar Semiconductor Suite; Eyelit Manufacturing)</li> <li>Project and Workflow Management: Atlassian JIRA, Apache Airflow, Atlassian Confluence, Management information systems MIS</li> </ul>



Software Developer			
Basic Skills	Analytical Reasoning	Communication	
Complex Problem Solving	Debugging	Root Cause Analysis	Agile Development
Social Skills	Constructive Feedback		
System Skills	Computer Science	Data Models	Integrated Systems
	Design Documents Industry standards	Technical Architecture	Product Requirements
Resource Management Skills	Building Performance	Operational Excellence	Agile Development
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programming and Markup Languages: C#, Java, JavaScript, Cascading Style Sheets (CSS), HTML, SQL, Scala, TypeScript, Objective C</li> <li>• Business and Data Analysis: Business Intelligence (BI), Data Science, Datasets, Extract, Transform, Load (ETL)</li> <li>• Frameworks and Libraries: .NET, Spring Framework, Apache Spark</li> <li>• Configuration and Integration Tools: Configure Price Quote (CPQ) Software</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Database Management: Microsoft SQL Server, Database management system software, Database user interface and query software, Database Procedures</li> <li>• Cloud Computing and Services: Azure Data Factory, ServiceNow, Web platform development software</li> <li>• Web Development and Front-End Technologies: Front-End Development, React.js, Redux.js, Web Applications, Web Services, Representational State Transfer (REST), Bootstrap, Vue.js</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Development Tools and Environments: Development environment software, Object or component-oriented development software, Powerbuilder</li> <li>• Software Development Practices: Application Development, Technical Architecture, Ops</li> <li>• Testing and Quality Assurance: Test Scripts</li> </ul>





Cyber Security Specialist			
Basic Skills	Writing English	Communication	Analytical Skills
Complex Problem Solving	Risk Analysis Corrective Actions	Root Cause	Incident Response
Social Skills	Teamwork	Peer Team Partnering	
System Skills	Business Analysis Risk Mitigation	Solution Integration Security Trends	Data Analytics Malicious Factor Management
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cybersecurity and Information Security Practices: Cybersecurity, Information Security, ISO Standards, Security Controls, Anti-spam, Encryption, Vulnerability, Vulnerability Assessment</li> <li>• Cloud Technologies and Security: Cloud Computing, Cloud Infrastructure, Cloud Security, Amazon Web Services (AWS)</li> <li>• Industrial Control and Systems</li> <li>• General IT Skills: Information Technology</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Networking and IT Infrastructure: Computer Networking, Networking, NT Client/Server Platform or Unix Client/Server Platform, system architecture components</li> <li>• Project and IT Management: IT Projects, installing and managing complex security solutions</li> <li>• Database Management and Systems: Knowledge of MySQL, SQL or Oracle DBs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operating Systems and Platforms: Great operating systems knowledge (both Microsoft and *NIX), Skills and Experience in at least two Platforms</li> <li>• Web Development and Front-End Technologies: Front-End Development, React.js, Redux.js, Web Applications, Web Services, Representational State Transfer (REST), Bootstrap, Vue.js</li> <li>• Technical Troubleshooting:</li> </ul>



Robotic Welder		
Basic Skills	Written and Verbal communication Skills	Communicate with internal and external parties. Mathematical, analytical, and organizational skills
Complex Problem Solving	Weld defect solutions	Carry out kaizen projects.
Technical Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>• General Computer Applications: Microsoft (Excel, Office, PowerPoint, Outlook), IBM Notes</li> <li>• Robotic Welding Processes: Robotic MIG, Resistance, Drawn Arc, and Projection Welding processes</li> <li>• Welding Equipment Operation: Servo Weld Guns operation, Line robots set-up</li> <li>• Process and Quality Management: MIG weld Process Tuning, Weld Schedule Optimization (GMAW), weld tooling PMs &amp; quality checks, weld schedule audits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automation Programming: OCTOPUZ Robot Programming and Simulation Software, Yaskawa Programming/Practical Experience,</li> <li>• Sensor Technologies: Yaskawa Touch Sense Experience, Wire or Laser</li> <li>• Safe Operations and Material Handling: safe material handling equipment operation</li> <li>• Control Systems and Troubleshooting: weld control troubleshooting (Bosch, WTC, Emhart, and Lincoln Weld controller), Allen Bradley PLC &amp; HMI programming</li> <li>• Training and Skill Development: train manual weld operators, manual welding parameter development</li> <li>• Enterprise and Data Management Software: enterprise resource planning (ERP) software usage, data base user interface and query software (e.g., Oracle Database; Recordkeeping software), calendar and scheduling software (e.g., OmniFleet Equipment Maintenance Management), analytical or scientific software (e.g., Fred's Tip Cartridge Picker; Scientific Software Group Filter Drain FD; Value Analysis), industrial control software (e.g., Tool center point TCP setting software)</li> <li>• Design Tools: AutoCAD, Karmax Software usage</li> </ul>



## Références

- <sup>1</sup> BOSTON CONSULTING GROUP. *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*, 2015. Sur Internet : [https://www.bcg.com/en-ca/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/en-ca/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries).
- <sup>2</sup> CANADA. *Passerelle du secteur de la fabrication au Canada*, 2018. Sur Internet : <https://ised-isde.canada.ca/site/passerelle-secteur-fabrication-canada/fr>.
- <sup>3</sup> FOCAL. *Analyse du marché du travail dans l'industrie automobile : technologie automobile — perspectives sur le marché du travail*, 2020. Sur Internet : [https://www.futureautolabourforce.ca/wp-content/uploads/2021/03/automotive-technology-forecast\\_fr.pdf](https://www.futureautolabourforce.ca/wp-content/uploads/2021/03/automotive-technology-forecast_fr.pdf).
- <sup>4</sup> NGEN. *Parés pour le futur : Innovation technologique et diversité de la main-d'œuvre dans le secteur de la fabrication de pointe*, 2023.
- <sup>5</sup> MANUFACTURIERS ET EXPORTATEURS DU CANADA. *Embracing change: Industry 4.0 and Canada's digital future in manufacturing*, 2017. Sur Internet : <https://cme-mec.ca/wp-content/uploads/2019/12/cme-mec-2019-tech-adoption-v8.pdf>.
- <sup>6</sup> La formation brute de capital fixe (FBCF) est une mesure de la valeur totale des investissements dans les biens matériels, qui peut être utilisée pour évaluer les investissements dans les infrastructures, les machines, les outils et les équipements tels que ceux liés aux technologies de l'I4.0.
- <sup>7</sup> MCKINSEY & COMPANY. *Industry 4.0 adoption with the right focus*, 2021. Sur Internet : <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/operations-blog/industry-40-adoption-with-the-right-focus>.
- <sup>8</sup> SIRIMANNE, S, N. *What is 'Industry 4.0' and what will it mean for developing countries?*, 2022. Sur Internet : <https://unctad.org/news/blog-what-industry-40-and-what-will-it-mean-developing-countries>.
- <sup>9</sup> DELOITTE. *Deloitte skills gap and future work in manufacturing study*, 2018. Sur Internet : [https://www.deloitte.com/content/dam/assets-shared/legacy/docs/insights/2022/dj\\_2018-deloitte-skills-gap-fow-manufacturing-study.pdf](https://www.deloitte.com/content/dam/assets-shared/legacy/docs/insights/2022/dj_2018-deloitte-skills-gap-fow-manufacturing-study.pdf).



- <sup>10</sup> SAS. *Intelligence artificielle – Présentation et intérêt*, 2022. Sur Internet : [https://www.sas.com/fr\\_ca/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html](https://www.sas.com/fr_ca/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html).
- <sup>11</sup> ERNST & YOUNG. *Sensors as drivers of Industry 4.0: A study on Germany, Switzerland and Austria*, 2019. Sur Internet : [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de\\_de/topics/industrial-products/ey-study-sensors-as-drivers-of-industry-4-0.pdf?download](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de_de/topics/industrial-products/ey-study-sensors-as-drivers-of-industry-4-0.pdf?download).
- <sup>12</sup> DELOITTE. *Utilisation d'écosystèmes pour accélérer la fabrication intelligente : analyse régionale*, 2023 Sur Internet : <https://www2.deloitte.com/ca/fr/pages/energy-and-resources/articles/accelerating-smart-manufacturing.html>.
- <sup>13</sup> INSTITUTE FOR MANUFACTURING. *Industrial IoT: benefits and applications for manufacturing*, Université de Cambridge, 2023. Sur Internet : <https://engage.ifm.eng.cam.ac.uk/project/industrial-iot-manufacturing-benefits/>.
- <sup>14</sup> FENDRI, M., F. BEZAMAT, et R. BEHAEGHE. *The future of manufacturing is powered by data and analytics*, 2023. Sur Internet : <https://www.weforum.org/agenda/2022/09/manufacturing-data-advanced-analytics/>.
- <sup>15</sup> WALKER, J, S. *Big data: A revolution that will transform how we live, work and think*, 2014.
- <sup>16</sup> APMA et CLOUDGRC. *Cybersecurity Innovation Conference (CSIC)*, 2020 Sur Internet :
- <sup>17</sup> HUELSMAN, T., et S. PEASLEY. *Cyber risk in advanced manufacturing*, Deloitte US, 2017. Sur Internet : <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/cyber-risk-in-advanced-manufacturing.html>.
- <sup>18</sup> DIXON, J., B. HONG, et L. WU. *The robot revolution: Managerial and employment consequences for firms*, NYU Stern School of Business, 2019. Sur Internet : [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3422581](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3422581).
- <sup>19</sup> MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. *A future that works: Automation, employment, and productivity*, 2017. Sur Internet : <https://www.mckinsey.com/featured-insights/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works/de-de>.
- <sup>20</sup> JAMWAL, A., R. AGRAWAL, M. SHARMA, et A. GIALLANZA. *Industry 4.0 technologies for manufacturing sustainability: A systematic review and future research directions*, 2021. Sur Internet : <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/12/5725>.



- <sup>21</sup> KÄSSER, M., W. RICHTER, G. Scherf, et C. Schrey. *Clearing the air on cloud: How industrial companies can capture cloud technology's full business value*, McKinsey & Company, 2021. Sur Internet : <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/clearing-the-air-on-cloud-how-industrial-companies-can-capture-cloud-technologys-full-business-value>.
- <sup>22</sup> MICROSOFT. *Qu'est-ce que le nuage?*, Microsoft Azure. Sur Internet : <https://azure.microsoft.com/fr-ca/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-the-cloud/>.
- <sup>23</sup> HILL, T. *Simulation is a window into the future of your manufacturing operation*, National Institute of Standards and Technology, 2022. Sur Internet : <https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/simulation-window-future-your-manufacturing-operation>.
- <sup>24</sup> MOURTZIS, D., M. DOUKAS, et D. BERNIDAKI. « Simulation in manufacturing: Review and challenges », *Procedia CIRP*, vol. 25 (2014), p. 213-229.
- <sup>25</sup> HO, P. T., et coll. *Preliminary study of Augmented Reality based manufacturing for further integration of Quality Control 4.0 supported by metrology*, 2021. Sur Internet : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1193/1/012105/meta>.
- <sup>26</sup> PWC. *For US manufacturing, virtual reality is for real: How virtual and augmented reality technologies are reimagining America's factory floors*, 2016. Sur Internet : <https://przemysl-40.pl/wp-content/uploads/2016-virtual-reality.pdf>.
- <sup>27</sup> IBM. *What is intelligent automation?*, 2022. Sur Internet : <https://www.ibm.com/topics/intelligent-automation>.
- <sup>28</sup> MCKINSEY & COMPANY. *What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR?*, 2022. Sur Internet : <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir>.
- <sup>29</sup> KPMG INTERNATIONAL *Future of supply chain – Customer centric supply chains: Shaping your customer experience*, 2021. Sur Internet : <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2021/11/customer-centric-supply-chain.pdf>.



- <sup>30</sup> CALIFORNIA MANUFACTURING TECHNOLOGY CONSULTING (CMTC). *Industry 4.0: Providing a better customer experience*, 2019. Sur Internet : <https://www.cmtc.com/blog/industry-4.0-providing-a-better-customer-experience>.
- <sup>31</sup> FRENETTE, M., et K. FRANK. *Automatisation et transformation des emplois au Canada : qui est à risque?*, Statistique Canada, Direction des études analytiques, 2020. Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/pub/11f0019m/11f0019m2020011-fra.pdf?st=1oltj9eq>.
- <sup>32</sup> ARNTZ, M., T. GREGORY, et U. ZIERAHN. *The risk of automation for jobs in the OECD countriesinterper: A comparative analysis*, 2016. Sur Internet : [https://wecglobal.org/uploads/2019/07/2016\\_oecd\\_risk-automation-jobs.pdf](https://wecglobal.org/uploads/2019/07/2016_oecd_risk-automation-jobs.pdf).
- <sup>33</sup> FREY, C. B., et M. A. OSBORNE. *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?*, 2013. Sur Internet : [https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/the\\_future\\_of\\_employment.pdf](https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/the_future_of_employment.pdf).
- <sup>34</sup> STATISTIQUE CANADA. *Correspondance entre la Classification nationale des professions (CNP) 2016 version 1.3 et la « Standard Occupational Classification (SOC) 2018 » (États-Unis)*. Sur Internet : [https://www.statcan.gc.ca/fr/programmes-statistiques/document/cnp2016v1\\_3-soc2018eu](https://www.statcan.gc.ca/fr/programmes-statistiques/document/cnp2016v1_3-soc2018eu).
- <sup>35</sup> CANADA. *Classification nationale des professions : Grande catégorie professionnelle*, 2023. Sur Internet : <https://noc.esdc.gc.ca/formation/gcp?goctemplateculture=fr-ca>.
- <sup>36</sup> STATISTIQUE CANADA. *Enquête sur la population active (EPA)*, 2023. Sur Internet : <https://www.statcan.gc.ca/fr/enquete/menages/3701>.