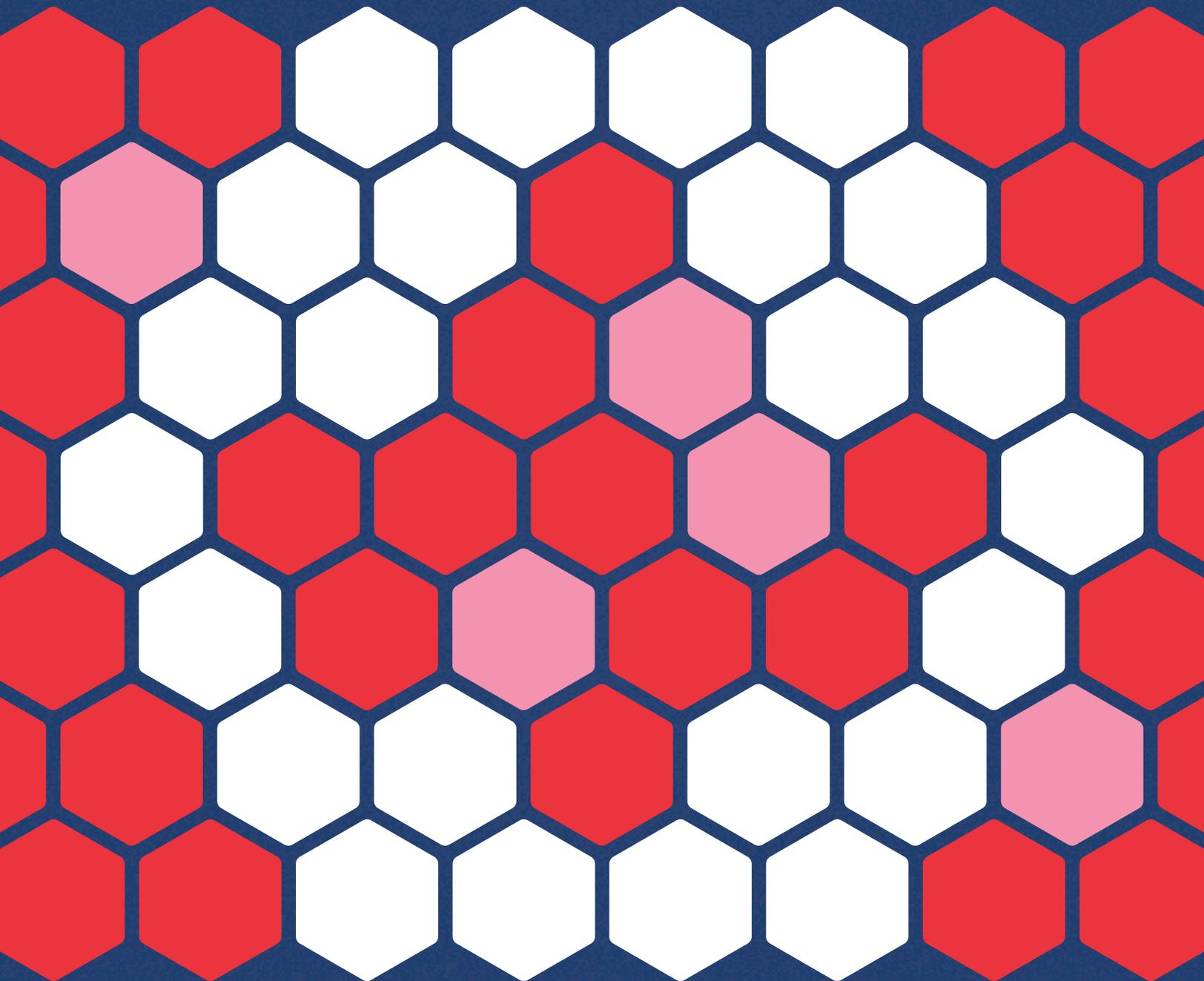


# Construire la future main-d'œuvre canadienne **dans le domaine de l'intelligence artificielle**

DANS LE MEILLEUR DES MONDES (POSTPANDÉMIE)



Mars  
2021

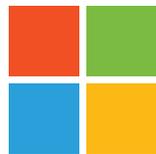


Recherche par



Conseil des technologies de l'information  
et des communications

Avec le soutien de



**Microsoft**

Microsoft Canada

# Préface

Le CTIC est un centre d'expertise national sans but lucratif qui renforce l'avantage numérique du Canada dans l'économie mondiale. Grâce à des recherches fiables, des conseils stratégiques pratiques et des programmes créatifs de renforcement des capacités, le CTIC favorise la compétitivité des industries canadiennes à l'échelle internationale grâce à des talents numériques novateurs et diversifiés. En partenariat avec un vaste réseau de chefs de file de l'industrie, de partenaires universitaires et de décideurs de partout au Canada, le CTIC favorise une économie numérique solide et inclusive depuis plus de 25 ans.

## **Pour citer ce rapport :**

Hamoni, R.; Lin, O.; Matthews, M. et Taillon, P. J. « Construire la future main-d'œuvre canadienne dans le domaine de l'intelligence artificielle dans le meilleur des mondes (postpandémie) ». (mars 2021). *Conseil des technologies de l'information et des communications*, Ottawa, Canada.

Recherche et rédaction par Peter J. Taillon, docteur en informatique (analyste principal des données), Mairead Matthews (analyste de la recherche et des politiques), Rosina Hamoni (analyste de la recherche) et Olivia Lin (analyste subalterne des données), avec le généreux soutien de l'équipe Recherche et politiques du CTIC.

Conception : Raymond Brand.

# Mots clés

Intelligence artificielle (IA)

Canada

COVID-19

Économie numérique

Compétences numériques

Professions numériques

Services financiers

Soins de santé

Technologies de l'information et des communications (TIC)

Entrevues avec des informateurs clés

Marché du travail

Apprentissage automatique

Amélioration des compétences

Travail à distance

Entreprises en démarrage

Talent

Technologie

Amélioration des compétences

# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>6</b>
<b>Introduction</b>	<b>8</b>
<i>La résilience technologique et l'économie canadienne dans le contexte de la COVID-19</i>	8
<i>COVID-19 et adoption numérique accrue</i>	11
<i>Dé s actuels du marché du travail</i>	13
<b>Section I : l'intelligence arti cielle dans les services nanciers</b>	<b>18</b>
<i>Collaborer avec les experts : services financiers</i>	19
<i>Points clés</i>	21
L'avenir de l'IA	21
Utilisation de la technologie de l'intelligence artificielle	21
Talent, formation et éducation	22
<b>Section II : l'intelligence arti cielle dans les soins de santé</b>	<b>23</b>
<i>Collaborer avec les experts : soins de santé</i>	23
<i>Points clés</i>	25
L'avenir de l'IA	25
Utilisation de la technologie de l'intelligence artificielle	25
Talent, formation et éducation	26
<b>Section III : constitution d'une équipe d'intelligence arti cielle</b>	<b>27</b>
<i>Rôles et compétences clés</i>	27
<i>Cycle des produits</i>	30
<i>Intersection de l'expertise</i>	31
<b>Section IV : favoriser un vivier de talents en matière d'intelligence arti cielle</b>	<b>32</b>
« Formation croisée » contre « amélioration de compétences »	33
<i>Défis</i>	34
<i>Étude de cas</i>	35
<b>Conclusion</b>	<b>37</b>
<b>Annexe A : méthodologie</b>	<b>39</b>
<i>Recherche primaire</i>	39
<i>Recherche secondaire</i>	40
<i>Limites de la recherche</i>	40
<b>Annexe B : intelligence arti cielle — compétences de l'équipe des sciences des données</b>	<b>41</b>
<b>Annexe C : informations détaillées sur le programme d'études</b>	<b>44</b>

# Résumé

Les finances et les soins de santé sont les deux pierres angulaires de toute nation du G7 : l'une reflète la santé économique de la nation, l'autre la santé de ses citoyens. Les récents progrès de l'intelligence artificielle (IA) appliquée dans ces domaines montrent un potentiel d'innovation incroyable : un meilleur engagement des clients et des patients, une plus grande responsabilisation des employés, une plus grande efficacité opérationnelle et une transformation de l'industrie. Associée à l'infonuagique, à l'analyse des mégadonnées, à la cybersécurité et à l'Internet des objets (IdO), l'IA n'est qu'un des nombreux outils qui favorisent la transformation numérique. Son rôle est d'opérationnaliser les réserves croissantes d'informations de plus en plus disponibles dans toutes les industries.

Dans ce contexte, une exigence cruciale est la capacité d'un pays à créer et à maintenir une main-d'œuvre formée qui peut conduire ses industries à prospérer. La pandémie de COVID-19 a entraîné un changement de paradigme en ce qui concerne le lieu de travail, l'accent étant mis sur le travail à distance (et le travail à domicile), accélérant à la fois la croissance et l'adoption du numérique. L'impact économique négatif sur les entreprises nécessitera l'adoption de nouveaux moyens pour optimiser les opérations et rendre la main-d'œuvre plus efficace. La technologie de l'IA est appelée à jouer un rôle essentiel dans la réussite de ce réalignement.

Dans ce rapport complet, le CTIC explore le soutien nécessaire à la main-d'œuvre numérique du Canada pour acquérir des compétences en IA par le biais de diverses voies de formation : de vastes initiatives d'amélioration des compétences pour cibler les compétences numériques largement nécessaires et des programmes stratégiques de formation croisée pour répondre aux besoins aigus comme ceux dans le domaine de l'IA. L'utilisation de l'IA dans les soins de santé et les services financiers nécessite des équipes très expérimentées composées de personnes ayant une formation de niveau supérieur (par exemple, niveau maîtrise ou doctorat) en IA, en affaires et en connaissances spécifiques à un domaine. L'une des principales conclusions de ce rapport est l'écart de connaissances qui existe entre chacun de ces sous-groupes au sein des équipes de développement de produits d'IA. Dans les secteurs des soins de santé et des services financiers, il arrive souvent que les experts du domaine, les experts en IA ou en apprentissage automatique, et les conseillers en stratégie commerciale n'aient pas une compréhension commune des domaines d'expertise des autres, ce qui réduit ainsi leur capacité à collaborer efficacement sur les produits d'IA. Sur la base d'entrevues avec des chefs de file de l'IA dans les secteurs des services financiers et des soins de santé, ce rapport propose deux nouvelles méthodes de formation professionnelle : des formations croisées ciblées entre les experts en IA, les experts des affaires et ceux du domaine; et des programmes de mentorat et de soutien. De plus, le CTIC recommande les appels à l'action suivants :

- Les entreprises et les organisations qui développent des produits d'IA destinés à être utilisés dans les secteurs des soins de santé et des services financiers doivent s'assurer que leurs équipes de développement disposent d'une formation croisée adéquate, avec un savoir-faire technique, de domaine et commercial suffisant. L'industrie devrait donc donner la priorité à la formation multidisciplinaire croisée au sein des équipes d'IA.
- La stratégie du Canada pour le développement des compétences en IA devrait inclure la formation polyvalente comme pilier fondamental des efforts de développement de la main-d'œuvre. Par exemple, les acteurs gouvernementaux pourraient inclure les besoins aigus en matière de compétences (tels que le besoin de formation polyvalente au sein des équipes d'IA) dans les plans et programmes futurs découlant des accords sur le développement de la main-d'œuvre.<sup>1</sup>
- Les établissements universitaires canadiens devraient évaluer la disponibilité (et l'accessibilité) des cours liés à l'IA dans les programmes non techniques tels que les programmes de commerce, de finance ou de médecine, et la disponibilité des cours spécifiques à un domaine dans les programmes techniques tels que la science des données ou le génie informatique.
- À la lumière de l'impact économique de la COVID-19 sur l'emploi au Canada et de la résilience du secteur technologique au cours de la pandémie, le gouvernement fédéral devrait continuer à prioriser et à soutenir les programmes de perfectionnement à distance afin de répondre aux besoins généraux en matière de compétences en technologies de l'information et des communications (TIC).
- Les parties prenantes des secteurs fortement réglementés comme les services financiers et les soins de santé devraient collaborer avec les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux pour établir des normes de gouvernance des données à l'échelle de l'industrie et des mécanismes de partage des données sécurisés afin de permettre un accès plus large et plus sûr aux données.

Considéré comme une opportunité, l'investissement du gouvernement et des employeurs dans des filières de formation non traditionnelles peut contribuer à alimenter l'économie numérique en travailleurs hautement qualifiés et servir de tremplin à la reprise économique.

<sup>1</sup> « About the Workforce Development Agreements program », Gouvernement du Canada, <https://www.canada.ca/en/employment-social-development/programs/training-agreements/workforce-development-agreements.html>

# Introduction

## La résilience technologique et l'économie canadienne dans le contexte de la COVID-19

Pour comprendre le rôle essentiel de l'IA dans la reprise économique postpandémique au Canada, il est nécessaire de mettre en contexte l'impact de la COVID-19 sur les TIC en général : cette section d'introduction donnera un bref aperçu de l'impact de la pandémie de COVID-19 sur le secteur des TIC et l'économie canadienne en général, avant d'aborder le rôle de l'IA. Un an après le début de la crise sanitaire de la COVID-19, les Canadiens commencent à comprendre certains des impacts à moyen et long terme sur l'économie canadienne. À l'instar de nombreux pays, la réponse sanitaire du Canada à la pandémie mondiale (y compris les ordres de distanciation sociale et les confinements successifs) a déclenché la diminution de l'emploi et du produit intérieur brut (PIB) la plus rapide et la plus importante de l'histoire du Canada. Comme le montre la figure 1, l'emploi a chuté de plus de 15 % en quelques mois seulement, passant de 18,9 millions en février 2020 à 16 millions en avril 2020.

### Emploi au Canada — Non corrigé des variations saisonnières

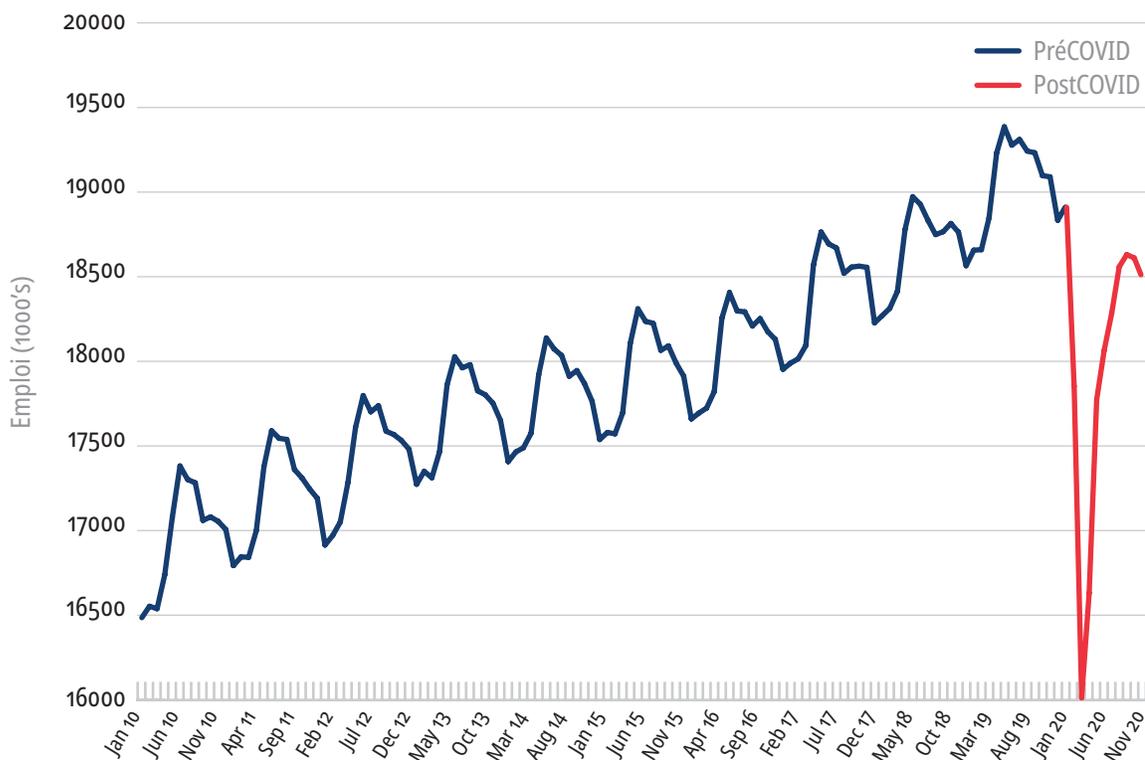


Figure 1. Emploi au Canada (non corrigé des variations saisonnières).<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Statistique Canada. Tableau 14-10-0287-01 Caractéristiques de la population active, données mensuelles désaisonnalisées et la tendance-cycle, 5 derniers mois DOI : <https://doi.org/10.25318/1410028701-eng>

À partir d'avril, l'emploi au Canada s'est rapidement redressé : en décembre 2020, l'emploi global était légèrement inférieur aux niveaux d'avant la crise. Cependant, en y regardant de plus près, on constate que les gains d'emploi depuis avril 2020 ne sont pas répartis de manière égale. Aujourd'hui, les Canadiens âgés de 15 à 24 ans et de 65 ans ou plus sont plus susceptibles d'être au chômage, tout comme les femmes et les Canadiens qui gagnaient un faible salaire avant la pandémie.<sup>3</sup> L'aspect le plus troublant de cette tendance de l'emploi est peut-être le fait qu'en décembre 2020, l'emploi pour les deux tiers des salariés les mieux payés avait en fait augmenté. Entre-temps, toutes les pertes d'emploi persistantes se sont concentrées sur les plus bas salaires de la société canadienne, ce qui montre que les Canadiens les plus vulnérables sur le plan économique ont subi les plus grandes perturbations sur le marché du travail.<sup>4</sup>

La COVID-19 a également eu un impact différent sur chaque secteur d'emploi. Certains secteurs, tels que le secteur de l'hébergement et de la restauration, ont été plus directement touchés par les ordres de distanciation sociale et les confinements au niveau économique et ont donc connu des pertes d'emploi plus importantes (l'emploi dans le secteur de l'hébergement et de la restauration a chuté de 24,4 % de janvier à décembre 2020). De même, l'immobilier et la construction ont été fortement touchés par le passage soudain des immeubles de bureaux au travail à distance. En revanche, les secteurs qui étaient (a) considérés comme des services essentiels et sont restés ouverts malgré les ordres de confinement (par exemple, les services publics, la construction); (b) nécessaires à la réponse à la pandémie COVID-19 (par exemple, les soins de santé et l'assistance sociale, l'industrie manufacturière); ou (c) particulièrement bien adaptés au télétravail (par exemple, les TIC, la finance et l'assurance) ont connu moins de pertes d'emploi et, dans certains cas, des gains d'emploi (voir la figure 2). Ainsi, les données de Statistique Canada montrent que l'emploi dans le secteur des TIC a augmenté de 9,7 % de janvier à décembre 2020, alors que l'emploi global a diminué de 1,8 %. De même, les données de LinkedIn montrent que les dix emplois les plus demandés tout au long de la pandémie ont été liés à la technologie.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Ryan McLaughlin, « January 2021 Economic Update », Medium, Janvier 2021, <https://medium.com/digitalthinktankictc/2020-economic-update-25f234f33739>

<sup>4</sup> Ryan McLaughlin, « January 2021 Economic Update », Medium, Janvier 2021, <https://medium.com/digitalthinktankictc/2020-economic-update-25f234f33739>

<sup>5</sup> LinkedIn, <https://opportunity.linkedin.com/skills-for-in-demand-jobs>

## Variation en pourcentage de l'emploi— De janvier à décembre

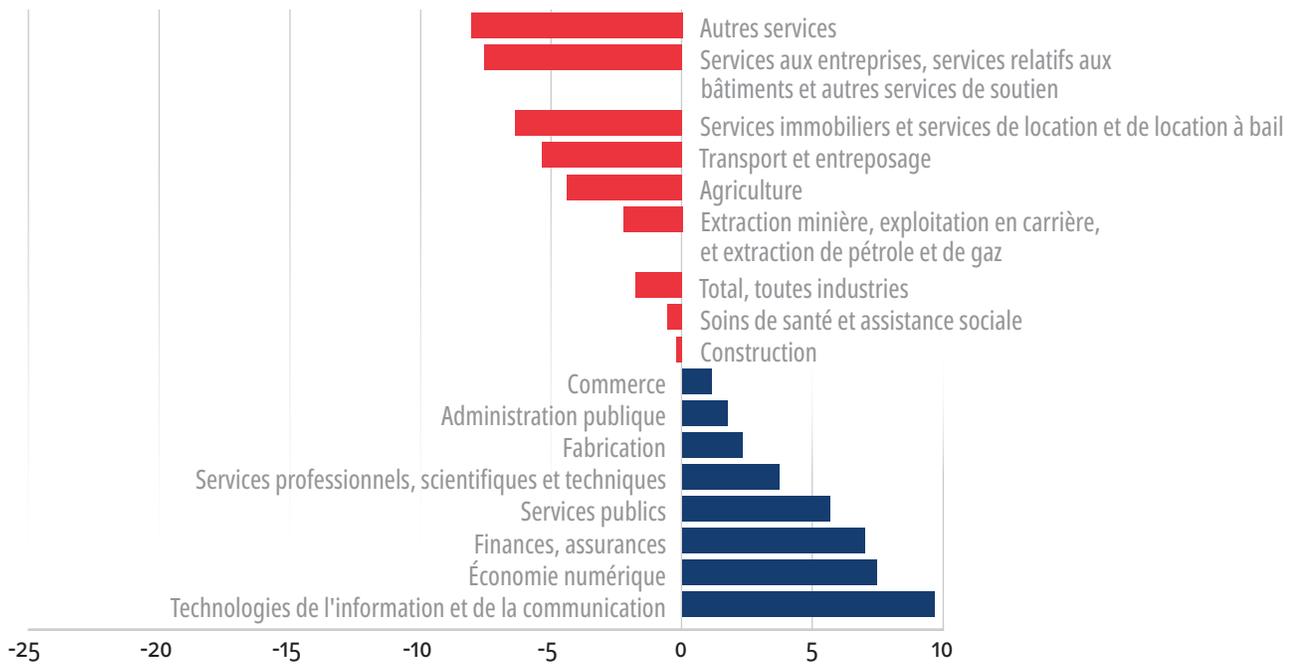


Figure 2. Variation en pourcentage de l'emploi (de janvier à décembre).<sup>6</sup>

Comme pour l'emploi, le PIB canadien a chuté de manière drastique de mars à avril pour atteindre des niveaux inférieurs à ceux de 2011 ; en octobre, il s'était redressé pour ne plus être qu'à 3,5 % en dessous des niveaux d'octobre 2019. Là encore, l'impact de la pandémie sur le PIB n'a pas été ressenti de la même manière dans l'ensemble de l'économie canadienne, mais a varié considérablement d'un secteur à l'autre. Dans le secteur des TIC, le PIB n'a d'abord été retardé que d'un an environ, mais en octobre, il avait progressé d'une année sur l'autre (voir *figure 3*). Ensemble, les tendances du PIB et les données sur l'emploi montrent à quel point l'industrie technologique a fait preuve de résilience tout au long de la pandémie.

<sup>6</sup> Statistique Canada. Tableau 14-10-0287-01 Caractéristiques de la population active, données mensuelles désaisonnalisées et la tendance-cycle, 5 derniers mois DOI : <https://doi.org/10.25318/1410028701-eng>

## Produit intérieur brut du Canada et du secteur des TIC—mensuel

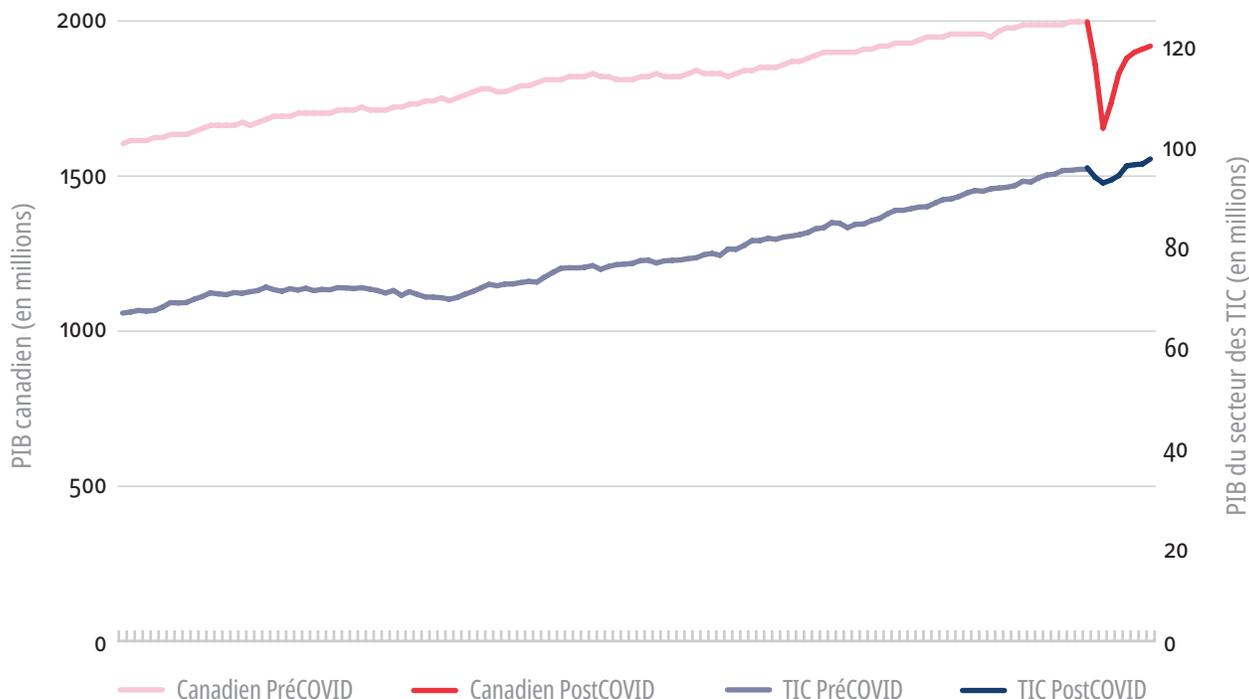


Figure 3. PIB du Canada.<sup>7</sup>

## COVID-19 et adoption numérique accrue

Avant la pandémie, l'adoption du numérique entraînait déjà une amélioration de l'engagement des clients et de l'efficacité opérationnelle, les chefs de file dans ce domaine générant en moyenne 100 millions de dollars étasuniens de revenus d'exploitation supplémentaires chaque année.<sup>8</sup> Cela dit, il y avait déjà une concurrence féroce pour les compétences numériques largement recherchées. Partout au Canada, les entreprises du secteur des TIC connaissaient d'importantes pénuries de main-d'œuvre et un déficit modéré à sévère des compétences nécessaires pour exploiter les technologies nouvelles et émergentes. En 2020, trois villes canadiennes ont été désignées parmi les 15 marchés des TIC à la croissance la plus rapide au monde, et Toronto a été déclarée le marché de l'emploi des TIC à la croissance la plus rapide au monde.<sup>9</sup> Dans le même temps, environ 50 % de tous les départements des technologies de l'information (TI) en Amérique du Nord se sont identifiés comme manquant de personnel ou en sous-effectif en ce qui concerne les fonctions liées aux TIC.<sup>10</sup>

<sup>7</sup> Statistique Canada. Tableau 14-10-0287-01 Caractéristiques de la population active, données mensuelles désaisonnalisées et la tendance-cycle, 5 derniers mois DOI : <https://doi.org/10.25318/1410028701-eng>

<sup>8</sup> « Your Roadmap for a digital-first business, Transformation at Microsoft », Microsoft, <https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/dynamics365-en-digital-transformation.pdf>

<sup>9</sup> « 2019 Tech Talent Analyzer », CBRE, 2019, <https://mapping.cbre.com/maps/Scoring-Tech-Talent-2019/>

<sup>10</sup> « In-demand technology and IT jobs in 2021 », Randstad, 2019, <https://www.randstad.ca/best-jobs/best-it-and-technology-jobs/>

Depuis la pandémie, l'adoption du numérique a encore augmenté. Une enquête réalisée en juillet 2020 auprès de 800 chefs d'entreprise a révélé que cinq mois seulement après le début de la pandémie de COVID-19, 38 % des entreprises avaient déjà accéléré la numérisation de leurs chaînes d'approvisionnement, 48 % avaient augmenté la numérisation de leurs canaux de clientèle et 85 % avaient accru la numérisation des interactions et de la collaboration des employés.<sup>11</sup> Entre-temps, les Canadiens ont commencé à utiliser davantage la technologie dans tous les domaines de leur vie : pour assister à une consultation du gouvernement local ou à une assemblée publique locale, pour rencontrer un conseiller financier,<sup>12</sup> et pour le travail et l'école.<sup>13</sup> Rien que l'année dernière, l'emploi canadien dans les TIC a augmenté de 9,7 %, et les données de LinkedIn suggèrent qu'à l'avenir, l'emploi mondial dans les rôles numériques augmentera encore de 363 %, grâce aux emplois dans le développement de logiciels, les technologies de l'infonuagique, l'analyse de données, l'apprentissage automatique et l'IA (voir *figure 4*).<sup>14</sup>

### Capacité d'emploi numérique de 2020 à 2025

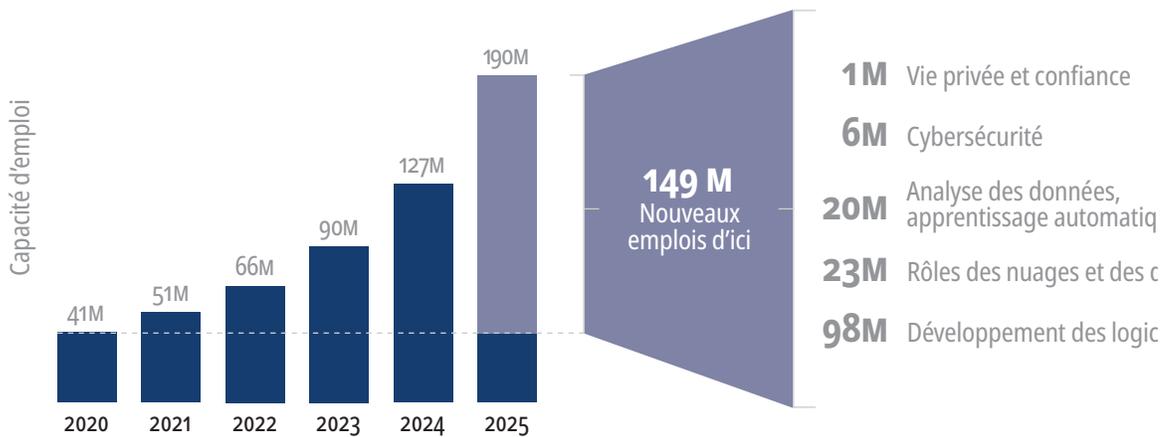


Figure 4. « Le grand confinement va accélérer la numérisation », Source : Microsoft, 2020.<sup>15</sup>

Une combinaison unique d'outils numériques, notamment l'infonuagique, la cybersécurité, les technologies de l'information, les mégadonnées et l'intelligence artificielle, est essentielle au plan de transformation de toute entreprise.<sup>16</sup> Alors que de plus en plus d'entreprises se mettent en route pour *devenir numériques*, les

<sup>11</sup> « What 800 executives envision for the post pandemic workforce », McKinsey & Company, septembre 2020, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/what-800-executives-envision-for-the-postpandemic-workforce>

<sup>12</sup> Note: Avant la COVID-19, seuls 11 % des Canadiens avaient parlé à un conseiller bancaire par appel vidéo, mais plus de quatre sur dix (44 %) ont déclaré qu'ils seraient prêts à le faire lors de la réouverture des agences, et 29 % ont déclaré qu'ils préféreraient les appels vidéo aux réunions en face à face. « Banking Consumer Study: Making digital more human », Accenture, décembre 2020, <https://www.accenture.com/ca-en/insights/banking/consumer-study-making-digital-banking-more-human?src=SOMS>

<sup>13</sup> « Canadian workforce of the future survey », PwC, <https://www.pwc.com/ca/workforcesurvey>

<sup>14</sup> Brad Smith, « Microsoft launches initiative to help 25 million people worldwide acquire the digital skills needed in a COVID-19 economy », Microsoft, juin 2020, <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/06/30/microsoft-launches-initiative-to-help-25-million-people-worldwide-acquire-the-digital-skills-needed-in-a-covid-19-economy/>

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> Les appareils IdO pour saisir et transmettre des informations précieuses en temps réel ; les mégadonnées pour structurer de grandes quantités d'informations ; les technologies du nuage pour stocker et traiter les informations de manière efficace et à grande échelle ; les outils de cybersécurité pour assurer la protection et l'intégrité des systèmes informatiques ; et l'IA pour interpréter et rendre les données opérationnelles.

compétences liées à ces outils continueront de faire l'objet d'une demande accrue. Si le Canada veut maintenir les niveaux actuels de croissance du secteur des TIC, l'industrie et le gouvernement devront s'engager dans des efforts globaux pour façonner la main-d'œuvre canadienne : cela nécessitera une série d'initiatives, notamment des programmes de perfectionnement généraux, des formations croisées et des mentorats ciblés, ainsi que l'attraction des meilleurs talents étrangers.

## Défis actuels du marché du travail

Comme nous l'avons vu, la pandémie de COVID-19 a généré un taux de chômage élevé dans certains secteurs de l'économie canadienne, créant un besoin urgent d'aider les demandeurs d'emploi à trouver de nouveaux rôles. Parallèlement, l'adoption croissante du numérique a entraîné deux défis urgents sur le marché du travail : le besoin considérable de talents possédant des compétences numériques largement recherchées dans des domaines tels que le développement de logiciels, l'analyse de données et le marketing numérique (qui coïncide avec la nécessité de lutter contre le chômage); et le besoin de talents hautement qualifiés, de niveau moyen à supérieur, afin de guider l'adoption du numérique et l'innovation dans des secteurs clés tels que les soins de santé et les services financiers. Ces défis sont uniques, ce qui signifie qu'ils devront être relevés de différentes manières. Par exemple, il est possible de répondre aux besoins généraux en matière de compétences numériques en attirant au Canada des talents étrangers dans le domaine des TIC, en encourageant les futurs talents à poursuivre leurs études dans les domaines des TIC et en créant de nouvelles façons pour les talents non spécialisés dans les TIC de développer des compétences numériques en demande. Par ailleurs, les besoins en compétences de niveau moyen à supérieur pourraient être satisfaits par des formations croisées stratégiquement ciblées.

### Répondre aux besoins de compétences générales grâce à l'amélioration des compétences

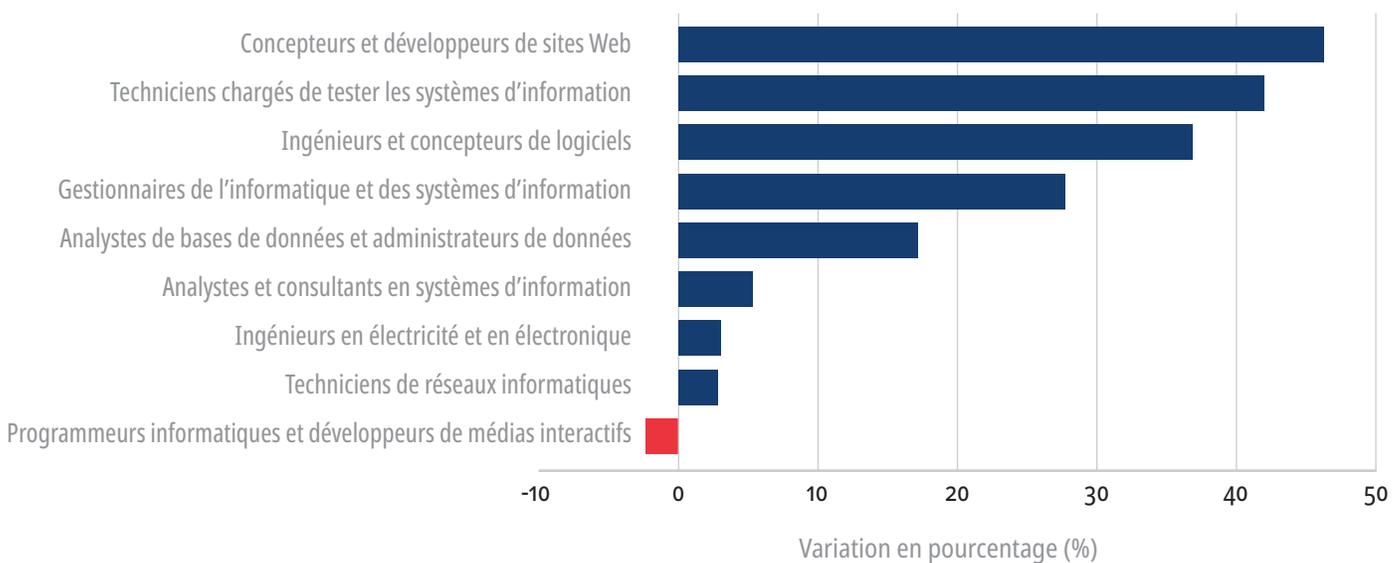
Les données de LinkedIn montrent que, dans le monde, les dix emplois les plus demandés pendant la pandémie sont liés à la technologie. Certains de ces rôles sont techniques, notamment les développeurs de logiciels, les analystes de données, les administrateurs informatiques, les chefs de projet et les graphistes; d'autres sont adjacents à la technologie, notamment les chefs de projet, le personnel de soutien informatique, les représentants commerciaux, les spécialistes du service à la clientèle, les spécialistes du marketing numérique et les analystes financiers.<sup>17</sup> Les données de Statistique Canada identifient en outre les rôles dans les TIC qui ont connu une demande accrue au Canada. Cette liste comprend les concepteurs et les développeurs Web, les techniciens de test des systèmes d'information, ainsi que les ingénieurs et les concepteurs de logiciels (voir *figure 5*).

En juin 2020, en réponse à cette demande croissante, Microsoft, LinkedIn et Github

<sup>17</sup> LinkedIn, <https://opportunity.linkedin.com/skills-for-in-demand-jobs>

ont lancé ensemble une initiative mondiale en matière de compétences pour aider 25 millions de personnes dans le monde à acquérir de nouvelles compétences pour des emplois en demande.<sup>18</sup> L'initiative se concentre sur l'enseignement des compétences techniques et humaines nécessaires à l'obtention d'un emploi dans l'un des dix rôles les plus demandés identifiés par LinkedIn. Selon Microsoft, ces rôles ont non seulement bénéficiés « le plus grand nombre d'offres d'emploi » et « d'une croissance constante au cours des quatre dernières années », mais ils offrent également un salaire décent et requièrent des compétences qui peuvent être enseignées et acquises dans des environnements en ligne.<sup>19</sup> Plus récemment, en novembre 2020, le gouvernement du Canada a également annoncé un investissement supplémentaire de 1,5 milliard de dollars dans les accords provinciaux et territoriaux de développement de la main-d'œuvre, ce qui souligne l'importance continue des initiatives de formation des compétences au Canada.<sup>20</sup>

### Évolution normalisée de l'emploi dans les professions numériques de base de janvier à décembre 2020



**Figure 5.** Variation normalisée de l'emploi dans les professions numériques de base (variation en pourcentage de l'emploi de janvier à décembre 2020).<sup>21</sup>

<sup>18</sup> Brad Smith, « Microsoft launches initiative to help 25 million people worldwide acquire the digital skills needed in a COVID-19 economy », Microsoft, Juin 2020, <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/06/30/microsoft-launches-initiative-to-help-25-million-people-worldwide-acquire-the-digital-skills-needed-in-a-covid-19-economy/>

<sup>19</sup> Ibid.

<sup>20</sup> "Fall Economic Statement 2020 Supporting Canadians and Fighting COVID-19", Gouvernement du Canada, <https://www.budget.gc.ca/fes-eea/2020/report-rapport/toc-tdm-en.html>

<sup>21</sup> Statistique Canada. Table 14-10-0287-01 Labour force characteristics, monthly, seasonally adjusted and trend-cycle, last 5 months DOI: <https://doi.org/10.25318/1410028701-eng>

## Répondre aux besoins aigus en matière de compétences grâce à la formation croisée

Il est compréhensible que tous les besoins du marché du travail ne se prêtent pas à des initiatives d'amélioration des compétences. Les autres sections de ce rapport traitent du besoin aigu de talents multidisciplinaires de niveau moyen à supérieur dans le domaine de l'IA. Contrairement aux besoins généraux en matière de compétences numériques, ce besoin aigu n'est pas suffisamment pris en compte par les initiatives de perfectionnement professionnel et nécessitera une formation croisée ciblée au sein des équipes de développement de l'IA. Des professionnels hautement qualifiés dans le domaine de l'IA étaient déjà recherchés avant la pandémie. Depuis lors, l'adoption d'outils automatisés et artificiels a encore accéléré.<sup>22</sup> En réponse à l'impact de la pandémie, les entreprises cherchent de nouvelles façons d'optimiser leurs opérations tout en rendant leur main-d'œuvre plus efficace. La technologie de l'IA est appelée à jouer un rôle central dans ce processus : il est crucial que la main-d'œuvre non seulement adopte l'IA, mais comprenne et puisse concevoir des solutions d'IA. C'est pourquoi ce rapport examine les besoins aigus en talents dans deux secteurs clés du Canada : les services financiers et les soins de santé.

De décembre 2020 à janvier 2021, les rôles en IA et apprentissage automatique dans les secteurs des services financiers et des soins de santé ont connu une croissance modérée. De mai 2020 à janvier 2021, les offres d'emploi uniques dans ces catégories ont augmenté de 35 % (malgré le ralentissement économique pendant la période de la COVID-19), principalement en raison de nouvelles offres d'emploi en Ontario, au Québec et en Colombie-Britannique (voir *figure 7*). Dans ce contexte de croissance, l'IA a transformé les soins de santé en réduisant les coûts et en améliorant les résultats tant pour les prestataires de soins que pour les patients. Par exemple, la société Analytics 4 Life, basée à Toronto, combine l'IA avec la modélisation mathématique dans le but d'améliorer les diagnostics de maladies comme les maladies coronariennes. Les méthodes traditionnelles de dépistage des maladies coronariennes nécessitent des appareils coûteux qui ne sont généralement disponibles que dans les grands centres urbains. CorVista, en revanche, facilite un diagnostic moins coûteux et non invasif en scannant le corps, en transmettant les données acquises à un nuage sécurisé, en effectuant des analyses et en produisant un rapport destiné à l'évaluation du médecin.<sup>23</sup> CorVista réduit les délais de diagnostic des médecins ainsi que les temps d'attente des patients, et peut même accroître la précision du diagnostic. Dans le domaine des services financiers, des sociétés comme Mylo utilisent le traitement du langage naturel (TLN) et l'apprentissage automatique pour alimenter des robots conversationnels interactifs et des « robots-conseillers » qui non seulement aident à répondre aux demandes de services et d'informations génériques, mais fournissent également aux clients des conseils financiers personnalisés et des solutions d'auto-assistance.<sup>24</sup>

<sup>22</sup> « What 800 executives envision for the postpandemic workforce », McKinsey & Company, septembre 2020, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/what-800-executives-envision-for-the-postpandemic-workforce>

<sup>23</sup> Analytics 4 Life, <https://www.analytics4life.com/press-release/analytics-4-life-to-present-new-clinical-data-on-novel-cardiac-imaging-technology-using-machine-learned-algorithms-at-the-transcatheter-cardiovascular-therapeutics-tct-2017-scientific-symposium/>

<sup>24</sup> Arthur Bachinskiy, « The Growing Impact of AI in Financial Services: Six Examples, Towards Data Science », février 2019, <https://towardsdatascience.com/the-growing-impact-of-ai-in-financial-services-six-examples-da386c0301b2>

## IA et apprentissage automatique dans les services financiers et les soins de santé : Offres d'emploi uniques

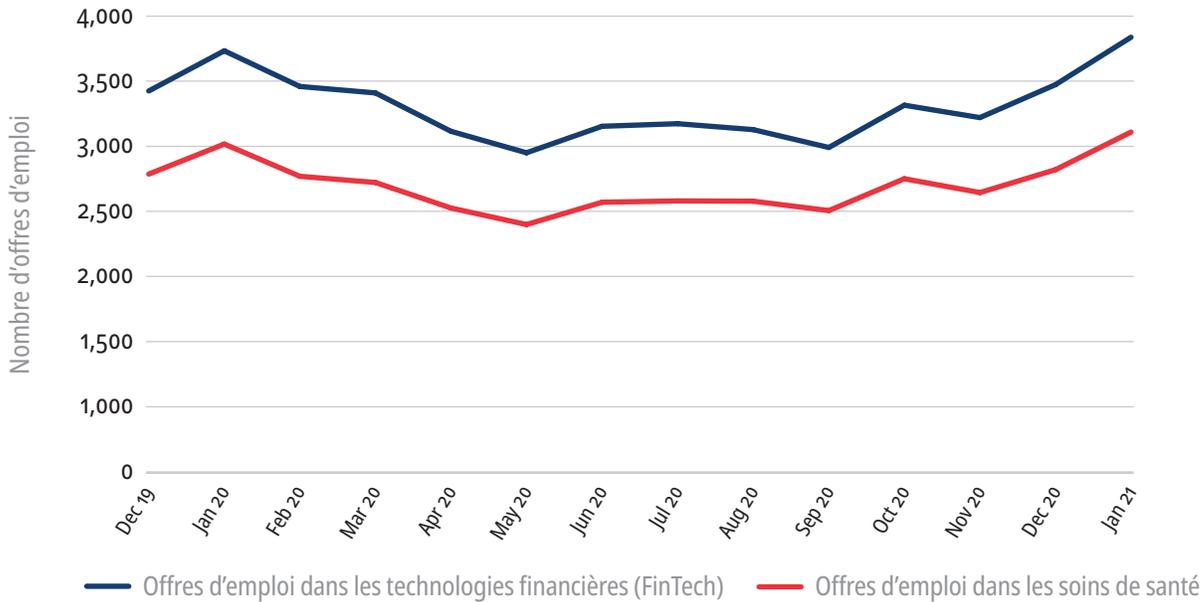


Figure 6. IA et apprentissage automatique dans la technologie financière et les soins de santé : des offres d'emploi uniques dans le contexte de la COVID-19.<sup>25</sup>

## IA et apprentissage automatique dans la technologie financière et les soins de santé : offres d'emploi uniques par région

Décembre 2019 à janvier 2021

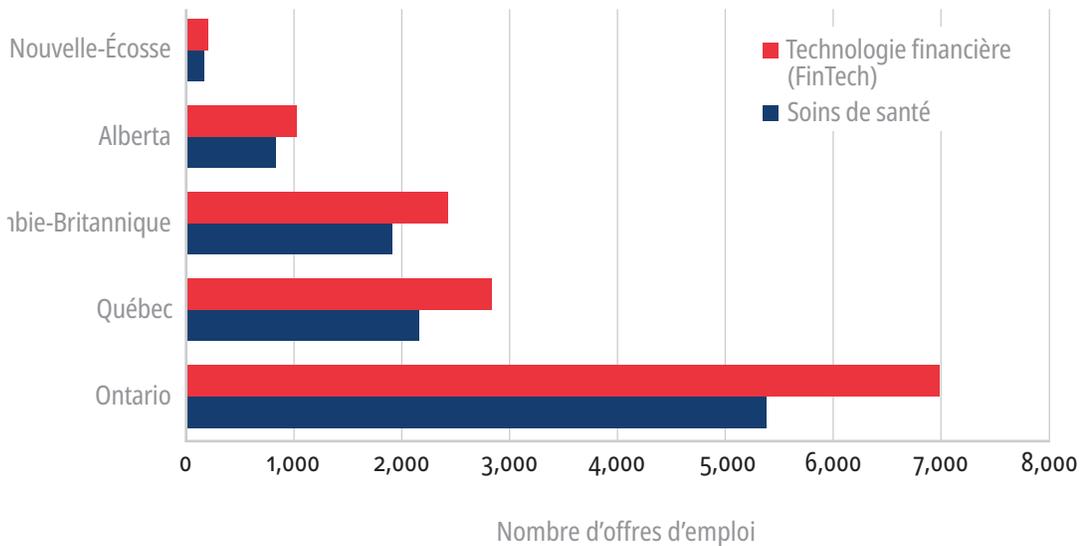


Figure 7. IA et apprentissage automatique dans la technologie financière et les soins de santé : offres d'emploi uniques par région (décembre 2019 à janvier 2021).<sup>26</sup>

<sup>25</sup> CTIC, 2021.

<sup>26</sup> CTIC, 2021.

Malgré ces avantages et le succès des entreprises en démarrage et des centres de recherche sur l'IA au Canada, il existe encore des lacunes évidentes dans la capacité du Canada à exploiter pleinement le potentiel de l'IA dans des créneaux et des espaces réglementaires complexes comme les services financiers et les soins de santé.<sup>27</sup> L'utilisation de l'IA dans ces secteurs nécessite des équipes très expérimentées composées de trois sous-groupes : des experts en IA de niveau supérieur, des professionnels du monde des affaires et des personnes possédant des connaissances approfondies dans un domaine spécifique. Le principal défi est le fait que de nombreuses équipes de développement sont confrontées à un écart de connaissances important entre ces sous-groupes : experts du domaine, experts en IA/apprentissage automatique et conseillers en stratégies commerciales. L'absence d'une compréhension commune des domaines d'expertise des uns et des autres entrave leur capacité à communiquer et à collaborer sur les produits d'IA. Il est essentiel de se concentrer sur les solutions permettant de combler ces lacunes par des initiatives telles que des programmes de formation croisée et de mentorat, et les programmes qui offrent une certaine méthode de préparation pour la prochaine génération sont essentiels.

Les sections I et II de ce rapport abordent plus en détail l'utilisation de l'IA dans les secteurs des services financiers et des soins de santé, en fournissant des informations clés sur les utilisations actuelles et futures de l'IA dans chaque secteur, ainsi que sur les talents, les formations et les parcours éducatifs disponibles. La section III examine ensuite ce qui est nécessaire pour constituer une équipe de développement de produits d'IA, y compris les rôles clés et les compétences requises au cours du cycle de développement du produit. Cette section souligne plus en détail la nécessité d'une intersection d'expertise entre les experts en IA, les experts de domaine et les professionnels du développement commercial. Enfin, la section IV apporte une solution aux défis évoqués. Elle présente l'opportunité d'une formation croisée pour les équipes de développement de produits d'IA et applique la solution à une étude de cas pertinente du secteur de la santé.

<sup>27</sup> « AI Looks North: Bridging Canada's Corporate Artificial Intelligence Gap », McKinsey&Company, 2018, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/artificial%20intelligence/ai%20looks%20north%20bridging%20canadas%20corporate%20artificial%20intelligence%20gap/ai-looks-north-bridging-canadas-corporate-artificial-intelligence-gap.ashx>

# Section I

# **l'intelligence artificielle dans les services financiers**

Le secteur des services financiers englobe la banque et la finance, la gestion d'actifs et de patrimoine, le crédit, l'assurance et les technologies financières. Il contribue à environ 7 % du PIB du Canada et emploie plus de 800 000 Canadiens.<sup>28</sup> Les services financiers sont répartis dans tout le Canada, avec de grands pôles d'activité à Toronto, Montréal, Calgary et Vancouver.<sup>29</sup>

L'IA - en particulier l'apprentissage automatique, l'apprentissage approfondi et le TLN - présente d'innombrables avantages et opportunités pour le secteur des services financiers au Canada. Aux États-Unis, l'IA est déjà devenue un ingrédient essentiel de la réussite : les sociétés de services financiers qui mettent en œuvre des solutions d'IA non seulement surpassent leurs concurrents, mais ont enregistré une croissance de leurs revenus allant jusqu'à 19 %, directement attribuable à l'IA.<sup>30</sup> Les nouvelles initiatives en matière d'IA ont permis de réduire les coûts, de réaliser des gains de productivité, d'augmenter les recettes et d'améliorer l'engagement des clients, notamment en ce qui concerne l'acquisition, la satisfaction et la fidélisation des clients.<sup>31</sup> Compte tenu de l'impact économique négatif de la pandémie, il s'agit d'une occasion parfaite pour les entreprises d'utiliser la technologie de l'IA afin d'améliorer l'efficacité de leurs opérations ou de se démarquer de leurs concurrents en exploitant et en intégrant des techniques d'IA avancées dans tous les aspects de leurs activités quotidiennes.<sup>32</sup>

Les sociétés de services financiers se fient de plus en plus à l'IA pour faire des prévisions et prendre des décisions en connaissance de cause. Les domaines d'application de l'IA augmentent et se diversifient, tout comme les types de données utilisées pour informer l'IA. Les types de données les plus courants vont des données historiques (telles que les données de transaction ou de marché) aux données sur les clients et aux données non structurées telles que l'activité des médias sociaux ou les

<sup>28</sup> Edenhoffer, Klaus, "Toronto on the Global Stage: 2018 Report Card on Canada and Toronto's Financial Services Sector," 4 décembre 2018, Conference Board of Canada, <https://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?>

<sup>29</sup> Services financiers, Investir Canada, 2017, [https://www.international.gc.ca/investors-investisseurs/assets/pdfs/download/vp-financial\\_services.pdf](https://www.international.gc.ca/investors-investisseurs/assets/pdfs/download/vp-financial_services.pdf)

<sup>30</sup> Nikhil Gokhale et al., « AI leaders in financial services », Deloitte, août 2019, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/financial-services/artificial-intelligence-ai-financial-services-frontrunners.html?id=us:2di:3em:4di4687:5awa:6di:MMDDYY:&pkid=1005552>

<sup>31</sup> Ibid.

<sup>32</sup> T. Babina, et al., « Artificial Intelligence, Firm Growth, and Industry Concentration », novembre 2020, <https://ssrn.com/abstract=3651052>

tendances de l'actualité. Parallèlement, une meilleure intégration et des interfaces homme-machine plus naturelles rendent l'IA plus facile à déployer et à appliquer sur le terrain. Les entreprises de services financiers plus avancées sur le plan technologique passent à la vitesse supérieure en matière d'intégration et d'interfaces homme-machine plus naturelles, en se concentrant sur la création de portails à guichet unique capables d'accéder à de nombreuses fonctionnalités variées de l'IA tout en exploitant davantage de données dans les différents secteurs d'activité.

## Collaborer avec les experts : services financiers

L'analyse du rapport sur les services financiers s'appuie sur des entrevues qualitatives avec des personnes de haut rang du secteur des services financiers du Canada. Ces personnes, avec des titres tels que directeur général, fondateur, vice-président, directeur de l'IA et responsable de l'IA, étaient chargées de superviser une équipe de scientifiques et d'ingénieurs logiciels et de développer de nouvelles fonctionnalités, de nouveaux produits ou services dans le domaine de l'IA. La taille de ces équipes variait de trois à 42 personnes. Les personnes interrogées ont été sélectionnées sur la base de leurs entreprises, sous-secteurs et lieux d'implantation respectifs, tandis que les entreprises ont été choisies en fonction de leur taille, de leur chiffre d'affaires, de leur maturité et de leur statut d'entreprise privée ou publique. L'objectif sous-jacent était d'acquérir un ensemble diversifié de perspectives. Jusqu'à la fin, les personnes et les entreprises interrogées ont varié considérablement (voir la *figure 8* ci-dessous).

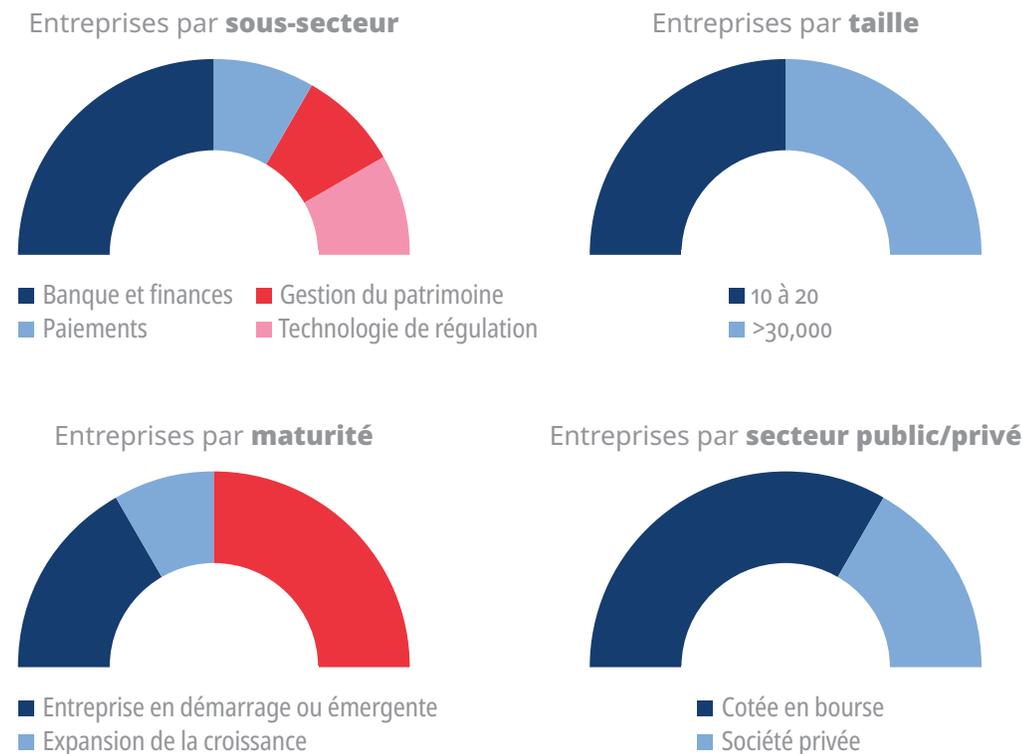


Figure 8. Répartition des entreprises interrogées pour le secteur des services financiers. CTIC, 2020.

Les sous-secteurs ont été classés par ordre de priorité en fonction de leur taille relative et de leur importance au Canada. La banque et la finance (le sous-secteur des services financiers le plus important et le plus en vue au Canada) ont fourni exactement la moitié des personnes interrogées. Les autres personnes interrogées provenaient de façon égale des sous-secteurs des paiements, de la gestion de patrimoine et de la technologie de la réglementation (voir la figure 8 ci-dessus). De même, Toronto (Ontario) et Vancouver (Colombie-Britannique) sont les principales villes d'où proviennent les personnes interrogées dans le secteur financier, en raison de leur position particulière dans l'écosystème financier nord-américain : Toronto et Vancouver se classent aux 2e et 8e rangs en Amérique du Nord dans l'indice mondial des centres financiers.<sup>33</sup> St. John, au Nouveau-Brunswick, a été choisi aux côtés de Toronto et de Vancouver pour obtenir une plus grande diversité de points de vue (voir la figure 9 ci-dessous).

### Informateurs clés des services financiers par lieu d'emploi



Figure 9. Informateurs clés des services financiers par lieu d'emploi. CTIC, 2020.

<sup>33</sup> « Global Financial Centre Index Ranking », Long Finance, 2019. <https://www.longfinance.net/programmes/financial-centre-futures/global-financial-centres-index/gfci-26-explore-data/gfci-26-rank/>

## Points clés

### L'avenir de l'IA

Toutes les personnes interrogées estiment qu'au cours des trois à cinq prochaines années, l'accent sera davantage mis sur l'adoption de capacités d'IA et d'apprentissage automatique, soit par l'extension de leurs produits, soit par le réaménagement des lignes de produits existantes avec des fonctionnalités analytiques. Les lignes de produits qui, auparavant, supportaient la modélisation prédictive, adopteront des techniques et des algorithmes de pointe (par exemple, en allant au-delà des simples techniques de régression linéaire pour passer à des modèles d'apprentissage profond). Par ailleurs, de nombreuses personnes interrogées estiment qu'elles doivent mieux exploiter leurs propres données afin de créer des produits de données convaincants basés sur les données des clients. Par conséquent, la gouvernance des données est une priorité pour améliorer la gestion des actifs de données à partir d'un référentiel unique et consolidé.

La gouvernance des données et l'amélioration de la collecte des données étaient des préoccupations essentielles pour réaliser leur vision stratégique à court terme. Des données adéquates et de grande qualité sont essentielles pour les applications d'apprentissage automatique, et des inquiétudes ont été exprimées quant à savoir si les unités commerciales collectent les données nécessaires pour soutenir la modélisation. Le besoin de données de qualité s'accompagne d'un autre problème, à savoir la nécessité de générer des ensembles de données de formation suffisamment importants pour produire les modèles : les approches d'amorçage ne sont pas toujours bien adaptées aux applications d'entreprise du monde réel. La sécurité de l'information et la protection de la vie privée, en particulier dans les environnements infonuagiques, sont également des préoccupations majeures : les attaques de cybersécurité sont souvent dirigées contre des plateformes plus grandes.

### Utilisation de la technologie de l'intelligence artificielle

Les principales technologies d'IA utilisées sont principalement des technologies d'apprentissage automatique basées sur des réseaux de neurones, souvent appelées apprentissage profond. Pour les applications typiques des services financiers, les personnes interrogées dans le cadre du rapport ont cité le commerce algorithmique, la prédiction (des défaillances, de la solvabilité, des fraudes possibles, des flux de liquidités, etc.), l'analyse des séries chronologiques, et le TLN.

Les questions éthiques sont le plus grand défi de cette technologie, en particulier la sélection des données pour la formation des modèles. Les personnes interrogées reconnaissent que les données historiques peuvent contenir des biais, et parfois elles peuvent tout simplement ne pas être applicables. Une deuxième préoccupation est de pouvoir expliquer comment les modèles d'apprentissage automatique aboutissent à des résultats particuliers. Certains algorithmes de prise de décision sont plus faciles à expliquer que d'autres, et c'est un domaine de recherche actif dans les milieux universitaires et industriels.

Les équipes d'IA de base du secteur financier se composent généralement de deux niveaux : des responsables techniques ayant une formation doctorale, chargés de guider la recherche et la conception de l'architecture ; et des développeurs de logiciels ayant de solides compétences en apprentissage automatique, en mathématiques et en codage. Étant donné la nature technique des secteurs, la connaissance du domaine est également cruciale. Que ce soit en tant que développeur ou architecte, les compétences requises doivent être de haut niveau. Au sein de ces équipes, un rôle clé est celui d'ingénieur de données, qui est capable d'analyser les variables des ensembles de données et de les combiner pour créer de nouvelles fonctionnalités qui améliorent la précision des modèles.

Dans une large mesure, le monde de l'IA et de l'apprentissage automatique est peuplé de technocrates. Les personnes interrogées reconnaissent qu'il existe une demande pressante d'experts techniques ayant le sens des affaires et les compétences interpersonnelles nécessaires pour interagir confortablement avec les clients et les consommateurs, que ces derniers soient internes ou externes. Des rôles similaires à celui de chef de produit sont reconnus comme essentiels pour guider et diriger des groupes techniques, des stratégies de produits et des réunions avec les clients.

Le secteur des services financiers regroupe de nombreuses disciplines différentes, notamment l'économie, la finance et la banque. Chacune d'entre elles repose sur des cadres théoriques étendus. Les personnes interrogées ont déclaré que la norme est d'embaucher des talents extérieurs plutôt que d'améliorer les compétences des employés existants. Pour les postes de direction qui nécessitent une connaissance du domaine ou de l'IA, les entreprises embauchent des employés très qualifiés ; de nombreuses entreprises exigent un doctorat ou, au minimum, une formation de troisième cycle. Pour les postes techniques tels que ceux de développeurs de logiciels, l'exigence requiert une expérience significative au niveau de l'industrie ou de l'entreprise, après avoir travaillé dans des équipes qui ont développé des produits. Il est maintenant largement reconnu que les compétences non techniques telles que la communication et la présentation sont essentielles, étant donné la nature multidisciplinaire du développement de produits d'IA, qui exige une grande collaboration en interne et avec les clients.

Les équipes de développement sont composées de développeurs de logiciels très expérimentés. Pour les postes spécifiques en IA, on s'attend à ce que l'on améliore les compétences des candidats postdoctoraux si nécessaire, car ils ont la capacité d'apprendre et de maîtriser le matériel. La préférence est donnée aux candidats ayant plusieurs années d'expérience dans le domaine, y compris dans un environnement universitaire. De même, on attend des développeurs qu'ils aient une expérience avérée dans la création de modèles d'apprentissage automatique dans un environnement de développement industriel.

# Section II

## **l'intelligence artificielle dans les soins de santé**

L'intelligence artificielle dans les soins de santé fait souvent référence à son utilisation pour la détection et le diagnostic, le traitement des patients et la prestation de services.<sup>34</sup> L'intégration d'innovations et de technologies intelligentes dans les soins de santé transformera le secteur, ce qui aura des répercussions sur la main-d'œuvre et l'économie en général. La technologie de l'IA permettra de recueillir, de traiter et d'analyser des informations à des vitesses plus rapides et, bien évidemment, avec une plus grande exactitude et une plus grande précision, ce qui pourrait permettre d'améliorer la santé de la population. L'utilisation de l'IA dans les soins de santé devrait augmenter en même temps que la transformation numérique générale de nombreuses industries. Cela peut permettre la santé numérique grâce à l'accessibilité financière, la précision et l'accessibilité.<sup>35</sup> La technologie de l'IA complète les soins de santé en améliorant le travail des cliniciens et se distingue des termes « automatisation » ou « robotique ». La pandémie de la COVID-19 a mis en évidence les avantages que l'IA et la communication peuvent apporter. L'un des principaux exemples est le conseil à distance, qui permet aux patients à risque d'avoir l'esprit tranquille tout en garantissant un accès aux soins et en réduisant ainsi la pression sur un système de santé surchargé.

### **Collaborer avec les experts : soins de santé**

Les personnes ont été sélectionnées pour les entrevues dans le secteur de la santé en fonction de la taille de leur entreprise ou organisation, de leur sous-secteur et de leur localisation. Les participants à l'étude ont occupé des postes au sein de leur entreprise et de leur organisation, tels que fondateur et co-fondateur, directeur technique, chercheur et directeur. Les entreprises étaient de tailles diverses, allant des entreprises en démarrage aux entreprises plus matures en phase d'essais cliniques ou à celles qui vendent des produits et des services. Quarante pour cent des entreprises interrogées sont actuellement en phase d'essais cliniques ou sont en train d'affiner leur validation de principe avant de se lancer dans la collecte de fonds. Quarante autres pour cent ont des clients payants pour les produits ou services offerts, et les 20 % restants sont des organisations soit en phase de développement, soit impliquées dans l'éducation aux soins de santé.

<sup>34</sup> Jinesh Maloo, « Artificial Intelligence, Machine Learning & Deep learning, Becoming Human », octobre 2018, <https://becominghuman.ai/artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning-df6dd0af500e>

<sup>35</sup> Rob Casella, « Artificial Intelligence is the great healthcare equalizer », Philips, avril 2019, <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20190402-artificial-intelligence-is-the-great-healthcare-equalizer.html>

Les personnes interrogées se trouvaient dans des régions différentes : 30 % de Toronto, 20 % de Vancouver, et les 50 % restants de Calgary, Edmonton, Ottawa, Montréal et Halifax (chacun contribuant à hauteur de 10 % : voir la *figure 11* ci-dessous). Toronto, Montréal et Edmonton sont des centres bien connus pour l'IA au Canada, et abritent respectivement l'Institut Vecteur, l'Institut des algorithmes d'apprentissage de Montréal (MILA) et l'Alberta Machine Intelligence Institute (AMII).

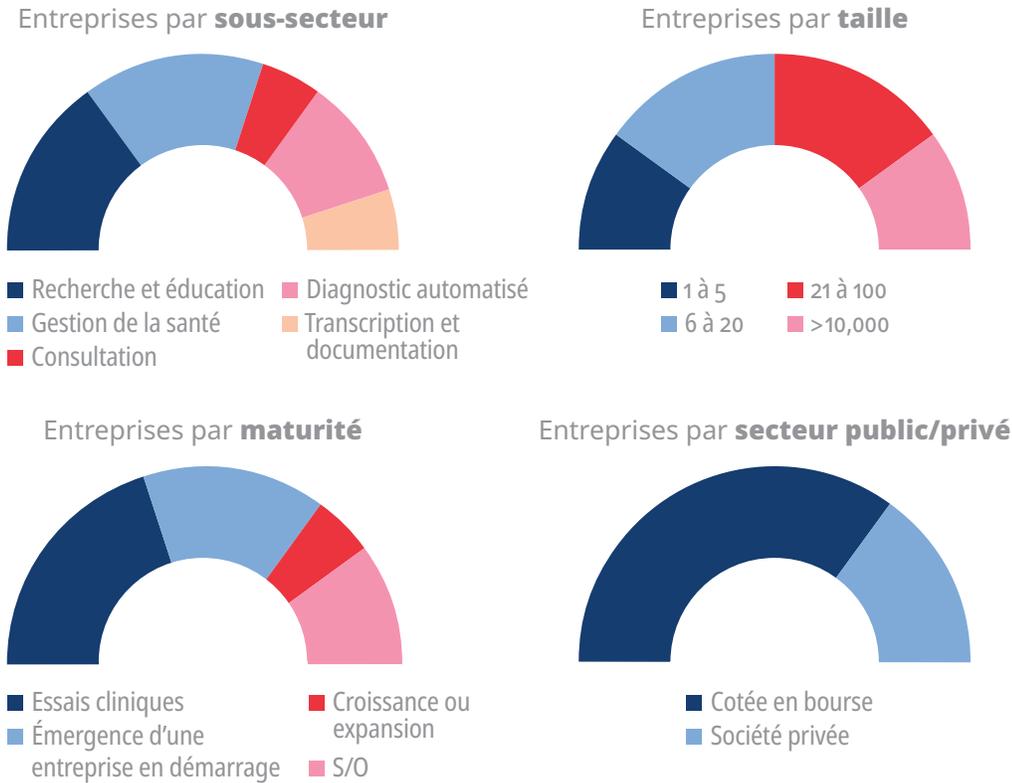


Figure 10. Répartition des entreprises et organisations interrogées pour le secteur des soins de santé. CTIC, 2020.

### Informateurs clés du secteur des soins de santé par lieu d'emploi



Figure 11. Informateurs clés du secteur des soins de santé par lieu d'emploi. CTIC, 2020.

## Points clés

### L'avenir de l'intelligence artificielle

Toutes les personnes interrogées s'attendent à ce que l'IA et l'apprentissage automatique continuent à se développer dans les diagnostics (tels que l'imagerie et l'analyse médicales) au cours des trois à cinq prochaines années et à jouer un rôle important dans les traitements guidés par l'IA, tels que la radiothérapie. Les personnes interrogées ont clairement identifié un besoin de collaboration et de compréhension interdisciplinaire entre les praticiens médicaux et les experts en IA afin de garantir une mise en œuvre adéquate de l'IA. Comme pour toute approche d'IA et d'apprentissage automatique, la collecte de données est une préoccupation majeure, en particulier pour la formation aux applications médicales d'apprentissage automatique.

La protection de la vie privée, la gouvernance et la sécurité des données constituent une préoccupation majeure ; de plus, la réglementation gouvernementale est un domaine d'intérêt important. Les personnes interrogées ont insisté sur la nécessité de comprendre la voie réglementaire pour l'IA et ont noté que, même à l'heure actuelle, les règles et règlements de Santé Canada sont encore en cours d'élaboration.

L'acceptation et la confiance du public dans les soins de santé axés sur l'IA est également une préoccupation majeure. Une plus grande acceptation du public nécessitera de surmonter les inquiétudes concernant l'utilisation des données personnelles et les soupçons de monétisation des données. L'éthique dans la collecte des données et le contrôle des préjugés inhérents aux bases d'apprentissage ont également été soulignés : les personnes interrogées s'inquiètent du fait que le développement et le déploiement du système dépassent les cadres éthiques qui sont nécessaires mais pas encore complètement formés.

### Utilisation de la technologie de l'intelligence artificielle

Les personnes interrogées ont identifié deux orientations claires pour l'IA dans les soins de santé : l'apprentissage approfondi pour le traitement et l'analyse des images, et le TLN. Le traitement et l'analyse d'images sont utilisés principalement dans les outils d'assistance utilisés par les radiologues, tandis que le TLN est utilisée dans l'analyse et le diagnostic des cas de patients. Les plateformes en nuage ont été identifiées comme un élément essentiel de l'infrastructure des cliniques et des hôpitaux, fournissant des solutions d'IA par le biais de logiciels-service (modèle SaaS).

En ce qui concerne ces technologies, presque toutes les personnes interrogées étaient préoccupées par la conformité et le respect adéquat des modèles de protection de la vie privée du public. Cela inclut la manière dont les ensembles de données sont générés - soit collectés, soit créés de manière synthétique à des fins de formation à l'apprentissage automatique.

## Talent, formation et éducation

Les rôles traditionnels tels que ceux d'informaticien, d'ingénieur système, de développeur de logiciels et de spécialiste en IA ou en apprentissage automatique ont été identifiés comme essentiels pour les équipes d'IA. Cependant, les personnes interrogées ont également souligné le besoin d'éthiciens, de spécialistes des facteurs humains et de représentants du gouvernement pour aider à la consultation sur la politique et la réglementation. Par ailleurs, des employés formés au niveau des études supérieures, tels que des informaticiens de la santé et des chercheurs en services de santé, sont nécessaires. Le rôle du responsable de la protection de la vie privée est nécessaire pour répondre aux préoccupations urgentes en matière de protection de la vie privée et pour former les ingénieurs aux politiques de protection de la vie privée. Les personnes interrogées ont également identifié le besoin d'ethnographes connaissant les méthodes de recherche qualitative pour mener des études détaillées sur les groupes culturels.

Le secteur des soins de santé met l'accent sur les équipes interdisciplinaires, composées d'experts du domaine et d'experts techniques. Le perfectionnement peut être utilisé pour former des experts dans des domaines complémentaires et pour les aider à comprendre les différentes composantes de l'équipe de développement. L'amélioration des compétences est un moyen d'apporter un éclairage et des compétences de base dans un domaine, mais cela n'empêche pas les experts de se former. Dans leur grande majorité, les employés ont au minimum une formation universitaire.

Les personnes interrogées ont introduit un ensemble de compétences centrées sur les soins de santé, similaire à celui d'un expert en *application des connaissances*, défini comme « la synthèse, l'échange et l'application des connaissances par les parties prenantes concernées afin d'accélérer les avantages de l'innovation internationale et locale dans le renforcement des systèmes de santé et l'amélioration de la santé des personnes ».

Là encore, comme pour les services financiers, les attentes en matière d'expérience et d'expertise sont assez élevées, étant donné la nécessité de respecter strictement les contraintes réglementaires et des politiques. Les concepteurs de logiciels doivent être bien informés et performants à un niveau élevé. Les spécialistes de l'IA ont suivi une formation de troisième cycle en apprentissage automatique, ce qui leur confère une connaissance approfondie de l'apprentissage automatique et des mathématiques. Compte tenu de cette formation, les employeurs considèrent généralement que pour ces personnes très performantes, il est « d'améliorer leurs compétences si besoin est ».<sup>36</sup>

Le profil type pour l'apprentissage automatique est celui d'un employé qui a étudié dans le domaine pendant plusieurs années, soit dans un cadre universitaire (c'est-à-dire des recherches nécessitant le développement de nouveaux modèles et l'interprétation de modèles et de recherches), soit des employés qui ont une expérience de la mise en œuvre de l'apprentissage automatique dans l'industrie.

<sup>36</sup> Ce sentiment a été partagé par les participants aux entrevues avec des informateurs clés lors de la phase de recherche primaire.

# Section III

## constitution d'une équipe d'intelligence artificielle

### Rôles et compétences clés

Compte tenu de la nature hautement spécialisée des soins de santé et des services financiers, ainsi que des enjeux en matière de réglementation et de protection de la vie privée, il n'est pas surprenant que les équipes idéales soient généralement composées d'experts du domaine ayant suivi une formation de niveau supérieur, de développeurs expérimentés ou de développeurs titulaires d'un diplôme technique de premier cycle. Cette équipe de base constitue le noyau technique d'un groupe de développement de produits IA/apprentissage automatique (voir *figure 12*).



Expert/experte  
du domaine

Une expertise approfondie dans le domaine et une certaine connaissance des approches technologiques possibles pour une mise en œuvre.



Expert/experte  
en affaires

Connaissance approfondie du marché, connaissance suffisante du domaine et de la technologie pour comprendre le marché et la plausibilité du produit.



Expert/experte  
IA/Systems

Une expertise technologique, avec une connaissance suffisante du domaine pour développer avec précision le modèle d'IA.

*Figure 12. Les composantes essentielles d'une équipe d'IA.*

Une compréhension approfondie de l'IA est essentielle pour faire progresser les solutions techniques dans le domaine des services financiers ou des soins de santé. Le respect des contraintes réglementaires est important, c'est pourquoi il est essentiel de comprendre ce que produisent les techniques algorithmiques ; lorsqu'il s'agit de prendre en compte la vie privée et l'éthique, il est essentiel de savoir quelles données peuvent être utilisées et comment. Les capacités techniques impliquent

généralement des architectures d'apprentissage approfondi ou d'autres méthodes telles que le renforcement du gradient.<sup>1</sup> En ce qui concerne l'IA/apprentissage automatique, les approches les plus courantes sont les réseaux de neurones, le renforcement du gradient et la régression linéaire. Ces techniques impliquent un fondement mathématique qui comprend l'algèbre linéaire, le calcul, la théorie des probabilités et l'optimisation. Pour le développement de systèmes, une expertise au niveau de l'entreprise est nécessaire pour les applications à grande échelle, les plateformes Web et les langages de programmation tels que Python, Java, C/C++ (voir figure 13).



### Compétences IA/ Apprentissage automatique

**Expertise technique en :**

- Réseaux de neurones
- Stimulation par gradient
- Régression linéaire

**Formation  
mathématique implicite :**

- Algèbre linéaire
- Calcul, théorie des probabilités
- Optimisation



### Compétences en matière de développement

**Expertise au niveau de  
l'entreprise en :**

- Applications à grande échelle
- Plateformes basées sur le Web
- Langages de programmation  
PYTHON  
JAVA  
C/C++

**Figure 13.** Compétences requises en IA/Apprentissage automatique et en développement

## Formation et expérience

Mise en place d'une équipe d'IA



Expert/experte  
du domaine

**PH. D.**

### Parcours pédagogique

#### *Première année*

Acquérir l'historique d'un domaine

#### *Deuxième année*

Acquérir l'historique du domaine et proposition de thèse

#### *Troisième année*

Recherche de thèse,  
Création de thèses

#### *Quatrième/cinquième année*

Réalisation, publication,  
soutenance de thèse



Expert/experte  
en affaires

**MBA**

### Parcours pédagogique

#### *Première année*

Acquérir une formation en affaires (études de marché, commerce, marketing, gestion de projets, gestion de produits)

#### *Deuxième année*

Réalisation d'une thèse ou d'une proposition de projet, soutenance

### Parcours d'expérience

#### *Expérience*

Participation à 3-5 projets, 2-5 ans d'expérience



Expert/experte  
IA/Systems

**PREMIER CYCLE  
UNIVERSITAIRE/  
MAÎTRISE**

### Parcours pédagogique

#### *Première année*

Programmation de base, logique et mathématiques fondamentales, structures de données

#### *Deuxième année*

Structures de données avancées, algorithmes, mathématiques

#### *Troisième année*

Algorithmes avancés, plateformes

#### *Quatrième/cinquième année*

Calcul haute performance, formes avancées de développement et projet de recherche

### Parcours d'expérience

#### *Développeur junior*

Participation à 1-3 projets, 1 année d'expérience

Tests questions/réponses, interface utilisateur, corrections de bogues simples, petites fonctionnalités (non critiques)

#### *Développeur intermédiaire*

P=Participation à 3-5 projets, 2 ans d'expérience en tant que chef d'équipe (petite), corrections de bogues importants, fonctionnalités non triviales (mission critique)

#### *Développeur sénior*

Participation à plus de 5 projets, + de 3 ans d'expérience

Architecte, chef de groupe très expérimenté, architecture et développement critiques pour la mission et le produit

**Figure 14.** Formation et expérience : Des années d'investissement cumulées sont nécessaires pour constituer une équipe d'IA « idéale ». CTIC, 2020

## Cycle des produits

Chaque expert joue un rôle spécifique dans le développement du produit tout au long du cycle de développement du produit. Pour chaque phase de développement du produit, il existe un moteur principal, un ensemble de connaissances et de compétences requises, et une équipe de soutien. La genèse de tout produit d'IA suit généralement une série de phases définies par un cycle de perfectionnement : le produit est généralement conçu après qu'une étude de marché a identifié une opportunité particulière et un potentiel de part de marché. Cette phase exige une certaine connaissance de ce qui se fait de mieux en matière d'IA et un bagage technique permettant de déterminer la plausibilité pratique du développement et de la mise en œuvre (voir *figure 15*).

La deuxième phase pourrait impliquer des recherches détaillées, poussant plus loin l'idée de marché afin de déterminer les limites du concept et la manière dont la nouveauté peut être mise en valeur. Là encore, l'expertise commerciale est utilisée pour gérer l'orientation de la recherche, afin d'assurer la pertinence du marché, tandis que l'expertise technique garantit que le fondement technique est plausible, avec une mise en œuvre basée sur la technologie de base (voir *figure 16*).

### Études de marché et viabilité des produits



Figure 15. Concept du produit.

### Recherche à la fine pointe



Figure 16. Détermination de la fine pointe de la technologie.

### Recherche et développement de modèles d'IA/ Apprentissage automatique



Figure 17. Développement.

Enfin, les experts techniques conçoivent et développent le système de produit, l'expertise du domaine assurant une mise en œuvre correcte, et l'expertise commerciale guidant les coûts, l'utilisabilité et la validation du déploiement (voir *figure 17*). Ce cycle de conception et de déploiement de la recherche peut suivre plusieurs itérations, car le modèle est validé et testé, à la fois en interne et en production limitée.

## Intersection de l'expertise

Les schémas illustrent l'importance accordée à l'expertise pertinente dans un cycle de développement donné. Dans chaque phase, un expert principal est le centre de contrôle de l'activité tout en s'appuyant sur les connaissances des deux autres experts du domaine. Il existe un besoin crucial de collaboration, de travail d'équipe et, surtout, de compréhension fonctionnelle des autres domaines de connaissance spécifiques au produit.

L'intersection des connaissances est rendue possible grâce au travail d'équipe et à l'amélioration des compétences. Par exemple, l'expert du domaine doit comprendre les limites technologiques tout en recherchant les limites du concept du produit dans le but de trouver la nouveauté (l'avantage concurrentiel, appelé familièrement « l'ingrédient secret »). De plus, l'expert de domaine doit avoir une compréhension suffisante du marché et des intérêts commerciaux du client pour ne pas s'aventurer trop loin dans la recherche pure. Des arguments similaires s'appliquent aux experts techniques du domaine et aux experts commerciaux.

Les connaissances intersectorielles peuvent être acquises efficacement grâce à l'amélioration des compétences.<sup>37</sup>

Les employés ayant une formation avancée dans un domaine donné auront la possibilité d'acquérir rapidement de nouvelles connaissances et pourront les assimiler dans un cadre pratique afin de mieux comprendre les composantes des autres domaines.

Dans de rares cas, il y a des employés qui ont une expérience dans les trois domaines. Il s'agit généralement d'experts de domaine qui ont une grande expérience du développement dans un environnement d'entreprise et qui comprennent le climat des affaires et les tendances futures. Cette catégorie spéciale d'employés est généralement plus âgée, car l'acquisition de cette connaissance et de cette expérience approfondies est fonction du nombre d'années passées dans l'industrie et le milieu universitaire.

<sup>37</sup> Les participants des entrevues avec des informateurs clés pendant la phase de recherche primaire ont constaté, par expérience, que les membres de l'équipe titulaires avec des diplômes de haut niveau (études supérieures) étaient tout à fait disposés à acquérir des compétences de manière autonome.

# Section IV

## favoriser un vivier de talents en matière d'intelligence artificielle

### « Formation croisée » contre « amélioration de compétences »

Favoriser un vivier de talents en IA pour les secteurs des services financiers et des soins de santé au Canada signifie essentiellement la création d'équipes d'IA de « type idéal », et la manière la plus efficace d'y parvenir est de mettre en place des programmes de formation croisée et de mentorat. Les programmes cibleraient les trois sous-groupes du développement de produits (experts du domaine, en affaires et de l'IA) et s'appuieraient sur une formation technique existante ou une forme de formation avancée de premier cycle. L'objectif serait de former chaque expert dans le domaine pertinent des deux autres, le programme d'études étant défini par les intersections de leur travail. L'équipe qui en résulterait serait composée des personnes suivantes : des experts en affaires ayant une compréhension de la portée du domaine et des défis techniques de mise en œuvre ; des experts du domaine ayant une compréhension de l'activité, de la pertinence du marché et des défis techniques de mise en œuvre ; et des experts techniques ayant une connaissance suffisante du domaine pour créer des solutions d'IA/Apprentissage automatique précises et réalisables, et une compréhension suffisante de l'activité pour estimer les coûts et satisfaire les besoins des clients.

#### Formation croisée dans le domaine

Le paysage de l'enseignement supérieur regorge de cours en ligne et de certificats universitaires couvrant divers aspects des affaires et de l'informatique, allant des langages de programmation de haut niveau à ceux de bas niveau, jusqu'à une large gamme d'outils de développement de logiciels. Il n'en va pas de même pour les cours ou les certificats qui enseignent des connaissances spécifiques à un domaine, par exemple, des connaissances spécifiques à la pratique des soins primaires ou à l'évaluation des risques de crédit.<sup>38</sup> Bien que les compétences en mathématiques, en apprentissage automatique et en programmation soient essentielles pour

<sup>38</sup> "Future Students", University of Waterloo, <https://uwaterloo.ca/computing-financial-management/future-students>

développer les capacités en IA, dans les secteurs des soins de santé et des services financiers, la connaissance du domaine est tout aussi importante. Sans cette connaissance, les outils et les capacités d'IA qui en résultent peuvent ne pas tenir compte d'importantes exigences réglementaires et juridiques, être déconnectés des problèmes du monde réel et parfois même être inefficaces.

Les programmes d'amélioration des compétences devraient être suffisamment larges pour s'attaquer à tous les cadres réglementaires et juridiques pertinents et permettre de comprendre le secteur dans son ensemble, mais suffisamment adaptés pour approfondir les connaissances spécifiques aux produits et les tendances de la recherche. Ces tensions sont expliquées plus en détail dans les études de cas ci-dessous.

### Formation croisée dans les affaires

Contrairement à l'amélioration traditionnelle des compétences dans les affaires, qui couvrent un large éventail de sujets - communication, leadership, gestion et gestion de projets, analyse et stratégie commerciales, relations avec les clients et gestion de produits -, les compétences dans ce contexte devraient se concentrer principalement sur le travail lié aux produits et aux clients. Par exemple, l'identification et la définition des problèmes commerciaux, la gestion des produits, l'assurance qualité et les relations avec les clients sont autant d'éléments importants pour le développement de capacités et de produits d'IA pertinents et adaptés. Un aspect important de ce travail est la mise à jour des études de marché et des tendances en matière d'applications et de produits.

### Formation croisée en IA/apprentissage automatique

Il existe un manque important de possibilités d'amélioration des compétences en matière d'IA/apprentissage automatique : les bootcamps (camps d'entraînement) sont trop édulcorés et ne supposent aucun niveau réel d'expertise; les cours de certificat de niveau supérieur sont trop coûteux, tant financièrement qu'en termes de temps; et les cours ouverts en ligne ouverts à tous (CLOT) ont peu ou pas de cohérence ni de contrôle de qualité. Pour combler cette lacune, la formation croisée en IA/apprentissage automatique se concentrera uniquement sur les composantes essentielles de l'IA/apprentissage automatique qui sont importantes pour les applications en matière de soins de santé et de services financiers. Dans le secteur des soins de santé, par exemple, il est important d'apprendre comment former les modèles d'apprentissage automatique sur les données des demandes de remboursement ambulatoires, hospitalières et jugées comme venant des systèmes de dossiers médicaux électroniques. L'objectif dans ce contexte est de discerner quels points de données sont en corrélation avec les taux d'événements liés à la santé dans une population, l'historique des maladies et les traitements les plus efficaces. Cela suppose une compréhension approfondie des points suivants :

Les mathématiques, y compris le calcul, les statistiques et

les probabilités;

Concepts généraux de développement de logiciels, tels que les structures de données et les algorithmes;

Les concepts généraux de données, tels que l'acquisition et le nettoyage des données, la sélection des caractéristiques et l'ingénierie des caractéristiques;

Les techniques d'apprentissage automatique, telles que la régression linéaire, la régression logistique et l'apprentissage profond.

### Formation croisée sur la réglementation, l'éthique et le droit

Au-delà des cours techniques, commerciaux et du domaine, les équipes devront recevoir une formation sur les questions juridiques, éthiques et réglementaires spécifiques à leur domaine, y compris les questions de vie privée et de sécurité. Le contenu spécifique des cours dépendra fortement du secteur et du sous-secteur, ainsi que de la juridiction associée. Certains secteurs sont réglementés au niveau provincial, d'autres au niveau fédéral, et d'autres encore sont soumis aux deux niveaux de gouvernement.

### Mentorat

Des programmes de mentorat seraient bénéfiques parallèlement aux cours de programmes de formation croisée afin de faciliter les connaissances et l'expérience sur le terrain. Ces programmes s'appliqueraient au sein du groupe de développement afin de promouvoir en interne les talents croisés. Dans le cadre de l'initiative de mentorat, un responsable de l'IA/apprentissage automatique, commercial ou du domaine serait désigné comme mentor et affecté par les ressources humaines à une personne récemment embauchée ou à un nouveau membre de l'équipe afin de l'orienter et lui transmettre des connaissances pendant la durée de deux ou trois projets, jusqu'à ce qu'il acquière des compétences et une confiance suffisantes.

## Défis

Le défi le plus urgent est de concevoir des cours qui soient suffisamment complets tout en veillant à ce qu'ils puissent être dispensés rapidement. Il est important de déterminer quelle méthode de formation est la mieux adaptée à ce type d'acquisition de compétences et quel est le moyen le plus rapide de faciliter les cours qui en résultent. De plus, il est important de minimiser la courbe d'apprentissage globale sans trop simplifier le matériel. Comme nous l'avons vu, l'IA dans les soins de santé et les services financiers n'est pas un sujet trivial, ce qui signifie que les cours doivent être détaillés, complets et précis.

Sur ce marché, on attend davantage de formation en ligne, et cette formation sera de qualité variable. L'opportunité se développera pour des cours de formation de qualité, certifiables par l'industrie, afin de différencier les programmes développés et dispensés par des entreprises ayant une expertise dans le domaine et ceux qui profitent simplement du marché. Dans les industries soumises à une forte réglementation, telles que les soins de santé et les technologies financières, le respect des cadres législatifs est essentiel.

## Étude de cas

Pour illustrer le vivier de talents en matière d'IA mentionnée ci-dessus, prenons l'exemple d'une entreprise hypothétique du secteur des soins de santé qui développerait un produit dans le domaine de l'épidémiologie et chercherait à former de façon croisée sa réserve de talents existante. Pour ce faire, l'entreprise devrait identifier un expert du domaine existant et lui faire suivre une formation croisée dans les autres domaines de connaissance : IA/apprentissage automatique, affaires, réglementation, éthique et droit. Les exemples de cours ci-dessous pourraient être utilisés pour former les individus des trois sous-groupes afin d'établir des connaissances compétentes favorisant la collaboration et le travail d'équipe :

Intitulé du cours	Description
<b>Modélisation prédictive pour les données sur la santé</b>	<p>Intégrer l'exploration des données et les théories statistiques (c'est-à-dire la probabilité, les régressions, l'ANOVA) pour prévoir les résultats en matière de santé, en utilisant R, SAS et Python.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Effectuer des techniques d'analyse de survie, notamment l'estimateur de Kaplan-Meier, le test de Mantel-Haenzel, le modèle des risques proportionnels</li><li>• Analyser des risques pour prendre des décisions en connaissance de cause</li></ul>
<b>Apprentissage automatique pour les données sur la santé et les soins de santé</b>	<p>Appliquer les principes de la science des données aux ensembles de données (c'est-à-dire les données administratives sur la santé, les registres cliniques, les dossiers de santé électroniques, etc.) pour aider à identifier et à améliorer les processus dans les hôpitaux, à identifier les maladies et rationaliser des traitements personnalisés.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Adapter les modèles d'apprentissage automatique aux données pour interpréter les résultats en matière de santé</li><li>• Déterminer la méthodologie d'apprentissage automatique pour des problèmes donnés</li></ul>

<b>Épidémiologie computationnelle</b>	<p>Modèles de simulation informatique pour concevoir des schémas permettant de prévoir les résultats possibles en matière de santé (par exemple, cancer, maladie, etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser les systèmes d'information géographique (SIG) pour mieux comprendre la propagation des maladies</li> <li>• Appliquer des modèles et des techniques de simulation pour comprendre les résultats</li> </ul>
<b>IA, éthique et réglementation</b>	<p>Les dilemmes éthiques et les implications de l'utilisation de l'IA dans le secteur de la santé et dans le cadre des soins de santé, ainsi que la confidentialité des données et la réglementation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Questions éthiques à différents niveaux dans les établissements de soins de santé</li> <li>• Identifier les problèmes éthiques liés à l'IA dans les établissements de soins de santé</li> <li>• Appliquer l'éthique de la recherche dans la conception des études</li> <li>• Principes juridiques et législation au Canada</li> </ul>
<b>Méthodes de recherche épidémiologique</b>	<p>Concepts fondamentaux en épidémiologie tels que les taux d'incidence, la prévalence, les risques relatifs, les rapports de cotes ; la différenciation des différents types de biais ; ainsi que la conception des études</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Discuter, comprendre et élaborer des plans d'étude par le biais d'essais contrôlés randomisés, d'études de cohortes, d'études transversales et d'études de cas-témoins</li> <li>• Conception avancée de l'enquête</li> <li>• Différencier les différents types de biais épidémiologiques (c'est-à-dire biais de sélection, biais d'information et confusion)</li> </ul>

**Table 1.** Exemples de cours d'épidémiologie avec formation croisée dans des domaines de connaissance comprenant l'IA/Apprentissage automatique, les affaires, la réglementation, l'éthique et le droit

# Conclusion

Dans l'ensemble, ce rapport sert à mettre en évidence les possibilités de développer et de favoriser un vivier de talents dans le domaine de l'IA au Canada. Étant donné la complexité de la technologie de l'IA et la nature spécialisée des services de soins de santé et des services financiers (et leurs exigences strictes en matière de confidentialité et de réglementation), il est essentiel de disposer d'un haut niveau d'expertise dans un environnement d'équipe. Parmi les experts, on trouve généralement des personnes ayant fait des études supérieures, soit au niveau de la maîtrise ou du doctorat.

Les entrevues menées dans le cadre de l'étude ont permis de constater qu'il existe un écart de connaissances entre les sous-groupes au sein des équipes de développement de produits d'IA. Dans les secteurs des soins de santé et des services financiers, il arrive souvent que les experts de domaine, les experts en IA/apprentissage automatique et les conseillers en stratégie commerciale n'aient pas une compréhension commune de leur domaine d'expertise respectif.

L'approche bootcamp de la formation permet une compréhension trop superficielle, tandis que la certification au niveau des diplômés est trop spécifique et prend trop de temps à acquérir. En s'adaptant à la nouvelle norme imposée par la pandémie de COVID-19, la formation en ligne devrait devenir une pratique *de facto*.<sup>39 40</sup> L'opportunité commerciale se développera pour des cours de formation de qualité, certifiables par l'industrie, afin de différencier les programmes développés et dispensés par des entreprises ayant une expertise dans le domaine et ceux qui profitent simplement du marché. Des initiatives telles que l'ambitieux programme de Microsoft, qui vise à former 25 millions de personnes dans le monde entier, sont un pas dans la bonne direction pour répondre à la demande.<sup>41</sup>

L'intersection entre les experts des domaines, les experts en IA/systèmes et les experts en affaires est rendue possible grâce à la formation croisée entre les trois domaines et au travail d'équipe collaboratif. Il est possible de concevoir des programmes d'études pour une efficacité maximale en intégrant l'éthique, la cybersécurité, la programmation et les fondements de l'IA/apprentissage automatique. Les entreprises sont alors en mesure d'exploiter et d'intégrer l'IA/apprentissage automatique pour prendre des décisions plus éclairées et élaborer des plans d'affaires précis.

<sup>39</sup> S. Gallagher and J. Palmer, « The Pandemic Pushed Universities Online. The Change Was Long Overdue », *Harvard Business Review*, 2020, <https://hbr.org/2020/09/the-pandemic-pushed-universities-online-the-change-was-long-overdue>

<sup>40</sup> Secrétaire général de l'OCDE, « Education responses to Covid-19: Embracing digital learning and online collaboration », OCDE, 2020, <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/education-responses-to-covid-19-embracing-digital-learning-and-online-collaboration-d75eb0e8/>

<sup>41</sup> Microsoft, « Microsoft launches initiative to help 25 million people worldwide acquire the digital skills needed in a COVID-19 economy », 2020, <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/06/30/microsoft-launches-initiative-to-help-25-million-people-worldwide-acquire-the-digital-skills-needed-in-a-covid-19-economy/>

## Appel à l'action

Les entreprises et les organisations qui développent des produits d'IA destinés à être utilisés dans les secteurs des soins de santé et des services financiers doivent s'assurer que leurs équipes de développement disposent d'une formation croisée adéquate, avec un savoir-faire technique, de domaine et commercial suffisant. L'industrie devrait donc donner la priorité à la formation multidisciplinaire croisée au sein des équipes d'IA.

La stratégie du Canada pour le développement des compétences en IA devrait inclure la formation polyvalente comme pilier fondamental des efforts de développement de la main-d'œuvre. Par exemple, les acteurs gouvernementaux pourraient inclure les besoins aigus en matière de compétences (tels que le besoin de formation polyvalente au sein des équipes d'IA) dans les plans et programmes futurs découlant des accords sur le développement de la main-d'œuvre.<sup>42</sup>

Les établissements universitaires canadiens devraient évaluer la disponibilité (et l'accessibilité) des cours liés à l'IA dans les programmes non techniques tels que les programmes de commerce, de finance ou de médecine, et la disponibilité des cours spécifiques à un domaine dans les programmes techniques tels que la science des données ou le génie informatique.

À la lumière de l'impact économique de la COVID-19 sur l'emploi au Canada et de la résilience du secteur technologique au cours de la pandémie, le gouvernement fédéral devrait continuer à prioriser et à soutenir les programmes de perfectionnement à distance afin de répondre aux besoins généraux en matière de compétences en technologies de l'information et des communications (TIC).

Les parties prenantes des secteurs fortement réglementés comme les services financiers et les soins de santé devraient collaborer avec les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux pour établir des normes de gouvernance des données à l'échelle de l'industrie et des mécanismes de partage des données sécurisés afin de permettre un accès plus large et plus sûr aux données.

<sup>42</sup> « About the Workforce Development Agreements program », Gouvernement du Canada, <https://www.canada.ca/en/employment-social-development/programs/training-agreements/workforce-development-agreements.html>

# Annexe A méthodologie

La méthodologie de recherche utilisée pour l'élaboration de ce rapport a consisté en une combinaison de recherches primaires et secondaires, qui sont décrites ci-dessous.

## Recherche primaire

Le CTIC a mené 16 entrevues avec des personnes issues des secteurs des services financiers et des soins de santé. Les entrevues ont été réalisées entre janvier 2020 et février 2020. La liste des entrevues dans le secteur des services financiers comprenait six personnes, tandis que les entrevues dans le secteur des soins de santé en comprenaient dix. Les personnes interrogées occupaient des postes influents au sein de leurs entreprises et organisations : PDG, directeur technique, fondateur, directeur de l'IA, chercheur en IA, etc. À la suite de ces entrevues, un conseil consultatif d'experts (issus à la fois de l'industrie et de postes de direction) a validé les résultats de la recherche qualitative et a fourni des rétroactions et un éclairage sur les résultats.

L'objectif de la recherche principale était d'obtenir des informations détaillées et précises sur l'utilisation de l'IA dans les secteurs des services financiers et des soins de santé au Canada, afin d'identifier des stratégies de formation croisée claires et d'établir des parcours et des orientations pédagogiques pour l'industrie, les universités et les décideurs politiques. Ces informations ont été recueillies auprès d'influenceurs et de décideurs clés de chacun des secteurs. Le questionnement visait à explorer des orientations précises et les tendances de l'industrie de l'IA, et à déduire quelles sont les compétences nécessaires pour constituer la main-d'œuvre.

Les personnes interrogées ont été sélectionnées sur la base de leurs titres, du type d'entreprise ou du poste qu'elles occupent dans le secteur des services financiers ou des soins de santé, ainsi que sur la disponibilité de participants de rang suffisamment élevé. De même, les entreprises et les organisations ont été choisies en fonction de leur emplacement, de leur taille, de leur chiffre d'affaires, de leur maturité et de leur statut de société privée ou de société cotée en bourse. L'objectif sous-jacent était d'acquérir un ensemble diversifié de perspectives, et à ce titre, les individus et les entreprises variaient considérablement au niveau de ces attributs.

## Recherche secondaire

La principale composante de la recherche de ce projet a été soutenue par un examen détaillé de la littérature disponible sur ce sujet par le gouvernement, l'industrie et les universités.

## Limites de la recherche

Bien que le CTIC ait tenté de s'assurer que le processus de recherche pour cette étude soit aussi exhaustif que possible, une telle étude a inévitablement des limites. La première est l'échantillon relativement restreint de personnes interrogées (16). Cela signifie que ces réponses doivent être considérées comme des aperçus et ne peuvent être considérées comme des « tendances » objectives représentant l'ensemble du pays. Pour atténuer cette limite, les personnes interrogées ont été sélectionnées à travers tout le pays. La deuxième limite est le fait que, bien que l'on ait tenté d'obtenir une représentation égale des deux secteurs, le CTIC n'a pu obtenir que six entrevues du secteur des finances et dix du secteur des soins de santé, en raison de l'intérêt et de la disponibilité des répondants.

# Annexe B

## intelligence artificielle – compétences de l'équipe des sciences des données

### Éducation

Bien qu'il y ait des exceptions, un très bon niveau d'études est généralement nécessaire pour acquérir les connaissances approfondies nécessaires pour être compétent en science des données. Les formations de premier cycle les plus courantes des spécialistes des données sont les mathématiques et les statistiques, l'informatique et l'ingénierie. Un diplôme dans l'un de ces domaines fournit la formation et les compétences nécessaires pour traiter et analyser des mégadonnées. Selon les statistiques du secteur, 80 % des scientifiques de données de haut niveau possèdent au moins une maîtrise et plus de 40 % un doctorat.

### Développement

La connaissance du domaine n'est pas suffisante : une formation approfondie aux outils d'analyse et aux langues de développement est cruciale. Parmi les langages de programmation, citons Python, Java, C/C++ pour le développement des entreprises et R pour le prototypage et l'exploration des données.

De plus, il est nécessaire de comprendre l'architecture, la création et l'interrogation des bases de données. Il faut notamment être capable d'écrire et d'exécuter des requêtes complexes en SQL (langage d'interrogation structuré), comprendre les concepts de NoSQL et les plateformes de lac de données (un dépôt centralisé qui permet de stocker des données structurées et non structurées à n'importe quelle échelle) pour l'exploration, le filtrage, l'échantillonnage et la synthèse de données à grande échelle.

### Déploiement de la plateforme

La connaissance des outils de gestion des nuages informatiques tels qu'Amazon S3 peut également être bénéfique. Une étude récente a révélé qu'environ 4 000 emplois en sciences des données sur LinkedIn classaient

Apache Hadoop comme la deuxième compétence la plus importante pour un scientifique de données.<sup>43</sup> Les cadres de travail tels qu'Apache Spark sont spécifiquement conçus pour exécuter efficacement des algorithmes complexes et traiter des ensembles de données massifs non structurés.

### Apprentissage automatique et intelligence artificielle

La science des données implique une compréhension fondamentale des réseaux neuronaux, de l'apprentissage par renforcement, de l'apprentissage par confrontation, des arbres de décision, de la régression logistique, etc. afin de garantir l'utilisation de l'algorithme ou du cadre approprié pour un ensemble de données et des caractéristiques de problèmes spécifiques.

### Visualisation des données

Des outils de visualisation des données pour aider à convertir des résultats complexes dans un format qui sera facile à comprendre par tous les publics, souvent des intervenants cadres supérieurs sans expertise technique.

### Données non structurées

Les données non structurées sont des contenus non définis qui n'entrent pas dans les tableaux des bases de données, par exemple, les vidéos, les articles de blogue, les commentaires des clients, les articles de médias sociaux, les flux vidéo, l'audio, etc. Il est essentiel de pouvoir travailler avec des données non structurées.

## Compétences non techniques

### Sens des affaires

Une bonne compréhension du secteur est nécessaire, tout comme l'identification des problèmes commerciaux à résoudre et la recherche de nouvelles façons pour l'entreprise d'exploiter ses actifs de données.

### Compétences en communication et travail d'équipe

Les scientifiques de données doivent être capables de transmettre leurs conclusions techniques clairement et couramment à une équipe non technique, par exemple dans le domaine du marketing ou des ventes. Ils doivent permettre à l'entreprise de prendre des décisions en fournissant des informations quantifiées et comprendre les besoins de leurs collègues non techniques pour gérer les données de manière appropriée. La narration est une compétence essentielle pour communiquer efficacement un récit reflétant les intérêts et les objectifs de l'entreprise.

<sup>43</sup> Rohan Singh, « Data Science-New Buzz in the Industry », *Coding Blocks*, Juin 2019, <https://blog.codingblocks.com/2019/data-science-a-new-phd-for-engineers/>

Les équipes de spécialistes des données ne travaillent jamais isolément et doivent interagir avec les dirigeants de l'entreprise pour élaborer des stratégies, avec les chefs de produits et les concepteurs pour créer de meilleurs produits, avec les responsables marketing pour lancer des campagnes à forte conversion, et avec les développeurs de logiciels clients et de serveurs pour créer des pipelines de données et améliorer le flux de travail.

# Annexe C

## informations détaillées sur le programme d'études

Bien qu'un plan de cours détaillé n'entre pas dans le cadre de ce projet, le CTIC a dressé une liste de sujets potentiels à inclure dans le programme de cours, s'il est élaboré.

*Le paysage canadien des soins de santé : sujets sur la vie privée, l'éthique et la réglementation*

<b>Lois et réglementations</b>	<p>Le processus d'approbation réglementaire des dispositifs médicaux, régi par le Bureau des dispositifs médicaux et Santé Canada</p> <p>Exigences et meilleures pratiques en matière d'essais cliniques</p>
<b>Éthique</b>	<p>Comités d'éthique : comités d'éthique universitaires ; Comité d'éthique de la recherche de Santé Canada et de l'Agence de la santé publique du Canada.</p> <p>L'éthique et les codes de conduite dans la pratique professionnelle :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Le code de déontologie de l'Association des infirmières et infirmiers du Canada,</li><li>• Le code de déontologie de l'ACTRM,</li><li>• Le code d'éthique et de conduite de l'AMC</li></ul>
<b>Vie privée</b>	<p>Les lois provinciales sur la protection de la vie privée du Québec, de la Colombie-Britannique et de l'Alberta, qui s'appliquent aux organisations commerciales sous réglementation provinciale dans ces provinces.</p> <p>La LPRPDE, qui s'applique aux organisations commerciales dans toutes les provinces et territoires, à l'exception du Québec, de la Colombie-Britannique et de l'Alberta, et aux organisations commerciales sous réglementation fédérale au Québec, en Colombie-Britannique et en Alberta.</p> <p>Les lois provinciales sur les renseignements sur la santé, qui s'appliquent aux dépositaires de renseignements sur la santé en Colombie-Britannique, en Alberta, au Nouveau-Brunswick, à Terre-Neuve, dans les Territoires du Nord-Ouest, en Nouvelle-Écosse, au Québec, en Ontario, en Saskatchewan et au Yukon.</p> <p>Changements dans le paysage de la protection de la vie privée : comme la consultation du CPVP sur l'IA.</p>

<b>Lois et réglementations</b>	<p>Comptabilité : droit fiscal fédéral et provincial et conformité</p> <p>Planificateurs et/ou conseillers financiers : lois provinciales pertinentes</p> <p>Services bancaires : Loi sur les banques et les organismes de réglementation associés</p> <p>Crédit et prêt : droits et responsabilités de l'emprunteur et du prêteur</p> <p>Fraude : législation et concepts en matière de fraude ; types de fraude : fraude par carte de débit et de crédit, fraude à l'investissement, fraude immobilière, fraude fiscale, blanchiment d'argent</p> <p>Lorsque vous travaillez avec le gouvernement : Directive du gouvernement sur la prise de décision automatisée</p>
<b>Éthique</b>	<p>Éthique et codes de conduite dans la pratique professionnelle, tels que : Le code d'éthique et les règles de conduite de FP Canada.</p> <p>Le code de conduite de CPA Ontario.</p>
<b>Vie privée</b>	<p>Les lois provinciales sur la protection de la vie privée du Québec, de la Colombie-Britannique et de l'Alberta, qui s'appliquent aux organisations commerciales réglementées par les provinces dans ces provinces.</p> <p>La LPRPDE, qui s'applique aux organisations commerciales dans toutes les provinces et territoires, sauf au Québec, en Colombie-Britannique et en Alberta, et aux organisations commerciales sous réglementation fédérale au Québec, en Colombie-Britannique et en Alberta, comme les banques.</p> <p>Changements dans le paysage de la protection de la vie privée, comme la consultation du CPVP sur l'IA.</p>

## Entreprises pour le développement de l'intelligence artificielle

<b>Études de produits et de marché</b>	<p>Étude de marché</p> <p>Études de cas</p> <p>Identifier les tendances, les meilleures pratiques et les autres normes</p> <p>Appliquer les tendances, les meilleures pratiques et les autres normes</p>
<b>Gestion des produits et relations avec les clients</b>	<p>Gestion des produits : identifier et définir les problèmes des entreprises</p> <p>Gestion des produits : définition et documentation des besoins des utilisateurs</p> <p>Gestion des produits : essais de produits et assurance qualité</p> <p>Relations avec les clients : faire le lien entre le client (interne et externe) et l'équipe de solutions</p> <p>Relations avec les clients : communication</p>

## Expertise du domaine : services financiers

<b>Comptabilité</b>	<p>Audit et concepts fiscaux</p> <p>Domaines d'application de l'IA</p> <p>Outils de gestion de la conformité</p> <p>Outils de gestion des risques</p>
<b>Planification ou conseil financier</b>	<p>Analyse des performances et indicateurs clés de performance.</p> <p>Concepts de planification financière : valeur de l'argent, budgétisation du capital, coût du capital, émission de titres, structure du capital, politique de distribution et dividendes, financement à court terme, gestion des risques.</p> <p>Domaines d'application communs pour l'IA : connaître son client, analyser les données du client, TLN, prévision, prévision de trésorerie.</p>
<b>Prêts</b>	<p>Domaines d'application communs pour l'IA :</p> <p>Fraude, crédit, données sur les clients, TLN, prévision (défauts de paiement, solvabilité), analyse des séries chronologiques</p>

**Fraude** Domaines d'application communs pour l'IA : prédiction (fraude), données sur les clients, TLN, analyse des séries chronologiques.

Types de fraude et moyens de détection de la fraude : fraude par carte de débit et de crédit, fraude à l'investissement, fraude immobilière, fraude fiscale.

### Apprentissage automatique/intelligence artificielle

**Connaissances préalables** Calcul  
Algèbre linéaire  
Probabilité  
Théorie statistique

**Connaissances spécifiques à l'IA** Une structure, une architecture et des outils de données importants  
Analyse des algorithmes  
Modélisation statistique  
Analyse prédictive  
Algorithmes d'apprentissage automatique : forêts aléatoires, renforcement du gradient, réseaux de neurones ; préparation des données, sélection et évaluation des modèles  
Réseaux de neurones artificiels et profonds  
Évaluer et combiner les modèles

### Maths pour l'IA

**Prérequis** Algèbre linéaire  
Calcul  
Probabilité  
Statistiques appliquées  
Modélisation du risque et théorie mathématique du risque

**Maths spécifiques à l'IA** Finance mathématique  
Science actuarielle  
Informatique et gestion financière  
Financement quantitatif  
Modélisation des risques  
Optimisation du portefeuille