

L'ÈRE DE DEMAIN

**LA MAIN-D'ŒUVRE
AMPLIFIÉE PAR
L'INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE
DU CANADA**



Recherche par :



Conseil des technologies de
l'information et des communications

Canada 

Ce projet est financé en partie par le
Programme d'initiatives sectorielles
du gouvernement du Canada

Préface

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

Pour citer ce rapport

McLaughlin, Ryan; Quan, Trevor. L'ère de demain : La main-d'œuvre amplifiée par l'intelligence artificielle du Canada. Conseil des technologies de l'information et des communications (décembre 2019). Ottawa, Canada.

Recherche et rédaction par Ryan McLaughlin (économiste principal et analyste de la recherche) et Trevor Quan (analyste principal de la recherche), avec le généreux soutien d'Alexandra Cutean (directrice principale, Recherche et politiques), Rob Davidson (gestionnaire, Analyse des données et recherche), Peter Taillon (analyste principal des données) et l'équipe de la recherche et des politiques du CTIC.

Les opinions et interprétations de la présente publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du gouvernement du Canada.

Remerciements

Les contributions offertes dans le cadre du présent rapport par notre comité consultatif, les intervenants clés et d'autres experts en la matière sont grandement appréciées. Nous aimerions surtout remercier les personnes suivantes d'avoir participé à la production du présent rapport.

Darine Ameyed : Analyste de la recherche, Synchromedia Laboratory

James Bergstra : Cofondateur et responsable de la recherche en intelligence artificielle, Kindred

Niraj Bhargava : Fondateur et PDG, New Energy Group et NuEnergy.ai

Myrna Bittner : Fondatrice et PDG, RUNWITHIT Synthetics

René Breyel : Fondateur et président du conseil d'administration, AloT Canada

Ralph Deters, Ph. D. : Professeur d'informatique, Université de la Saskatchewan

Eli Fathi : PDG, MindBridge AI

Zachary Fritze : Cofondateur et PDG, Cultovo

Valentine Goddard : Fondatrice et PDG, AI Impact Alliance

Ziad Kobti, Ph. D. : Directeur, École de sciences informatiques, Université de Windsor

Santha Krishnasamy : Fondatrice, FourFront Insights

Thomas Levi : Directeur en science des données, Unbounce

John Murphy : PDG, Stream Technologies, Inc.

Alex Napier : Spécialiste des plateformes d'analytique, IBM

Shalaleh Rismani : Agente en chef de l'innovation et architecte de systèmes, Generation R Consulting

Mark Robbins : Chercheur principal, Institut sur la gouvernance

Jenny Yang : Fondatrice et PDG, Aida Software Corporation

Glossaire

Intelligence artificielle (IA) : Sujet multidisciplinaire relatif aux méthodes et techniques de diverses disciplines fondamentales comme les mathématiques, l'ingénierie, les sciences naturelles, l'informatique et la linguistique. Au cours des dernières décennies, l'IA a intégré bon nombre de secteurs technologiques comme la planification, le traitement du langage naturel, le traitement de la parole, l'apprentissage machine, la reconnaissance visuelle, les réseaux neuronaux et la robotique.

Apprentissage machine : L'apprentissage machine est une application d'algorithmes d'IA qui donne au système la capacité d'apprendre automatiquement et de s'améliorer à partir d'expériences antérieures sans être explicitement programmée. L'apprentissage machine permet aux ordinateurs d'apprendre automatiquement sans intervention humaine¹, un processus qui englobe des algorithmes d'apprentissage machine reposant sur des modèles mathématiques fondés sur des données d'échantillon ou « d'apprentissage » afin de faire des prévisions ou de prendre des décisions. Même si l'apprentissage machine existe depuis longtemps, la capacité d'appliquer des calculs mathématiques complexes aux données massives (plus rapides et contenant plus de répétitions) est un développement plus récent². L'apprentissage machine est un sous-ensemble du domaine élargi de l'IA³.

Réseaux neuronaux : Réseau d'algorithmes conçu pour reconnaître des « schémas ». Les réseaux neuronaux sont des systèmes informatiques composés de plusieurs éléments de traitement simples interreliés qui répondent aux intrants externes (s'apparentent à la structure neuronale du cerveau)⁴. Ils peuvent interpréter des données sensorielles au moyen d'un type de perception afin de classer ou de regrouper des intrants et sont surtout utilisés pour regrouper et classifier des données ainsi que grouper des données non étiquetées selon les similitudes parmi les intrants. Ces systèmes apprennent à exécuter des tâches en tenant compte d'exemples sans programmation précise (en analysant des exemples de données).

Apprentissage profond : Domaine de l'IA associé à l'utilisation des réseaux neuronaux artificiels. L'apprentissage profond renvoie à la profondeur des multiples couches ou piles de réseaux neuronaux.

Traitement du langage naturel : Technologie utilisée pour aider les ordinateurs à comprendre le langage naturel humain. Il s'agit d'un type d'IA engagé dans l'interaction entre des ordinateurs et des humains, utilisant le langage naturel (plutôt que le codage) afin de lire, de déchiffrer et de comprendre les langages. La majorité des techniques de traitement du langage naturel utilise l'apprentissage machine dans le cadre de ce processus⁵. Les applications de traduction des langages, les applications numérisées pour les centres d'appels qui peuvent répondre à des demandes, et les assistants personnels numériques comme Siri et Alexa en sont quelques exemples.

Visionique : Domaine de technologies et de méthodes utilisées pour fournir une analyse et une inspection automatiques fondées sur l'imagerie. La visionique peut renvoyer aux logiciels, au matériel, aux systèmes intégrés et aux méthodes pour intégrer la technologie afin d'utiliser des applications physiques, médicales ou industrielles.

¹“What is Machine Learning? A definition.” Expert Systems. March 7, 2017. <https://expertsystem.com/machine-learning-definition/>

²“Machine Learning: What it is and why it matters.” SAS. Accessed January 2020. https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/machine-learning.html

³Nicholson, Chris. “Artificial Intelligence (AI) vs. Machine Learning vs Deep Intelligence.” Pathmind (formerly Skymind). Accessed January 2020. <https://skymind.ai/wiki/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning>

⁴Rouse, Margaret. “Artificial neural network (ANN).” TechTarget. August 2019. <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/neural-network>

⁵Garbade, Dr. Michael J. “A Simple Introduction to Natural Language Processing.” Medium. October 15, 2018.

<https://becominghuman.ai/a-simple-introduction-to-natural-language-processing-ea66a1747b32>

La visionique emploie souvent des caméras, la conversion analogique à numérique et le traitement de signaux et peut être décrit comme donnant à un ordinateur la capacité de voir⁶. Ce domaine s'est rapidement développé grâce à l'utilisation de réseaux neuronaux spécialisés pour aider les machines à identifier et à comprendre les images⁷.

Robotique : Domaine de la science qui concerne le développement de robots ou de machines qui peuvent remplacer les humains ou reproduire des actions humaines. Alors que l'IA agit comme le « cerveau », la robotique représente le « corps »⁸.

Intelligence artificielle générale (ou intelligence artificielle supérieure) : Construction d'IA (ou niveau d'IA) ayant des capacités et des fonctions mentales qui imitent le cerveau humain. En pratique, il s'agit de la capacité d'une machine de réaliser une tâche qu'un humain peut faire⁹. Philosophiquement, elle pourrait renvoyer à tout système d'IA qui agit comme s'il avait un esprit qui lui est propre. Bien qu'il puisse être théoriquement possible de reproduire le fonctionnement d'un cerveau humain, ce niveau de complexité demeure bien en dehors de notre portée actuelle. Certains experts en IA estiment que ce niveau de capacité (et même au-delà vers une surconscience ou « singularité ») est inévitable étant donné les développements exponentiels dans le domaine, alors que d'autres croient que l'intelligence artificielle générale ne sera jamais possible puisque l'intelligence humaine est multidimensionnelle et que le cerveau humain est impossible à reproduire¹⁰.

Intelligence artificielle faible : Intelligence artificielle qui se concentre sur une seule tâche précise. Les assistants numériques comme Siri et Alexa sont des exemples d'intelligence artificielle faible puisqu'ils se limitent à des fonctions prédéfinies. Pour ces applications, il n'y a pas de conscience ni d'intelligence véritable qui peuvent fonctionner en dehors de cas pratiques prédéterminés. Dans certains cas, elle pourrait être considérée comme une « intelligence artificielle fonctionnelle » ou l'automatisation de tâches précises au moyen d'une technologie ou de développements logiciels nouveaux. Elle s'appuie souvent sur l'utilisation de grandes quantités de données, à laquelle s'ajoutent l'analytique prédictive et l'apprentissage machine pour développer des algorithmes. L'IA intégrée aux voitures autonomes, les listes de lecture « créées pour vous » de Spotify, et la reconnaissance faciale sont quelques exemples d'intelligence artificielle faible. Ces fonctions plus limitées ou spécialisées représentent ce qu'il est possible d'accomplir avec la technologie de l'IA d'aujourd'hui.

Automatisation : Utilisation de la technologie pour automatiser un processus ou une procédure qui sera exécuté avec une aide humaine minimale. Il peut s'agir de moyens physiques (p. ex. hydraulique, mécanique ou pneumatique) ou de processus numériques (dispositifs électriques et ordinateurs). Généralement, les systèmes complexes utilisent une combinaison de ces techniques.

Automatisation des processus robotisés : Automatisation des processus opérationnels qui imitent les interactions humaines dans une interface utilisateur (imitant le fonctionnement des tâches humaines comme les déplacements du curseur ou les clics des boutons). Elle peut servir à mettre en œuvre des actions à partir d'un cerveau d'IA. Elle peut parfois intégrer l'apprentissage machine et des algorithmes d'apprentissage profond¹¹.

⁶Rouse, Margaret. "Machine vision (computer vision)". TechTarget. July 2016.

<https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/machine-vision-computer-vision>

⁷El-Ouazzane, Remi. "Why machine vision is the next frontier for AI." Venture Beat. December 5, 2015.

<https://venturebeat.com/2015/12/05/why-machine-vision-is-the-next-frontier-for-ai/>

⁸Sharma, Ashok. "Artificial Intelligence vs Robotics: All the Facts You Need to Know." Medium. September 9, 2019.

<https://medium.com/data-driven-investor/artificial-intelligence-vs-robotics-all-the-facts-you-need-to-know-1079e01e05e2>

⁹Joshi, Naveen. "How Far Are We From Achieving Artificial General Intelligence?" Forbes. June 10, 2019.

<https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/06/10/how-far-are-we-from-achieving-artificial-general-intelligence/#54f502256dc4>

¹⁰"373 experts opinion: AGI/singularity by 2060." AIMultiple. January 1, 2020.

<https://blog.aimultiple.com/artificial-general-intelligence-singularity-timing/>

¹¹Nicholson, Chris "AI Applications in Robotic Process Automation (RPA)." Pathmind (formerly Skymind). Accessed January 2020.

<https://skymind.ai/wiki/robotic-process-automation-rpa>

Intelligence artificielle explicable : Domaine en expansion de l'apprentissage machine qui vise à évaluer la façon dont un système d'IA prend des décisions (pour scruter les algorithmes décisionnels de la boîte noire). Elle désigne parfois une intelligence artificielle transparente et inclut souvent un niveau de traçabilité ou de vérifiabilité. Elle comprend l'examen des étapes ou des modèles qu'utilise un système d'IA qui prend une décision et peut inclure des questions comme la raison pour laquelle un système d'IA fait une prédiction ou prend une décision particulière, pourquoi il a ou n'a pas emprunté un autre chemin, et pourquoi les décisions prédictives ont réussi ou échoué. Une comparaison simpliste avec l'activité humaine serait la démonstration des calculs dans un problème mathématique¹².

Certains des efforts déployés dans ce domaine (explicabilité) porte sur l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage machine qui sont intrinsèquement explicables, comme des arbres décisionnels simples ou des modèles de classification qui englobent un processus de traçabilité et de transparence (sans sacrifier une trop grande partie du rendement ou de l'exactitude). Il est beaucoup plus difficile d'expliquer les opérations d'algorithmes plus puissants lorsqu'il peut y avoir un compromis entre le rendement, l'exactitude et l'explicabilité.¹³ Comme les humains, les réseaux neuronaux font des erreurs et il peut être difficile de comprendre pourquoi ils ont échoué étant donné l'incapacité de l'IA de communiquer elle-même les processus décisionnels.

¹²Casey, Kevin. "What is explainable AI?" *The Enterprisers Project*. May 22, 2019.

<https://enterpriseproject.com/article/2019/5/what-explainable-ai>

¹³Schmelzer, Ron. "Understanding Explainable AI". *Forbes*. July 23, 2019.

<https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/07/23/understanding-explainable-ai/#28ea76af7c9e>

Table des matières

Remerciements	4
Glossaire	5
Sommaire	8
Introduction et contexte	10
Section I: Qu'est-ce que l'intelligence artificielle et dans quelle mesure changera-t-elle la nature du travail?	11
Section II: L'intelligence artificielle au Canada et dans le monde – Où en sommes-nous?	13
Aperçu : Montréal	15
Aperçu : Toronto	16
Aperçu : Edmonton	17
L'industrie croissante de l'intelligence artificielle au Canada	18
Investissements de capital de risque et entreprises	19
Section III: L'intelligence artificielle et le marché du travail – Demande croissante de main-d'œuvre et évolution des besoins en compétences	20
La demande de talents en intelligence artificielle	21
Section IV: Modèle d'amplification du travail par l'intelligence artificielle	25
Professions se prêtant le mieux à l'amplification par l'intelligence artificielle	25
Historique de l'emploi : Emplois amplifiables par l'intelligence artificielle et leur capacité de se remettre du ralentissement économique de 2008	26
Lien entre l'amplification par l'IA et les salaires	27
Quel est le lien entre l'amplification et le genre?	28
Professions se prêtant le moins à l'amplification par l'intelligence artificielle	29
Section V: L'intelligence artificielle dans les secteurs stratégiques	35
Aperçu : Agroalimentaire et technologies de l'alimentation	36
Aperçu : Santé et biotechnologie	38
Aperçu : Ressources propres	40
Aperçu : Fabrication avancée	42
Section VI: Éthique et transparence de l'intelligence artificielle	43
Mesures prises pour résoudre les problèmes éthiques de l'intelligence artificielle	45
Éthique de l'intelligence artificielle et jugements de valeur	46
Transparence et explicabilité	48
L'intelligence artificielle et la protection de la vie privée	49
Conclusion	50
Annexes	51
Annexe I : Méthodologie de recherche	51
Annexe II : Méthodologie de l'échelle d'impact de l'intelligence artificielle	51
Annexe III : Limites de la recherche	52
Annexe V : Compétences les plus susceptibles d'amplification par l'intelligence artificielle	53

Sommaire

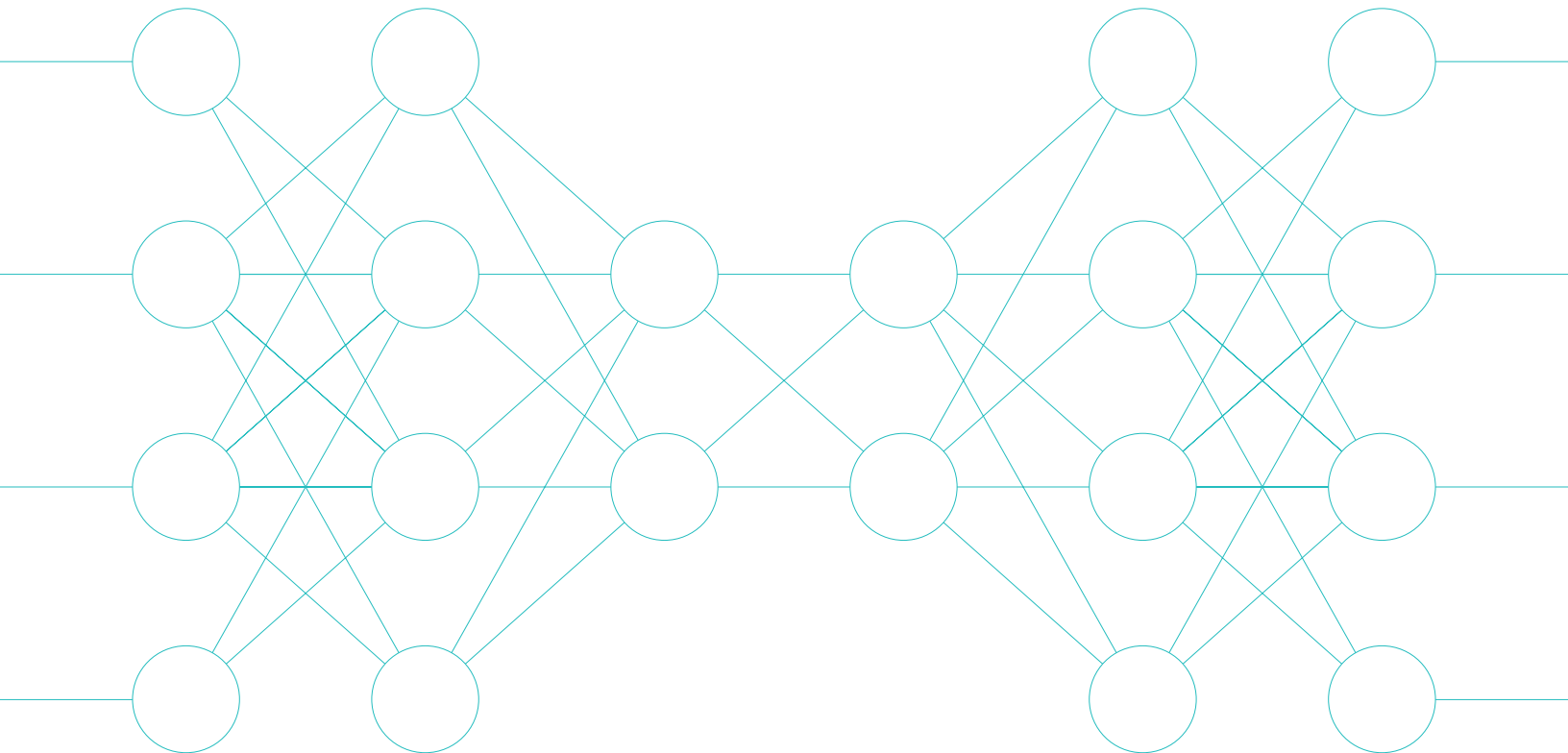
L'intelligence artificielle est souvent considérée comme l'un des domaines les plus prometteurs de l'évolution technologique. La capacité de générer des gains d'efficacité, de définir des perspectives ou des schémas cachés et d'automatiser des tâches crée une technologie de transformation qui peut fondamentalement altérer le marché du travail et les activités opérationnelles. Bien que les progrès dans le domaine de l'IA aient fluctué depuis l'introduction de la technologie, nous observons de plus en plus son potentiel dans l'ensemble de l'économie et du marché du travail. Avant la récession de 2008, la notion d'IA et même, dans certains cas, l'automatisation élémentaire étaient, pour de nombreuses entreprises, davantage un concept qu'un outil. Pourtant, après cette période de ralentissement économique important, des entreprises du monde entier ont commencé à se tourner activement vers l'IA et à l'appliquer à des défis concrets, stimulant ainsi la productivité et la demande de main-d'œuvre. Ici, l'IA s'est intégrée à notre économie et son développement s'est accéléré lorsqu'elle a été combinée avec une hausse de la connectivité au réseau, la disponibilité et l'abordabilité des capteurs puissants, l'arrivée des données massives, et la croissance exponentielle de la puissance de calcul.

L'utilisation accrue de l'IA, même dans le sens rudimentaire de l'automatisation et de la technologie d'assistance, offre non seulement des possibilités, mais pose aussi des questions importantes sur la perturbation du marché du travail, notamment des inquiétudes concernant l'amplification du travail et les changements touchant les besoins en compétences, les capacités, ainsi que les tâches et les responsabilités des travailleurs.

Dans ce contexte, le modèle d'amplification du travail par l'IA du CTIC montre quelles professions sont les plus susceptibles d'amplification grâce à l'IA. Pour ce faire, il faut déterminer dans quelle mesure certaines professions sont ou seront susceptibles d'amplification. Bien que le « risque » global d'amplification ait considérablement augmenté pour de nombreuses professions depuis la récession de 2008 alors que bon nombre d'entreprises ont commencé à miser sur l'IA et la technologie d'assistance, il faut faire certaines nuances importantes quant aux emplois qui seront touchés, aux travailleurs qui occuperont ces rôles, et au rapport qui existe avec les salaires. Par exemple, bien que l'IA puisse amplifier bon nombre d'emplois à faible salaire comme les représentants du service à la clientèle ou les rôles administratifs de premier échelon, l'amplification ne touche pas uniquement les occupations à bas salaires. En réalité, le modèle d'amplification du travail par l'IA du CTIC précise que certaines professions à salaire élevé, comme les vérificateurs et les analystes financiers, sont tout aussi susceptibles d'amplification.

L'IA offre un immense potentiel pour redéfinir le marché du travail canadien et transformer les pratiques opérationnelles. Toutefois, alors que l'IA continue de perturber le secteur à de nombreux égards, il est essentiel d'élaborer des stratégies pour s'assurer que ses avantages ne créent pas de divisions et qu'elle est déployée et utilisée de façon responsable. Ce cadre éthique directeur ainsi que l'importance et la demande accrues d'explicabilité doivent être au cœur de toutes les discussions sur l'IA. Ce cadre éthique est présentement un domaine dans lequel le Canada excelle et où il peut faire preuve de leadership à l'échelle mondiale. Il est donc crucial de maintenir cet élan.

Dans le cadre de l'évaluation et de la compréhension des avantages potentiels de l'IA, les changements touchant le marché du travail et l'évolution des besoins en compétences sont au cœur du débat. Il sera crucial d'étudier et de comprendre l'amplification du travail et les besoins en compétences qui se développent rapidement en raison de l'IA. Les connaissances découlant de cette recherche sont nécessaires aujourd'hui pour développer des parcours de formation et de perfectionnement que les Canadiens peuvent emprunter pour se préparer à l'avenir. Cette compréhension et le développement du leadership du Canada dans le paysage de l'IA éthique et explicable représentent les ingrédients nécessaires à une stratégie canadienne sur l'IA qui est inclusive, transparente et véritablement novatrice.



Introduction et contexte

Le secteur de l'IA évolue rapidement et a bénéficié de la convergence de différentes technologies de l'information et de la numérisation élargie du monde qui nous entoure. L'omniprésence et le rendement accru des capteurs, de la puissance de calcul, de la connectivité, du stockage de données et des algorithmes logiciels évolués ont contribué à faciliter les développements en matière d'IA qui n'ont longtemps existé que dans notre imagination. La présente étude souligne la croissance et l'impact de l'IA au Canada par un examen des tendances liées au développement en la matière, des forces du Canada dans ce secteur, des impacts socioéconomiques, des changements en matière de travail, et de l'application potentielle de l'IA dans une variété de secteurs.

Pendant le processus de recherche, le CTIC a examiné différentes sources de données, notamment Statistique Canada, O*NET et la bibliothèque en ligne de l'Organisation de coopération et de développement économiques, afin de tenter de comprendre les différents types d'IA, leurs applications dans l'ensemble de l'économie et leur capacité d'influencer le marché du travail. Cet examen a été combiné à des perspectives inestimables recueillies lors d'entrevues approfondies auprès d'experts de l'IA, en plus de la rétroaction et des commentaires reçus des membres d'un comité consultatif de projet qui évaluait et validait les conclusions. Cette combinaison de recherches appuyait les conclusions globales du présent rapport ainsi que la création du modèle d'amplification du travail par l'IA, lequel détermine la probabilité selon laquelle certaines professions canadiennes seront amplifiées par l'IA. Puisqu'il s'agit d'un marché encore nouveau au Canada, alors que de nombreuses organisations intensifient leurs activités en ce moment même, aucune prévision d'emploi n'est présentée dans ce rapport en raison des difficultés à garantir une fiabilité et une exactitude élémentaires. Le CTIC continuera de surveiller et d'évaluer ces tendances, saisissant des données sur les changements touchant le marché du travail et les besoins en compétences qui s'appliquent à la demande en matière d'emploi à court et à long terme. L'objectif global de cet engagement à méthode mixte était d'examiner les possibilités que peut offrir l'IA dans l'ensemble de l'économie canadienne tout en soulignant l'amplification du travail et les futurs besoins en compétences qui seront guidés par la mise en œuvre accrue de l'IA.

- ▶ La **section I** présente une explication de deux types importants d'IA : l'intelligence artificielle générale et l'intelligence artificielle faible.
- ▶ La **section II** examine les concepts de la productivité facilitée par l'IA et dresse un portrait de l'écosystème canadien de l'IA. Elle traite des carrefours régionaux, des tendances en matière d'investissements publics et privés dans le domaine de l'IA et de la croissance des entreprises d'IA qui se reflète dans les collaborations et les projets au sein de l'industrie.
- ▶ La **section III** explore les tendances du marché du travail concernant les postes liés à l'IA, comme la croissance future de l'emploi et les salaires.
- ▶ La **section IV** présente une analyse approfondie du modèle d'amplification du travail par l'IA du CTIC, soulignant les professions canadiennes les plus susceptibles d'être touchées par l'IA. Des données démographiques, des salaires et des analyses historiques de l'indice d'amplification par l'IA y sont aussi présentés.
- ▶ La **section V** offre un aperçu des applications d'IA et des possibilités dans une variété de secteurs de croissance stratégique au Canada.
- ▶ La **section VI** examine les concepts de transparence, d'éthique et d'explicabilité de l'IA, soulignant les forces du Canada et les possibilités de leadership mondial dans ce domaine.

QU'EST-CE QUE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET DANS QUELLE MESURE CHANGERA-T-ELLE LA NATURE DU TRAVAIL?

L'IA est la science de la conception de systèmes informatiques qui présentent des caractéristiques associées à l'intelligence humaine, notamment l'apprentissage, la réflexion, le raisonnement, l'élaboration de stratégies, et la résolution de problèmes. Bien que ses origines conceptuelles remontent aux années 1950, le domaine de l'IA a continué d'évoluer au fil des ans, les périodes de développement rapide alternant les années de stagnation relative.

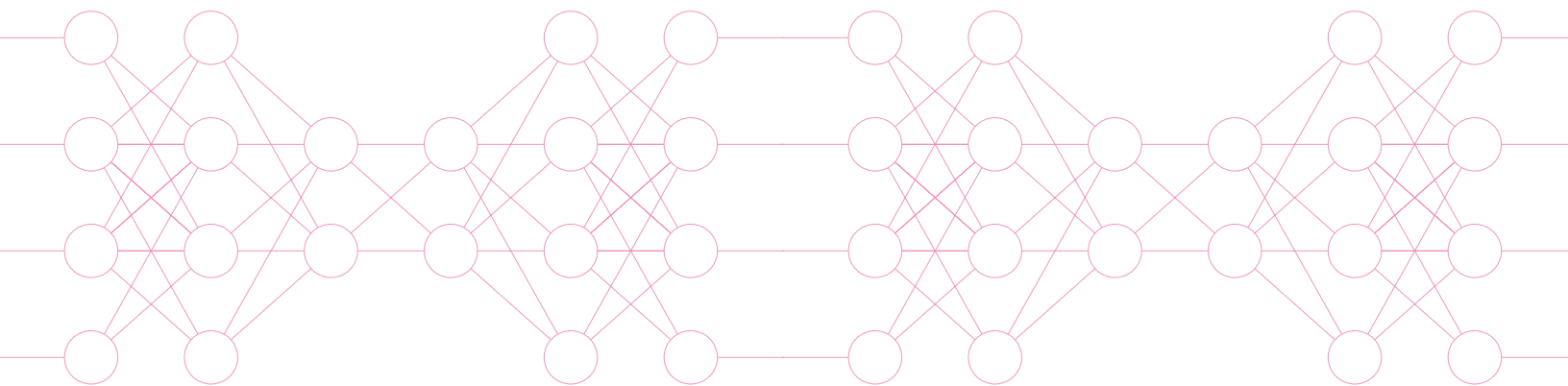
L'IA est un sujet multidisciplinaire qui comprend des méthodes et des techniques de différents domaines, dont les mathématiques, l'ingénierie, les sciences naturelles, l'informatique et la linguistique. Au cours des dernières décennies, nous avons vu l'évolution continue des activités liées à l'IA comme l'apprentissage machine et les réseaux neuronaux. Ces techniques ont profité à différents secteurs d'application, comme le traitement du langage naturel, le traitement de la parole et la robotique. Des applications alimentées par l'IA ont plus tard été appliquées à toute une gamme d'industries, notamment les finances, la fabrication, la santé et les technologies propres.

Cependant, alors que l'IA est souvent considérée comme étant un seul et même concept, il existe une énorme différence entre l'intelligence artificielle générale (ou « supérieure ») et l'intelligence artificielle faible. L'intelligence artificielle supérieure renvoie à l'intelligence artificielle véritable, capable de générer des solutions originales à une grande variété de problèmes et de situations et dont la créativité et la versatilité sont semblables ou supérieures à l'esprit humain. Puisque ces machines sont capables de se programmer elles-mêmes rapidement, plusieurs supposent que l'arrivée de l'intelligence artificielle générale pourrait rapidement être suivie d'une période de croissance exponentielle de l'IA, ou comme certains l'appellent, la « singularité technologique ». Bien que les estimations des experts varient, ils s'entendent généralement pour dire que nous sommes probablement encore bien loin du développement et de l'utilisation quotidienne d'une intelligence artificielle généralisée, et certains disent même que ce ne sera jamais possible.

Toutefois, l'intelligence artificielle faible influence déjà bon nombre des aspects de notre société et de notre économie. Elle est utilisée dans l'élaboration de technologies d'assistance simples comme la fonction de remplissage automatique de votre téléphone intelligent, les listes de lecture « créées pour vous » de Spotify, les rappels d'horaire automatisés, et les thermostats intelligents. Contrairement à l'intelligence artificielle « supérieure », l'intelligence artificielle « faible » n'est pas vraiment capable de résoudre divers problèmes cognitifs comme un humain. Son intelligence dépend plutôt du contexte et se limite à traiter des difficultés précises.

Même si l'intelligence artificielle faible est possiblement incapable de résoudre tous les problèmes originaux ou complexes, ses impacts économiques sont déjà très marqués. Ce type d'IA est considérée comme une étape importante, mais graduelle de la révolution des technologies de l'information qui dure depuis des décennies. Il faut savoir qu'il s'est écoulé environ 50 ans entre l'invention de la dynamo électrique de Michael Faraday en 1831 et l'invention de l'ampoule incandescente de Thomas Edison. Puis, il a fallu encore 50 ans avant que la moitié des foyers américains soient munis de câbles électriques, et encore 25 ans avant la prolifération de l'électricité de consommation dans les années 1950. De manière analogue, il y a plus de 30 ans, l'économiste Robert Solow a dit qu'il était « possible d'observer l'intégration de l'informatique dans tous les secteurs, sauf dans les statistiques sur la productivité », mais en 2011, l'investisseur en capital risque Marc Andreessen a déclaré que « l'informatique envahit le monde ». Depuis la récession économique mondiale de 2008, nous avons pu observer une croissance exponentielle de la connectivité, de la génération et de la collecte de données, de la puissance de calcul et du perfectionnement des logiciels. Une grande partie de cette croissance est attribuable à l'intelligence artificielle faible.

Puisqu'il est impossible de savoir à quel moment, et même si, nous réaliserons notre plein potentiel théorique de l'intelligence artificielle supérieure ou généralisée, le présent document permet de comprendre l'impact et l'amplification du travail découlant de l'intelligence artificielle faible, dont l'apprentissage machine et l'analytique prédictive, souvent employée dans le développement de technologies d'assistance.



L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU CANADA ET DANS LE MONDE – OÙ EN SOMMES-NOUS?

À l'échelle mondiale, le domaine de l'IA évolue rapidement et l'engouement pour son potentiel futur se reflète, en partie, par son adoption et sa mise en œuvre en pleine croissance. Au cours des dernières années, le nombre d'entreprises ayant envahi cette industrie, ou qui intègre des outils d'IA dans leurs activités existantes afin de stimuler la productivité, a considérablement augmenté.

Une récente étude réalisée par le Boston Consulting Group examinait l'adoption de l'IA dans sept pays. Dans son analyse, l'étude indique qu'environ 40 à 50 p. 100 des entreprises¹⁴ exploitées dans ces pays sont considérées comme des « joueurs actifs » en matière de développement de projets pilotes d'IA ou d'adoption de l'IA pour répondre à leurs besoins opérationnels¹⁵. De même, une récente étude de PwC reposant sur l'hypothèse voulant que l'IA engendre des gains de productivité à l'avenir grâce à l'automatisation des processus opérationnels a dévoilé que cette technologie pourrait entraîner des gains économiques considérables. Cette étude prédit que l'adoption et la mise en œuvre de l'IA engendreront des gains dans l'ensemble de l'économie, totalisant une autre tranche de 10 p. 100 du PIB dans l'ensemble des industries d'ici 2030.¹⁶

Des recherches novatrices, éthiques et responsables : la plus grande force du Canada en matière d'intelligence artificielle

Le Canada démontre une grande force dans le secteur de la recherche sur l'IA et est souvent considéré comme un chef de file mondial en la matière. Dès 1982, les chercheurs canadiens ont commencé à penser aux impacts de l'IA sur l'économie canadienne et mondiale et aux changements fondamentaux qu'elle apporterait dans notre vie. Cette même année, l'Institut canadien de recherches avancées (CIFAR) a été mis sur pied, permettant à des chercheurs de travailler dans différentes disciplines de l'IA. Au sein de cette organisation, des groupes comme Apprentissage automatique, apprentissage biologique ont produit certaines des recherches les plus souvent citées dans le monde en la matière.

¹⁴Services aux consommateurs, énergie, services financiers, soins de santé, industrie, technologies, médias, télécommunications et services professionnels.

¹⁵Duranton, Sylvain, Jörg Erlebach, and Marc Pauly. "Mind the (AI) Gap: Leadership Makes the Difference" Boston Consulting Group. December 2018. http://image-src.bcg.com/Images/Mind_the%28AI%29Gap-Focus_tcm108-208965.pdf

¹⁶Gillham, Jonathan et al. "The macroeconomic impact of artificial intelligence". PwC. February 2018.

<https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/macro-economic-impact-of-ai-technical-report-feb-18.pdf>

Certaines des publications de renommée mondiale des chercheurs du CIFAR incluent bon nombre d'études sur l'apprentissage profond réalisées par des pionniers de l'IA comme Yosha Bengio et Geoffrey Hinton. Les autres chercheurs dans ce domaine incluent Joelle Pineau, responsable du laboratoire de recherche en IA pour Facebook à Montréal et leader visionnaire des difficultés relatives aux systèmes guidés par l'IA et les données, ainsi que la fondatrice d'AI Impact Alliance Valentine Goddard, avocate et spécialiste reconnue des répercussions éthiques et sociales de l'IA.¹⁷

Le parcours du Canada en recherche sur l'IA ne s'arrête pas au CIFAR : il s'étend bien au-delà de ces frontières. La croissance et les investissements dans ce secteur ont mené à la création d'instituts et de groupes de recherche novateurs au pays, ainsi qu'à l'émergence d'un leadership dans les discussions sur l'éthique, la responsabilité et la transparence.

Ces efforts ont permis au Canada de figurer parmi les premiers pays à annoncer l'élaboration d'une stratégie nationale en matière d'IA au printemps de 2017. Grâce à un investissement de 125 millions de dollars sur 5 ans, le Canada vise à augmenter le nombre de chercheurs et de diplômés hautement qualifiés, à accroître la collaboration et les capacités de recherche, et à démontrer son leadership mondial en matière d'IA.

Un an plus tard, en 2018, une étude menée par la nouvelle organisation Element AI soulignait que le Canada se classait au troisième rang mondial quant à la concentration de chercheurs en IA.¹⁸ À ce rythme, le Canada a largement dépassé des pays comme la France et l'Allemagne, lesquels ont longtemps été considérés comme des chefs de file dans le domaine. Au printemps de 2019, le Canada a annoncé sa Charte canadienne du numérique, un document qui jette les bases de la gouvernance de la sphère numérique au Canada¹⁹, y compris, sans toutefois s'y limiter, les technologies clés comme l'IA.

Les efforts du Canada dans le développement de la recherche en IA et de l'intelligence artificielle éthique guidés par d'importantes avancées comme la Déclaration de Montréal sont également mis de l'avant dans la production industrielle elle-même. Une étude réalisée en 2018 auprès de petites, moyennes et grandes entreprises du secteur de l'IA de partout dans le monde a révélé que les entreprises canadiennes disposaient du plus grand nombre de comités d'éthique en IA au monde²⁰. Les principaux joueurs, dont Microsoft Canada, ont cherché à devenir des chefs de file en matière d'éthique, de protection de la vie privée et des répercussions sociétales de cette technologie, alors que d'autres, comme Amazon et Salesforce, ont financé des recherches fédérales sur « l'équité algorithmique » et créé de nouveaux rôles, comme des architectes de l'intelligence artificielle éthique et des responsables en chef de l'utilisation humaine et éthique.

L'ampleur des efforts du Canada en matière d'intelligence artificielle éthique reflète bien la force historique de la recherche dans le domaine. Bien que des considérations éthiques soient souvent soulevées en ce qui concerne la recherche, la politique publique, la réglementation et les stratégies organisationnelles, elles sont également nécessaires dans les milieux de travail pour le développement responsable de la technologie. Le Canada augmente sa présence dans ce paysage et fait d'importantes percées dans la discussion sur les principales considérations qui façonnent et orientent le développement de la technologie partout dans le monde. Des grappes clés d'activités se forment rapidement dans l'ensemble du pays pour appuyer l'évolution de ces recherches et renforcer le rôle de chef de file du Canada dans le domaine. La section suivante présente un aperçu des principales villes du Canada qui sont à la tête de ces discussions.

¹⁷<https://valentinegoddard.com/>

¹⁸Galang, Jessica. "Element AI Global Talent Report Finds Canada Has Third-Largest Concentration of AI Researchers". Betakit. February 7, 2018. <https://betakit.com/element-ai-global-talent-report-finds-canada-has-third-largest-concentration-of-ai-researchers/>

¹⁹"Minister Bains announces Canada's Digital Charter". Innovation, Science and Economic Development Canada. May 21, 2019.

<https://www.canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2019/05/minister-bains-announces-canadas-digital-charter.html>

²⁰"Organizations Are Gearing Up for More Ethical and Responsible Use of Artificial Intelligence, Finds Study". Accenture. September 25, 2018.

Montréal

Montréal est un chef de file mondial de la recherche en IA, montrant des forces considérables dans le domaine de l'apprentissage profond. Scale AI, l'organisme derrière la supergrappe d'innovation en IA du Canada, se concentre principalement sur la recherche relative aux chaînes d'approvisionnement et à la logistique²¹, aidant les entreprises canadiennes à utiliser la technologie et à en tirer profit. Profitant de la grappe de Scale AI, Local Line est une entreprise canadienne de logistique et de vente de gros en ligne. Grâce aux fonds provenant de la supergrappe, Local Line développe présentement un projet dont le but est de réduire les coûts de transport pour les agriculteurs et de générer des gains d'efficacité au moyen d'algorithmes d'IA afin de prévoir les dates d'expédition. Un autre exemple de projet novateur de Scale AI est mené par Ray-Mont Logistics, dont le but est d'utiliser l'IA pour créer un terminal d'expédition intelligent.²²

L'Institut des algorithmes d'apprentissage de Montréal : le siège de plus de 300 chercheurs en IA

L'Institut des algorithmes d'apprentissage de Montréal (Mila) est un chef de file mondial en plein essor dans le domaine de l'IA. Mila emploie plus de 300 chercheurs et doctorants dans des domaines liés à l'IA, traitant de sujet comme l'apprentissage profond, les réseaux profonds, la vision par ordinateur et les réseaux neuronaux. Mila détient présentement la plus grande concentration de chercheurs en IA au monde.

Les grandes capacités de recherche en IA offertes dans des institutions montréalaises comme Mila ont contribué à l'établissement d'autres laboratoires de recherche comme l'entreprise Element AI, le laboratoire de recherche en IA de Facebook et le centre de recherche en IA de Samsung.

Element AI, chef de file de la recherche, fait équipe avec des multinationales afin d'offrir des services de consultation sur la cybersécurité, les services financiers, l'assurance, les chaînes d'approvisionnement et la fabrication. IVADO Labs, également basé à Montréal, est un service d'IA dont le but est de faire progresser plus efficacement les technologies de pointe en IA, du milieu universitaire à la commercialisation de produits. Le laboratoire de recherche en IA de Facebook effectue des recherches fondamentales touchant notamment la sécurité nationale, les médias et l'imagerie médicale. Le centre d'IA de Samsung situé à Montréal cible les recherches sur l'apprentissage machine, la compréhension du langage et le développement de semi-conducteurs de prochaine génération²³.

²¹Simpson, Meagan. "Scale AI supercluster officially receives \$290 million in funding". ITBusiness.ca. Dec 7, 2018. <https://www.itbusiness.ca/news/scale-ai-final-supercluster-to-officially-receive-funding-announces-290-million-from-federal-and-quebec-governments/107569>

²²"SCALE.AI starts off with first projects". Innovation, Science and Economic Development Canada. June 27, 2019. <https://www.canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2019/06/scaleai-starts-off-with-first-projects.htm>

²³"Samsung Electronics Expands SAIT AI Lab Montreal to Spur AI Research for Next-Generation System Semiconductor." Samsung. May 2, 2019. <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-expands-sait-ai-lab-montreal-to-spur-ai-research-for-next-generation-system-semiconductor>



Toronto

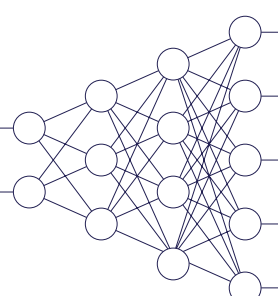
Toronto est un autre carrefour d'expertise de classe mondiale en matière d'IA, bénéficiant de l'appui d'établissements universitaires comme l'Université de Toronto. L'Université de Toronto offre une variété d'options de programme, notamment un programme d'informatique avec mineure en génie de l'IA, différents certificats en IA, une maîtrise en analytique de gestion, et le premier programme d'ingénierie de premier cycle en IA au Canada. Grâce à ce large éventail d'options éducatives fondées sur l'IA, l'Université de Toronto arrive en tête de file dans des domaines comme l'intégration de l'IA en ingénierie, l'analyse des données, et l'optimisation du matériel informatique.²⁴

Toronto accueille également un vaste secteur technologique en pleine croissance. Récemment, le groupe conseil en immobilier CBRE a identifié Toronto comme le marché technologique qui connaît la croissance la plus rapide en Amérique du Nord²⁵, où se trouve d'ailleurs la plus forte concentration de jeunes entreprises d'IA au monde²⁶. Les établissements et organisations comme l'Institut Vecteur, les laboratoires d'IA d'Uber, et le laboratoire de recherche en IA de Nvidia découlent du marché grandissant de l'IA et de l'espace de recherche cultivé à Toronto au cours des dernières années.

L'Institut Vecteur : un pilier de l'industrie de l'IA grandissante de Toronto

L'Institut Vecteur est connu pour attirer de grands talents mondiaux en matière de recherche sur l'apprentissage profond et l'apprentissage machine, comme Geoffrey Hinton, un pionnier mondial de l'apprentissage machine. Il est reconnu mondialement pour ses travaux révolutionnaires sur les réseaux neuronaux artificiels. Richard Zemel, cofondateur et directeur de la recherche de l'Institut Vecteur, est un informaticien et professeur souvent cité bien connu pour sa connaissance de l'apprentissage machine et de la vision par ordinateur.

Au cours des dernières années, l'Institut Vecteur a établi des partenariats avec d'importantes sociétés comme la Banque Scotia, la RBC, BMO, TD, Google, Accenture, Loblaws et Shopify afin de travailler sur différentes initiatives, notamment la prévention des crimes financiers par l'utilisation de méthodologies et d'algorithmes de l'IA pour améliorer la cybersécurité.



²⁴Irving, Tyler. "U of T launches Canada's first engineering undergraduate program in machine intelligence" University of Toronto. July 25, 2018. <https://www.utoronto.ca/news/u-t-launches-canada-s-first-engineering-undergraduate-program-machine-intelligence>

²⁵Gee, Marcus. "Toronto's tech boom is transforming the city." The Globe and Mail. July 27, 2019. <https://www.theglobeandmail.com/canada/toronto/article-torontos-tech-boom-is-transforming-the-city/>

²⁶"Canada – A Leader in Artificial Intelligence (AI)." Invest in Canada. Accessed January 2020. https://www.international.gc.ca/investors-investisseurs/assets/pdfs/download/Niche_Sector-AI.pdf



Edmonton

Edmonton est également considérée comme un chef de file canadien en matière de recherche sur l'IA et, particulièrement, l'apprentissage machine. L'Alberta Machine Intelligence Institute emploie présentement certains des experts les plus reconnus au monde en IA, et l'Université de l'Alberta est l'un des principaux producteurs de publications universitaires sur le sujet.²⁷ Bien qu'une somme de 100 millions de dollars sur 5 ans ait initialement été promise à l'institut à des fins de recherche et de commercialisation, le récent budget de l'Alberta n'a annoncé que 35 millions de dollars pour « commercialiser les technologies de l'Alberta » dans des secteurs comme l'IA.²⁸

L'Université de l'Alberta : un chef de file mondial de l'éducation en IA

L'Université de l'Alberta a récemment été nommée comme l'une des trois plaques tournantes de la Stratégie pancanadienne en matière d'IA. Annoncée dans le budget fédéral de 2017, cette stratégie de 125 millions de dollars vise à rassembler des experts et des chercheurs canadiens du secteur de l'IA pour améliorer le leadership éclairé du Canada relativement aux répercussions économiques, politiques et juridiques de l'IA, entre autres enjeux.

Mis sur pied il y a plus de 50 ans, le département d'informatique de l'Université de l'Alberta est l'un des départements d'informatique les plus importants et les mieux établis au Canada. Les forces de l'Université de l'Alberta dans le domaine de l'IA vont des applications de la technologie à l'élaboration de théories sur l'intelligence.

Outre l'IA, Edmonton démontre de grandes forces dans le domaine de l'apprentissage par renforcement, notamment par le développement du laboratoire d'apprentissage par renforcement et d'intelligence artificielle (RLAI) ainsi que l'expansion du bureau de recherche DeepMind de Google. En accueillant le premier bureau international DeepMind en 2018, Edmonton s'est classée au troisième rang mondial de la recherche sur l'IA et l'apprentissage machine et en quatrième place au Canada en matière de recherche en informatique²⁹.

²⁷Kerr, Katherine. "Power primer: What you need to know about Artificial Intelligence research in Edmonton". Edmonton Economic Development. February 15, 2018 <https://www.edmonton.com/articles/primer-ai-research-in-edmonton>

²⁸Simpson, Meagan. "How Alberta's Tech Sector is Affected by Cuts in Much Anticipated 2019 Provincial Budget." Betakit. October 24, 2019. <https://betakit.com/how-albertas-tech-sector-is-affected-by-cuts-in-much-anticipated-2019-provincial-budget>

²⁹« Edmonton is Canada's Centre for Artificial Intelligence." Edmonton Economic Development. Accessed January 2020.

L'industrie croissante de l'intelligence artificielle au Canada

Grâce en grande partie à une grande force en recherche et développement, la prolifération des entreprises locales dans le secteur de l'IA a été marquée. Fondée sur la recherche réalisée par l'un des chefs de file de l'IA de Montréal, Element AI, qui a, jusqu'à présent, recueilli des fonds de plus de 300 millions de dollars et dont les effectifs sont passés à quelque 250 employés, la figure 1 montre une hausse de près de 30 p. 100 du nombre de jeunes entreprises actives dans le secteur de l'IA au Canada de 2017 à 2018.³⁰ Les entreprises MindBridge Ai d'Ottawa et Finn.ai de Vancouver sont deux exemples de jeunes entreprises canadiennes du secteur qui démontrent une croissance substantielle sur le marché canadien et à l'échelle internationale.

Figure 1 : Nombre de jeunes entreprises canadiennes actives dans le secteur de l'intelligence artificielle au Canada



Source : Element AI, écosystème canadien de l'intelligence artificielle, 2018

Parallèlement, de grandes entreprises technologiques internationales misant fortement sur l'IA ont aussi récemment établi des activités au Canada. D'importants investissements ont récemment été faits à Montréal et à Toronto par des chefs de file du secteur comme Google, Uber, Facebook et Nvidia.

Dans sa récente étude sur l'écosystème canadien d'IA, Element AI estimait également la présence de 50 grandes multinationales sur le marché de l'IA au Canada en 2018. Ce chiffre représente une croissance de 150 p. 100 par rapport à l'année précédente³¹, démontrant ainsi que les entreprises internationales du secteur considèrent de plus en plus le Canada comme une destination phare pour des investissements et des talents dans le domaine.

Pour ce qui est de Facebook, le laboratoire de recherche actuel de Montréal devrait connaître une expansion de 300 p. 100 de ses effectifs au cours des prochaines années afin d'accueillir 60 nouveaux employés, en plus des 20 déjà sur place.³² De même, l'entreprise Uber a annoncé qu'elle investira plus de 200 millions de dollars dans ses installations de Toronto au cours des 5 prochaines années afin de développer son laboratoire de recherche existant qui cible les voitures autonomes. Aussi, Nvidia a récemment ouvert un bureau à Toronto grâce à l'acquisition d'une entreprise appelée TransGaming. Employant présentement quelque 50 personnes, l'entreprise désire tripler rapidement le volume de son équipe de recherche en IA³³. Jusqu'à présent, elle a contribué au développement de la communauté de recherche en IA de Toronto grâce à un don de 5 millions de dollars à l'Institut Vecteur pour des travaux en matière d'IA.

³⁰Gagné, Jean-François. "Canadian AI Ecosystem 2018." Accessed January 2020. <https://jfgagne.ai/canadian-ai-ecosystem-2018-en/>

³¹Gagné, Jean-François. "Canadian AI Ecosystem 2018." Accessed January 2020. <https://jfgagne.ai/canadian-ai-ecosystem-2018-en/>

³²McLeod, James. "Facebook expanding its Montreal AI Lab to double the number of researchers." *Financial Post*. September 20, 2019. <https://business.financialpost.com/technology/facebook-expanding-its-montreal-ai-lab-to-quadruple-the-number-of-researchers>

³³State, Gavriel. "NVIDIA Opening AI Research Lab in Toronto, Following Move in Seattle." *NVIDIA*. June 13, 2018. <https://blogs.nvidia.com/blog/2018/06/13/nvidia-ai-research-lab-toronto/>

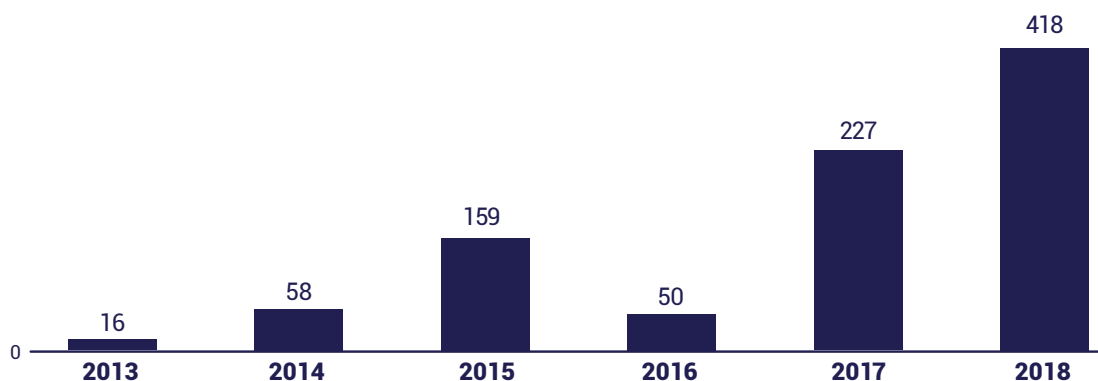
Investissements de capital de risque et entreprises

La force et le potentiel du secteur canadien de l'IA en plein essor sont également manifestes dans la croissance des investissements de capital de risque visant les entreprises canadiennes du secteur de l'IA, les aidant ainsi à prendre forme, à croître et à évoluer.

Les investissements de capital de risque précoces visant les jeunes entreprises sont une mesure utile permettant d'évaluer le potentiel de croissance d'une entreprise, mais nous observons de plus en plus une hausse des investissements et des acquisitions dans le secteur canadien de l'IA, ce qui suppose un écosystème évolutif. Au fur et à mesure que les jeunes entreprises se développent, les entreprises sont de plus en plus nombreuses à vouloir acquérir des talents et de solides actifs de recherche, en plus de services et de produits novateurs et d'actifs de propriété intellectuelle.³⁴

En 2018, le financement par capital de risque des entreprises canadiennes du secteur de l'IA a augmenté de plus de 50 p. 100 par rapport à l'année précédente, les entreprises réunissant 418 millions de dollars américains.³⁵

Figure 2 : Investissements de capital de risque dans des entreprises canadiennes du secteur de l'intelligence artificielle (millions de dollars américains)



Source : Rapport canadien PwC/CB Insights MoneyTree™, T4 et année 2018

³⁴Gagné, Jean-François. "Canadian AI Ecosystem 2018." Accessed January 2020. <https://jfgagne.ai/canadian-ai-ecosystem-2018-en/>

³⁵"MoneyTree Canada Report: Q4 & Full-Year 2018." PWC | CB Insights. Accessed January 2020.

<https://www.pwc.com/ca/en/technology/publications/pwc-cb-insights-moneytree-canada-q4-18-full-year-2018.pdf>



SECTION III

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LE MARCHÉ DU TRAVAIL – DEMANDE CROISSANTE DE MAIN-D'ŒUVRE ET ÉVOLUTION DES BESOINS EN COMPÉTENCES

Comme l'indiquent les plus récentes prévisions du CTIC quant à la demande de main-d'œuvre, plus de 305 000 travailleurs seront nécessaires dans l'ensemble de l'économie numérique canadienne d'ici 2023.³⁶ L'accès à un bassin de talents hautement qualifiés est un avantage concurrentiel crucial pour l'industrie canadienne de l'IA et essentiel à sa croissance rentable.

La croissance de l'industrie et les salaires lucratifs témoignent de la forte demande pour des talents dans le secteur de l'IA à l'échelle mondiale. Les analystes de l'industrie et les chercheurs d'Indeed.com indiquent que la demande pour des rôles comme les ingénieurs en apprentissage machine, les scientifiques des données et les linguistes de l'informatique a doublé au cours des 2 à 3 dernières années³⁷ et le nombre global d'offres d'emploi dans le secteur a augmenté de 29 p. 100 de 2018 à 2019.³⁸ De même, les chercheurs de LinkedIn indiquent que le nombre d'offres d'emploi pour des ingénieurs en apprentissage machine et des scientifiques des données s'est multiplié par presque 10 et par plus de 6, respectivement, au cours de la même période.³⁹ La demande croissante pour des talents qualifiés capables de travailler dans le cadre de projets et d'applications d'IA renforce la nécessité d'établir des programmes de formation et d'éducation efficaces et proactifs qui peuvent répondre à ce besoin.

³⁶Cutean, A., Hamoni, R., McLaughlin, R., Ye, Z. "Canada's Growth Currency: Digital Talent Outlook 2023". Information and Communications Technology Council (ICTC). October 2019.

³⁷The State of AI 2019: Divergence". MMC Ventures. Accessed January 2020. <https://www.stateofai2019.com/chapter-6-the-war-for-talent/>; Culbertson, Daniel. "Demand for AI Talent on the Rise". Indeed. March 1, 2018. <https://www.hiringlab.org/2018/03/01/demand-ai-talent-rise/>

³⁸REPORT: Top 10 AI Jobs, Salaries and Cities". Indeed. June 28, 2019. <http://blog.indeed.com/2019/06/28/top-10-ai-jobs-salaries-cities/>

³⁹"LinkedIn's 2017 U.S. Emerging Jobs Report." LinkedIn. Dec 7, 2017.

La demande de talents en intelligence artificielle

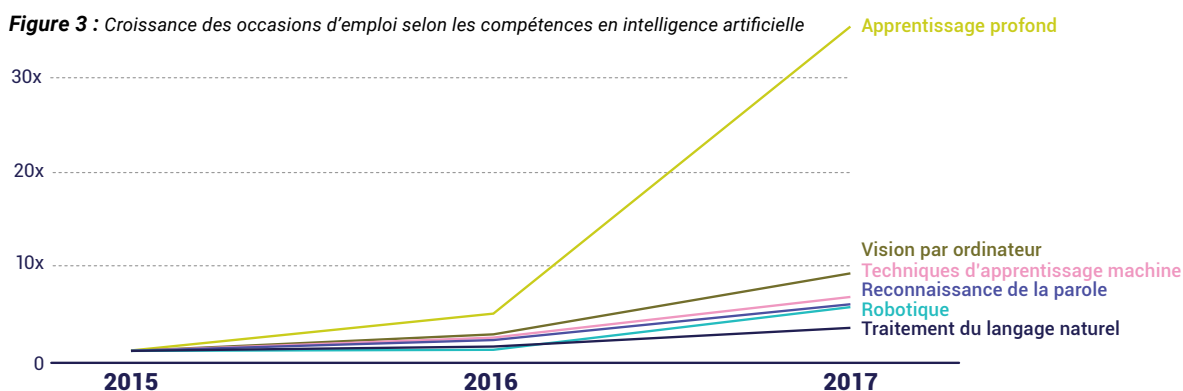
Bien que les connaissances et compétences pour les principaux rôles du secteur de l'IA puissent varier, selon Paysa, 35 p. 100 de tous les postes dans ce secteur sur son site semble exiger un doctorat, alors que 26 p. 100 exigent une maîtrise.⁴⁰ Bien que des diplômes d'études supérieures pour ces rôles semblent nécessaires, les spécialistes de l'IA, comme les ingénieurs en apprentissage machine ou profond nécessaires pour combler les besoins les plus pressants, sont également en nombres insuffisants⁴¹, autant au Canada que dans le reste du monde.

À titre d'exemple, Element AI estime qu'il y a actuellement dans le monde moins de 10 000 personnes possédant les compétences nécessaires pour s'attaquer à la recherche critique sur l'IA indispensable à la création d'innovations de haute technologie comme les véhicules autonomes.⁴² Bien que ce type de talents ne soit pas encore très recherché, les personnes qui possèdent ces compétences gagnent un salaire très élevé. Selon les enquêtes menées par le New York Times auprès de grandes entreprises technologiques américaines, les salaires annuels des spécialistes de l'IA les plus prestigieux peuvent varier de 300 000 à 500 000 \$ US.⁴³ C'est pourquoi bon nombre de ces entreprises embauchent seulement à temps partiel les universitaires et les professeurs d'université de haut niveau. À l'Université de Washington, 6 des 20 professeurs d'IA étaient en congé ou en congé partiel en 2017 parce qu'ils travaillaient dans l'industrie.⁴⁴ En raison de la demande élevée et grandissante de l'industrie^{45,46}, d'autres universités, comme Stanford et Carnegie Mellon, ont perdu plusieurs grands chercheurs qui enseignaient dans le cadre de leurs programmes de génie et d'informatique les plus avancés.

Augmentation de la demande de travailleurs pour certains rôles et compétences particuliers

Bien que la demande de talents en IA soit élevée dans l'ensemble, certains domaines de l'IA ont connu une croissance plus élevée que d'autres. La figure 3 montre que les États-Unis ont connu une augmentation considérable des offres d'emploi en IA de 2015 à 2017 et met en évidence l'augmentation de la demande dans des domaines comme l'apprentissage machine et, surtout, l'apprentissage profond. Au cours de cette période de trois ans, la demande d'ingénieurs en apprentissage profond a augmenté de 34 fois.⁴⁷

Figure 3 : Croissance des occasions d'emploi selon les compétences en intelligence artificielle



⁴⁰Patrizio, Andy. "Artificial Intelligence Salaries: Paychecks Heading Skyward". Datamation. August 28, 2018. <https://www.datamation.com/artificial-intelligence/ai-salaries.html>

⁴¹Overby, Stephanie. "AI careers and salaries: 7 telling statistics". The Enterprisers Project. August 6, 2019. <https://enterpriseproject.com/article/2019/8/ai-artificial-intelligence-careers-salaries-7-statistics>

⁴²Metz, Cade. "Tech Giants are Paying Huge Salaries for Scarce A.I. Talent". New York Times. Oct 22, 2017. <https://www.nytimes.com/2017/10/22/technology/artificial-intelligence-experts-salaries.html>

⁴³Includes base salary and stock options. <https://www.nytimes.com/2017/10/22/technology/artificial-intelligence-experts-salaries.html>

⁴⁴Metz, Cade. "Tech Giants are Paying Huge Salaries for Scarce A.I. Talent". New York Times. Oct 22, 2017. <https://www.nytimes.com/2017/10/22/technology/artificial-intelligence-experts-salaries.html>

⁴⁵Procaccia, Ariel. "Tech Giants, Gorging on AI Professors Is Bad for You". Bloomberg. January 7, 2019. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-01-07/tech-giants-gorging-on-ai-professors-is-bad-for-you>

⁴⁶Muoio, Danielle. "There's a raging talent war for AI experts and it's costing automakers millions". Business Insider. March 12, 2017. <https://www.businessinsider.com/ai-talent-poached-universities-for-self-driving-cars-2017-3>

⁴⁷Yoav Shoham, Raymond Perrault, Erik Brynjolfsson, Jack Clark, James Manyika, Juan Carlos Nieves, Terah Lyons, John Etchemendy, Barbara Grosz and Zoe Bauer. "The AI Index 2018 Annual Report", AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Initiative. December 2018. <http://cdn.aiindex.org/2018/AI%20Index%202018%20Annual%20Report.pdf>

Source: Indice de l'intelligence artificielle, 2018

Les consultations menées par le CTIC auprès d'experts canadiens en IA ont permis de cerner la demande croissante de talents en IA capables de développer de nouvelles applications de l'IA et d'évaluer les cas pratiques ou les possibilités d'utilisation imprévus. Il a été établi que ces compétences étaient nécessaires dans l'ensemble des secteurs, quel que soit le type d'IA conçu ou utilisé.

Plus précisément, les experts canadiens en IA consultés par le CTIC estimaient que les cinq rôles suivants seraient de plus en plus recherchés étant donné l'adoption croissante de l'IA au Canada.

INGÉNIEURS DES DONNÉES

Développer, construire, tester et gérer des architectures logicielles (comme des bases de données ou des systèmes de traitement de données à grande échelle)

Les cinq compétences ou responsabilités essentielles

- ▶ Ingénierie des méthodes de traitement des données
- ▶ Nettoyage et vérification des données
- ▶ Capacité de connecter ensemble différents systèmes (langages de script et outils)
- ▶ Capacité de recommander et de mettre en œuvre des solutions améliorant la fiabilité, l'efficacité et la qualité des données
- ▶ Compétences en informatique pour des outils comme SAP, Oracle, Cassandra, MySQL, Redis, Riak, PostgreSQL, MongoDB, neo4j, Hive et Sqoop⁴⁸

RESPONSABLES DES DONNÉES

Planifier, mettre en place et gérer l'approvisionnement, l'utilisation et la conservation d'actifs de données au sein d'une organisation

Les cinq compétences ou responsabilités essentielles

- ▶ Capacité de développer et de documenter des procédures, des lignes directrices et des directives régissant l'accès aux données et leur utilisation
- ▶ Coordination des efforts déployés avec les dépositaires ou les administrateurs des données, ou d'autres membres du personnel, pour planifier et mettre en œuvre l'utilisation des données ou des initiatives⁴⁹
- ▶ Agir comme point de contact principal pour l'utilisation de données complexes, en déléguant souvent des droits décisionnels et en appliquant un principe de responsabilité
- ▶ Protéger les données en assumant des responsabilités en matière de protection de la vie privée, de sécurité et de gestion des risques

⁴⁸Willems, Karlijn. "Data Scientist vs Data Engineer." DataCamp. February 23, 2017.

<https://www.datacamp.com/community/blog/data-scientist-vs-data-engineer>

⁴⁹"Definition: Data Steward". Techopedia. Accessed January 2020. <https://www.techopedia.com/definition/29012/data-steward>

ANALYSTES DES ACTIVITÉS

Effectuer des analyses de données en vue de prendre des décisions opérationnelles stratégiques, et définir les besoins opérationnels, les problèmes rencontrés et la façon d'optimiser les activités

Les cinq compétences ou responsabilités essentielles

- ▶ Expérience de travail avec des décideurs de haut rang
- ▶ Excellentes aptitudes en communication et compétences interpersonnelles
- ▶ Capacité d'effectuer des analyses (excellente maîtrise d'Excel)
- ▶ Modélisation, planification et surveillance financières
- ▶ Capacité de déterminer les besoins opérationnels et d'en faire part aux intervenants⁵⁰

SCIENTIFIQUES DES DONNÉES

Nettoyer, structurer et organiser des données massives ou des données non structurées, établir des statistiques descriptives et effectuer des analyses pour élaborer des perspectives ou concevoir des modèles capables de résoudre les problèmes opérationnels

Les cinq compétences ou responsabilités essentielles

- ▶ Visualisation des données
- ▶ Vulgarisation des données
- ▶ Apprentissage machine
- ▶ Compréhension du marché
- ▶ Programmation de langages (p. ex. SPSS, R, Python, SAS, Stata et Julia)⁵¹

DÉVELOPPEURS D'APPLICATIONS

Créer, gérer et mettre en œuvre des codes sources et des solutions, et examiner tous les aspects des produits logiciels (et pas seulement les programmes d'arrière-plan)

Les cinq compétences ou responsabilités essentielles

- ▶ Communication et coordination visant à transmettre des idées aux codeurs, aux équipes internes et à la direction
- ▶ Créativité pour gérer les nouveaux problèmes et trouver des solutions
- ▶ Aptitudes en résolution de problèmes afin de prendre des décisions visant à faire avancer un projet ou à résoudre les problèmes des clients
- ▶ Comprendre différents langages informatiques et utiliser des compétences techniques pour réaliser ces projets⁵²

⁵⁰"Business Analyst job description guide." Robert Half. Accessed January 2020. <https://www.roberthalf.co.nz/our-services/finance-accounting/business-analyst-jobs>; Thompson, Jayne. "The Differences Between a Business Analyst & a Data Analyst." *The Houston Chronicle*. June 29, 2018. <https://work.chron.com/differences-between-business-analyst-data-analyst-17090.html>

⁵¹Willems, Karlijn. "Data Scientist vs Data Engineer." *DataCamp*. February 23, 2017. <https://www.datacamp.com/community/blog/data-scientist-vs-data-engineer>

⁵²"What does an app developer do?" *CareerExplorer*. Accessed January 2020. <https://www.careerexplorer.com/careers/app-developer/>

La course à l'acquisition de talents en IA est un phénomène mondial, caractérisé par une main-d'œuvre extrêmement mobile recrutée dans l'industrie et les établissements de recherche. Ces talents sont toujours autant recherchés dans les domaines de la recherche, des sciences des données et de plusieurs autres professions qui façonnent et soutiennent cet écosystème. Le tableau ci-dessus présente des exemples des principales professions en demande.

Toutefois, une observation importante faite par les intervenants et le conseil consultatif du CTIC portait sur la notion de compétence relativement à l'utilisation de l'IA plutôt qu'à sa conception. Autrement dit, bien que les compétences techniques liées à l'IA en sciences des données et codage et pour certaines méthodologies propres à l'apprentissage machine soient couramment recherchées et qu'elles demeureront extrêmement précieuses, l'IA pourrait tôt ou tard devenir un produit de consommation courante sous la forme de logiciels « en tant que service » ou « en boîte ». Dans ce scénario, une fois que les meilleurs algorithmes du monde seront facilement accessibles, l'accent sera mis sur l'utilisation plutôt que sur la conception de l'IA. Si la demande de travailleurs capables de comprendre le mode d'emploi des outils d'IA finit par dépasser la demande de développeurs des outils mêmes, la notion de « travailleur en IA » pourrait être fondamentalement redéfinie.

MODÈLE D'AMPLIFICATION DU TRAVAIL PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

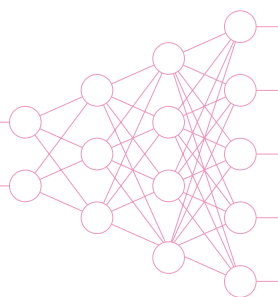
La section suivante présente les résultats obtenus à l'aide du modèle d'amplification du travail par l'intelligence artificielle du CTIC, lequel classe les professions canadiennes selon leur probabilité d'amplification par l'IA. Ce modèle a été créé en classant les aptitudes, les compétences ou les tâches des professions canadiennes en fonction de leur probabilité d'amplification par l'IA ou du risque d'en subir les effets. Grâce aux données obtenues auprès du département du Travail des États-Unis et des informations détaillées sur les besoins en compétences et les capacités en IA communiquées par les experts et les membres du conseil consultatif consultés, 160 compétences et cotes de risque ont pu être reliées à ces professions. L'annexe V présente une liste des catégories de compétences les plus susceptibles d'être amplifiées par l'IA. En associant les cotes de risque de chaque compétence importante à une profession, une cote relative à l'amplification par l'IA a été calculée pour chaque profession. Pour une description plus détaillée des méthodes utilisées et des limites de la recherche, consultez l'annexe V.

Professions se prêtant le mieux à l'amplification par l'intelligence artificielle

Préparé à l'aide de la méthodologie décrite ci-dessus, le tableau 1 représente les 10 professions les plus susceptibles d'être amplifiées par l'IA⁵³. Le percentile d'amplification par l'IA indique la cote brute de chaque profession, 10 étant la cote la plus élevée et 0 étant la plus basse. Plus l'indice d'amplification est élevé, plus cette profession est susceptible d'être amplifiée par une technologie de l'IA. Cet indice met en évidence les professions étant extrêmement susceptibles d'être transformées et, par conséquent, les travailleurs qui auront besoin d'acquérir de nouvelles aptitudes et compétences, y compris dans le domaine du numérique. Même si d'autres professions dans des secteurs clés, comme les ressources naturelles, la fabrication, la gestion et la logistique de la chaîne d'approvisionnement, seront elles aussi amplifiées à mesure que l'adoption de l'IA s'étend, le tableau suivant présente les professions qui seront les premières à être touchées par l'IA à court terme.

Tableau 1: Dix professions se prêtant à l'amplification par l'IA

Indice d'impact de l'IA



Techniciens en comptabilité et commis comptables	10,0
Commis à la saisie de données	9,8
Administrateurs des services de paye	9,7
Professions en gestion de l'information sur la santé	9,6
Adjoints de direction	9,5
Sténographes judiciaires, transcripteurs médicaux et professions connexes	9,4
Adjoints administratifs	9,3
Adjoints administratifs en médecine	9,2
Vérificateurs financiers et comptables	9,1
Préposés à l'expédition et à la réception	8,6

Source: CTIC, 2019

Les professions liées au traitement des données administratives ou au traitement simple des données et celles du domaine de l'inspection matérielle sont extrêmement vulnérables à l'amplification par l'IA. Dans ce cas-ci, les experts en la matière du CTIC estiment que certaines compétences, comme le calcul simple, la mémorisation et la visualisation, sont grandement susceptibles d'être transformées par l'IA.

Bien que bon nombre de ces emplois se situent à l'échelon inférieur du continuum, les emplois très spécialisés sont eux aussi susceptibles d'amplification au cours des prochaines années. Prenons l'exemple des vérificateurs financiers. En théorie, de nombreux éléments de la profession de vérificateur peuvent être amplifiés par l'IA (p. ex. la préparation des bilans et des états financiers). Par contre, certains aspects de cette profession (en particulier lorsqu'il s'agit de fournir des services de consultation et des conseils complexes) exigent la prise de décisions à l'aide d'un niveau d'analyse plus qualitatif et la capacité d'interagir avec les clients et de répondre efficacement à leurs besoins en temps réel. Comme ces tâches nécessitent de la part des professionnels de la vérification financière une intelligence émotionnelle, des compétences interpersonnelles, et la capacité de prendre des décisions complexes et d'assurer la gestion, ces tâches pourraient difficilement être entièrement automatisées par l'intelligence artificielle, mais conserveraient tout de même un potentiel élevé d'amplification.

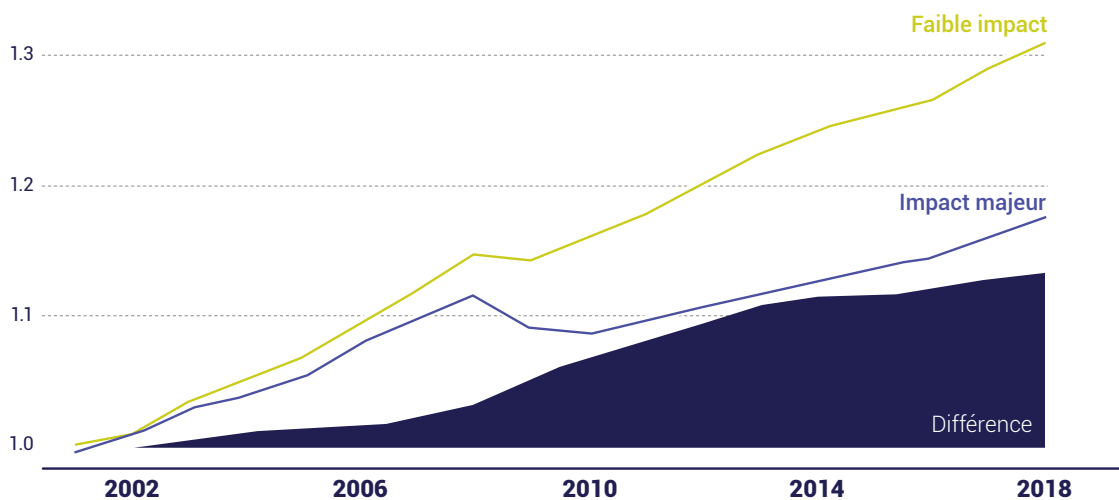
⁵³Les cotes de risque pour chacune des 160 compétences distinctes peuvent également être fournies sur demande.

Historique de l'emploi : Emplois amplifiables par l'intelligence artificielle et leur capacité de se remettre du ralentissement économique de 2008

Un adage dit qu'il ne faut « jamais gaspiller une bonne crise ». Dans le sillage de la crise financière mondiale de 2008, les entreprises ont rapidement revu et réorganisé leurs modèles d'affaires et leurs processus opérationnels. La plupart des emplois perdus en 2008 et 2009 n'ont pas été pourvus à nouveau après la reprise économique puisque de nombreuses entreprises ont profité de ce ralentissement de l'économie pour passer de modèles de production exigeant beaucoup de main-d'œuvre à des modèles exigeant beaucoup de capitaux. Les commentateurs ont qualifié la reprise après la récession de 2008 de « reprise sans emploi ». Dans une certaine mesure, la situation reflétait peut être la mise en œuvre de technologies d'assistance soutenues par l'intelligence artificielle faible. Les entreprises d'ici ont profité de la crise économique pour modifier leurs processus opérationnels afin d'accroître leur efficacité facilitée par des machines.⁵⁴

Comme le montre la figure 4 ci-dessous, les professions affichant des indices d'amplification par l'IA supérieurs à la moyenne ont non seulement connu une croissance plus lente que leurs homologues depuis 2001, mais leur taux de croissance a même ralenti davantage après la récession mondiale de 2008, lorsqu'un changement structurel s'est produit dans les modèles de production exigeant beaucoup de main-d'œuvre. La figure 4 illustre la croissance normalisée de la moitié supérieure et inférieure des professions, selon leurs indices d'amplification par l'IA. L'écart entre les deux lignes de tendance s'élargit considérablement après 2009, devenant plus prononcé. Parmi tous les rôles amplifiables par l'IA, le décile des professions dont les indices d'amplification par l'IA sont les plus élevés n'a connu pratiquement aucune croissance depuis la crise financière et la récession mondiale survenues en 2008 et 2009.

Figure 4 : Répartition des emplois normalisés selon l'indice moyen d'amplification par l'intelligence artificielle



Source: CTIC, 2019 Remarque : Les chiffres sur l'emploi sont normalisés en divisant la valeur annuelle par la valeur de 2001. La ligne pointillée jaune indique l'année 2008.

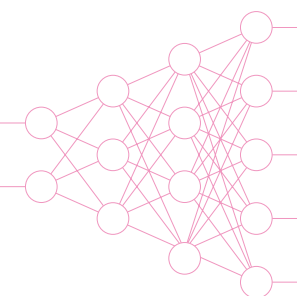
⁵⁴Hershbein, Brad and Lisa B. Kahn. "Do Recessions Accelerate Routine-Biased Technological Change? Evidence from Vacancy Postings". National Bureau of Economic Research. September 2017. <https://www.nber.org/papers/w22762.pdf>

Il semble y avoir un lien entre les indices d'amplification par l'IA et le taux de croissance annuel moyen de 2008 à 2018, autre preuve du changement structurel survenu après la récession de 2008. En moyenne, lorsque l'indice d'amplification par l'IA augmente de 10 points, le taux de croissance annuel diminue de 0,28 p. 100 (autrement dit, la croissance annuelle prévue diminue de 2,8 p. 100 d'un bout à l'autre du continuum). Cependant, bien qu'il existe, de 2008 à 2018, une relation négative statistiquement significative entre l'indice d'amplification par l'IA et l'emploi, il n'y avait aucun lien entre ces deux variables de 2001 et 2008.

Lien entre l'amplification par l'IA et les salaires

L'hypothèse générale au sujet de l'amplification par l'IA veut que les emplois peu rémunérés (et considérés de ce fait comme peu spécialisés) soient les plus vulnérables, tandis que les emplois à salaire élevé ne le sont pas en règle générale. Même si les compétences jugées mal adaptées à l'IA (originalité, gestion des personnes et résolution de conflits) étaient associées à des salaires élevés, et que les tâches plus répétitives et les compétences plus rudimentaires en communication et en calcul étaient considérées comme très facilement amplifiables par l'IA et associées à des salaires moins élevés, il existe des exemples d'emplois hautement spécialisés et bien rémunérés qui se prêtent à l'amplification par l'IA.

Les experts consultés ont insisté sur le fait que les rôles les plus susceptibles d'être immédiatement amplifiés par l'IA toucheraient les travailleurs peu spécialisés, mais ce n'est pas toujours le cas. Bien que la nature amplifiable de la profession du vérificateur financier ait fait l'objet d'une discussion, prenons l'exemple du technologue en génie civil, un emploi relativement bien rémunéré. Bien que les aspects de ce rôle ne soient pas tous amplifiables par l'IA, il en va autrement pour un grand nombre des tâches de conception assistée par ordinateur et les estimations normalisées des coûts. Le tableau ci-dessous donne des exemples de rôles bien rémunérés et souvent hautement spécialisés qui se prêtent aussi relativement bien à l'amplification par l'IA.



<i>Profession</i>	<i>Indice d'amplification par l'IA</i>
Professions en gestion de l'information sur la santé	9,6
Vérificateurs financiers et comptables	9,1
Analystes de base de données et administrateurs de données	8,3
Analystes financiers et analystes en placements	8,0
Technologues et techniciens en génie civil	8,1
Évaluateurs	8,1
Techniciens de réseau informatique	7,6

Source: CTIC, 2019



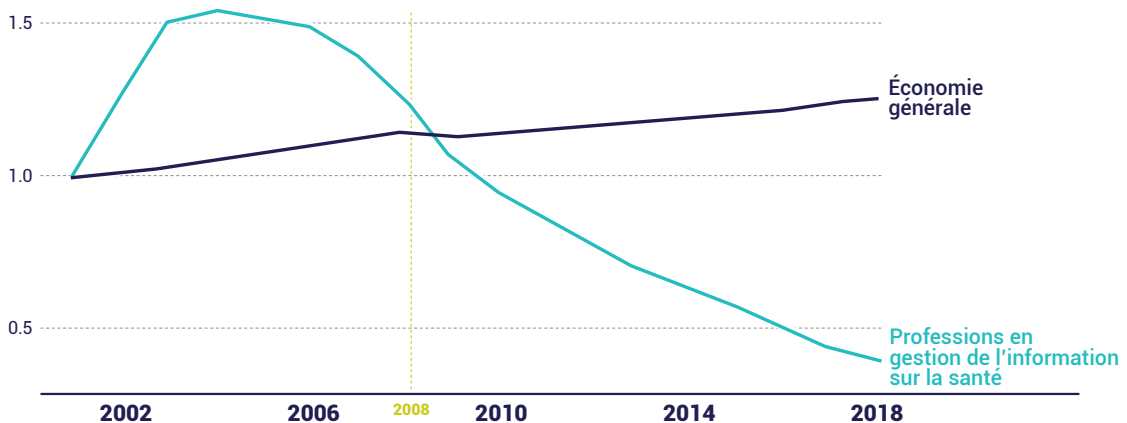
APERÇU

Professionnels en gestion de l'information sur la santé

Les professionnels en gestion de l'information sur la santé gagnent généralement des salaires relativement élevés (environ 6 p. 100 de plus que le salaire canadien moyen en 2018) par rapport à leur indice d'amplification par l'IA. Ils exécutent des tâches comme la classification des maladies, la tenue de dossiers médicaux et la préparation de statistiques médicales.

La figure 5 montre la tendance normalisée de l'emploi au Canada pour les professions en gestion de l'information sur la santé par rapport à l'économie générale. La profession a commencé à décliner rapidement même avant la récession de 2008. Depuis 2005, les salaires ont augmenté, tandis que le nombre d'emplois a diminué. Cette corrélation inverse indique un changement des particularités fondamentales de cette profession, passant de tâches peu spécialisées (lesquelles ont été remplacées par l'IA) à des tâches plus spécialisées que l'IA ne peut pas accomplir.

Figure 5 : Professions en gestion de l'information sur la santé par rapport à l'économie générale



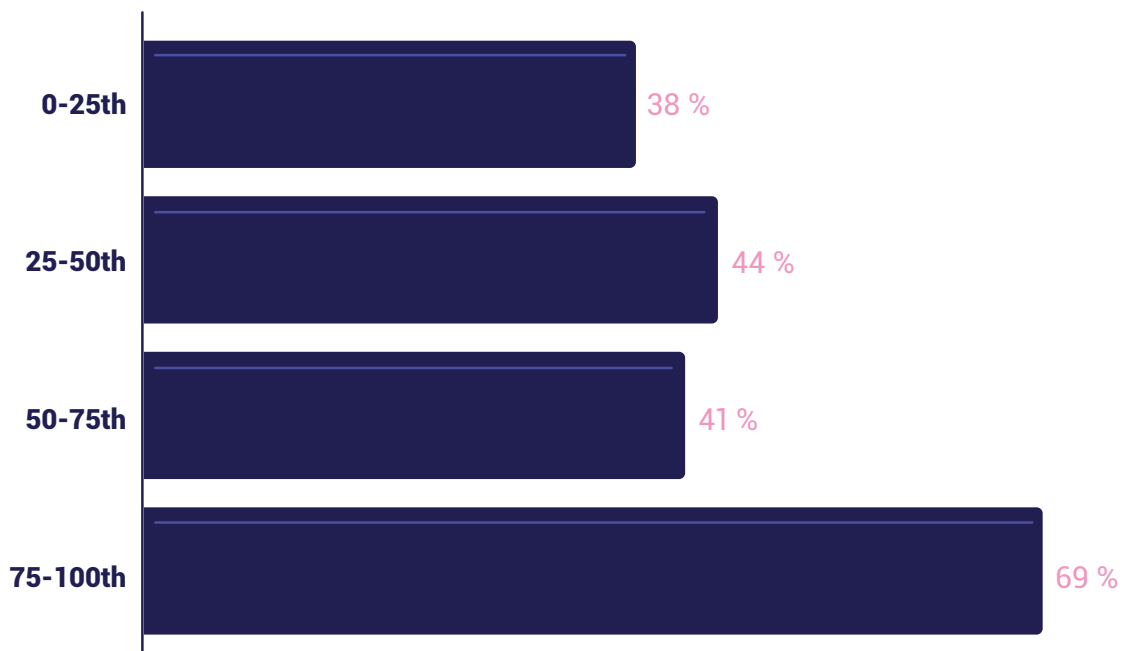
Source: CTIC, 2019

Quel est le lien entre l'amplification et le genre?

Bien que l'amplification par l'IA ait une incidence sur plusieurs professions, il convient par ailleurs de souligner le lien qui existe entre les professions se prêtant le mieux à l'amplification par l'IA et le genre. À l'heure actuelle, les femmes sont beaucoup plus nombreuses à exercer des professions grandement susceptibles d'amplification.

La figure 6 montre que près de 70 p. 100 des personnes qui exercent des professions se situant dans le quartile supérieur des professions les plus amplifiées par l'IA sont des femmes. En outre, les femmes sont surreprésentées dans chacune des 10 professions qui se prêtent le mieux à l'amplification par l'IA, allant de 73 p. 100 pour les commis à la saisie de données à 96 p. 100 pour les professions en gestion de l'information sur la santé.

Figure 6 : Pourcentage de femmes selon l'indice d'impact de l'intelligence artificielle



Source: CTIC, 2019

Professions se prêtant le moins à l'amplification par l'intelligence artificielle

Bien qu'un grand nombre de professions puissent être amplifiées par l'IA, d'autres sont moins susceptibles d'amplification, du moins à court terme. Les professions les moins susceptibles d'amplification sont celles qui exigent l'exercice d'une gestion et d'une prise de décisions qualitatives, mettent en jeu des niveaux élevés d'interaction humaine, et se servent de scénarios complexes ou travaillent avec différents groupes d'intervenants pour recueillir des données, en extraire la signification et même potentiellement proposer des solutions.

Renforcement des compétences résistant à l'amplification

En se fondant sur des consultations menées auprès d'experts ayant de l'expérience en recherche ou en développement de produits dans le domaine de l'IA ainsi que sur des recherches secondaires menées sur les tendances passées en matière d'amplification par l'IA et de déplacement des effectifs, le CTIC retient les catégories de compétences suivantes comme étant les plus résistantes à l'amplification induite par l'IA.

- 1 Originalité supérieure** : Capacité de faire preuve de créativité et de souplesse pour développer des idées originales, uniques ou novatrices sur un sujet ou une situation donnée, notamment la capacité de découvrir de nouvelles méthodes de résolution de problèmes.
- 2 Administration et gestion avancées** : Capacité d'appliquer des principes d'affaires et de gestion avancés liés à la planification stratégique, à l'affectation des ressources, à la modélisation des ressources humaines, aux techniques de leadership et aux méthodes de production.
- 3 Vente et marketing avancés** : Capacité d'appliquer activement et de façon créative des principes et des méthodes dans le but de présenter, de promouvoir et de vendre des produits ou des services, notamment les stratégies et les tactiques de marketing, la démonstration de produits, les techniques de vente et les systèmes de contrôle des ventes.
- 4 Pensée critique** : Utilisation d'une logique et d'un raisonnement supérieurs afin de déterminer les forces, les faiblesses et les nouvelles possibilités liées aux solutions de rechange, aux conclusions ou aux différentes façons d'aborder les problèmes.
- 5 Apprentissage pratique** : Capacité de dégager de nouvelles informations et de s'exercer à en comprendre les diverses répercussions, en vue de résoudre les problèmes et de prendre des décisions aujourd'hui et demain.
- 6 Stratégies d'apprentissage souples** : Sélection et utilisation de méthodes et de procédures de formation et d'enseignement appropriées à chaque situation particulière, dans le processus d'apprentissage ou d'enseignement de nouvelles choses.
- 7 Perception sociale** : Conscience supérieure des autres, par exemple des réactions potentielles, des éléments déclencheurs et des points de douleur, ainsi qu'une compréhension ou un désir de comprendre pourquoi il en est ainsi.
- 8 Résolution de problèmes complexes** : Capacité de reconnaître, de catégoriser et de déchiffrer des problèmes complexes et d'analyser des informations connexes dans le but d'élaborer et d'évaluer des options possibles et de mettre en œuvre des solutions.

- 9 Analyse opérationnelle** : Capacité d'analyser des besoins particuliers et des exigences relatives aux produits afin de concevoir un plan.
- 10 Dépannage** : Capacité de repérer et de déterminer les causes des erreurs de fonctionnement et de concevoir des solutions ou des stratégies pour corriger les problèmes.
- 11 Évaluation des systèmes** : Détermination de mesures ou d'indicateurs liés au rendement du système et des mesures nécessaires pour améliorer ou corriger le rendement par rapport aux objectifs du système.
- 12 Élaboration d'objectifs et de stratégies** : Capacité de fixer des objectifs de grande portée et de préciser les stratégies et les mesures nécessaires pour les réaliser.
- 13 Établissement et maintien de relations interpersonnelles** : Développer des relations constructives de collaboration et de coopération avec les autres, et les maintenir au fil du temps.
- 14 Aide et soins prodigués aux autres** : Fournir de l'aide personnelle, des soins médicaux, du soutien affectif ou d'autres soins personnels à d'autres personnes, y compris des collègues, des clients ou des patients.
- 15 Résolution de conflits et négociation avec d'autres personnes** : Capacité de découvrir et de comprendre la cause profonde des conflits, de gérer les plaintes, de régler les différends et de les arbitrer, de régler les griefs et les conflits, et de négocier avec d'autres personnes.

Assez logiquement, il y a plus de domaines de compétences et de connaissances et d'activités professionnelles qui se prêtent plus difficilement à l'amplification par l'intelligence artificielle faible que de secteurs qui s'y prêtent plus facilement. À plus long terme, presque toutes ces compétences pourraient être touchées par une IA suffisamment avancée, mais ce n'était pas le cas récemment et il est peu probable que ce soit possible dans un avenir rapproché.

En se fondant sur ces catégories de compétences, le tableau 2 ci-dessous présente un aperçu des 10 professions se prêtant le moins à l'amplification par l'IA.

Table 2: Les 10 professions se prêtant le moins à l'amplification par l'IA Indice d'amplification par l'IA

Psychologues	2,7
Personnel infirmier autorisé et personnel psychiatrique autorisé	2,6
Personnel paramédical	2,1
Cadres supérieurs (finances, communications et autres services professionnels)	2,0
Dentistes	1,9
Professions relevant du domaine de la religion	1,8
Cadres supérieurs et hauts fonctionnaires du gouvernement	1,7
Directeurs d'école et administrateurs d'écoles primaires et secondaires	1,4
Commissaires	1,3
Législateurs	0,2

Source: CTIC, 2019



APERÇU

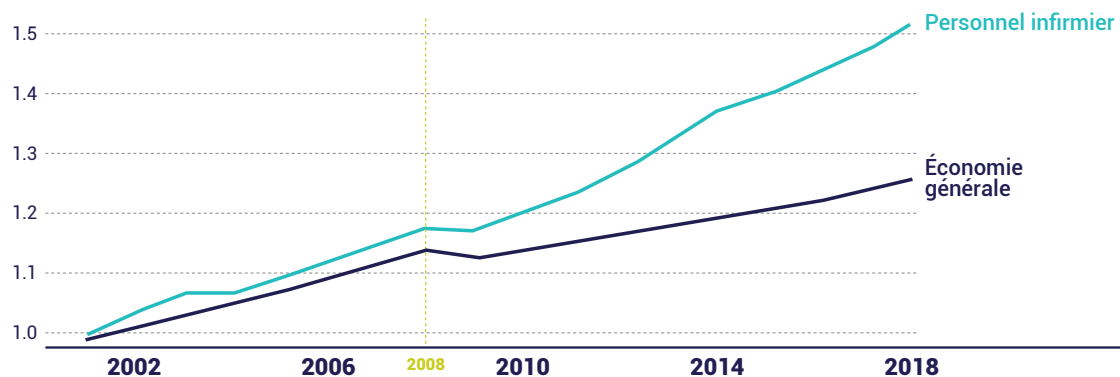
Aides-infirmiers, aides-soignants et préposés aux bénéficiaires

Indépendamment des développements de l'IA, les professions de la santé sont susceptibles de croître rapidement en raison du vieillissement de la population. La demande continue de personnel infirmier et d'autres travailleurs de la santé devrait se poursuivre, sans grande amplification de ces rôles. Les niveaux actuels de l'IA ne conviennent pas encore aux emplois qui mettent en jeu des relations interpersonnelles subtiles et qui exigent des capacités tactiles et une intelligence émotionnelle. L'appareil Alexa d'Amazon, ainsi que les appareils apparentés qui seront fabriqués à court terme, n'est pas encore en mesure de calmer un patient en détresse psychologique, et il faudra attendre longtemps avant que l'IA soit capable de changer les draps d'un lit d'hôpital. Il faut également tenir compte des préférences et des émotions des gens : bien qu'il soit possible de concevoir une IA capable d'insérer une aiguille dans le bras d'un enfant, la société pourrait préférer que cette tâche soit accomplie par un être humain.

Cela dit, l'intelligence artificielle faible pourrait compléter les activités de soins aux patients. Nous verrons bientôt d'importantes innovations dans les secteurs de la collecte et de l'interconnexion des données sur la santé, de l'analyse des données massives sur les génomes prometteurs de nouveaux traitements, des gadgets personnalisés, des applications et des soins médicaux à distance. L'intelligence artificielle faible pourrait aider à dresser des dossiers administratifs de patients et à effectuer des vérifications automatisées dans le but de déceler des interactions médicamenteuses nocives ou des instructions de soins contradictoires. Ces progrès amélioreraient la qualité des soins tout en augmentant la demande en main-d'œuvre dans ces domaines.

La figure 7 illustre la croissance de l'emploi chez les aides-infirmiers, les aides-soignants et les préposés aux bénéficiaires. De plus en plus recherchées, ces professions ont cessé de suivre la courbe de l'économie générale après la récession de 2008.

Figure 7 : Emploi canadien normalisé – Personnel infirmier et économie générale



Source : CTIC, 2019 Remarque : La ligne pointillée jaune indique l'année 2008

La capacité de l'IA d'amplifier les tâches et les exigences d'un grand nombre de rôles dans l'ensemble de l'économie s'accompagne d'un besoin en matière d'apprentissage et de formations continus. L'apprentissage continu et le perfectionnement des compétences aideront les travailleurs actuels à se préparer aux changements découlant de la technologie et à tirer parti de ces besoins.



SECTION V

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LES **SECTEURS STRATÉGIQUES**

L'IA est souvent associée au secteur technologique et aux chefs de file mondiaux comme Google, Nvidia, IBM, Microsoft, Apple et Facebook, mais il est important de comprendre que ces technologies ne se limitent pas à un seul secteur et qu'elles vont bien au-delà des applications traditionnelles dans les industries de haute technologie. En effet, grâce à la numérisation élargie de l'économie et aux tendances croissantes en matière de disponibilité et de connectivité des données, l'IA est de plus en plus présente dans plusieurs secteurs de l'économie.



Agroalimentaire
et technologies de
l'alimentation



Santé et
biotechnologie



Ressources
propres



Fabrication
avancée



Agroalimentaire et technologies de l'alimentation

L'agroalimentaire et les technologies de l'alimentation sont une combinaison des sous-secteurs de l'agriculture et des technologies, dont la génétique animale, les bioproduits industriels et les techniques de culture avancées, pour n'en nommer que quelques-uns.⁵⁵ Ce domaine étant de plus en plus guidé par les données, les entreprises œuvrant dans l'agroalimentaire et les technologies de l'alimentation disposent d'outils de la science des données et d'analyses prédictives afin de maximiser les récoltes ou d'optimiser la logistique du transport. Qui plus est, l'utilisation de l'IA et d'autres innovations se répand de plus en plus dans ce secteur, en grande partie pour répondre aux défis découlant des changements climatiques, de la croissance démographique et des préoccupations liées à la sécurité alimentaire.⁵⁶ En fait, soulignant ce recours grandissant à la technologie pour trouver des solutions dans ce domaine, une étude récente de Goldman Sachs estime que l'agriculture de précision alimentée par l'IA pourrait augmenter le rendement mondial de 70 p. 100 d'ici 2050.⁵⁷

Parmi les exemples rencontrés lors des entrevues auprès des experts tenues dans le cadre de cette étude, mentionnons le potentiel de l'apprentissage machine, de la visionique et de l'imagerie artificielles pour détecter les maladies des cultures et faire des tests sur des échantillons de sol à moindre coût et plus rapidement. L'utilisation de drones et de procédés d'imagerie automatisés dans le but de déterminer les schémas pathologiques (plutôt que de recourir à une main-d'œuvre manuelle) peut permettre aux entreprises agricoles de réaliser des économies substantielles.

La visionique au service de la transformation et du triage des aliments

La visionique et l'analytique liée à l'IA se découvrent des applications dans la transformation des aliments, alors que des entreprises programment des caméras à l'aide de cette technologie pour qu'elles reconnaissent les caractéristiques clés des produits alimentaires dans différentes conditions de luminosité, dans le but de faciliter le triage des produits ne répondant pas aux exigences relatives à la taille ou à la couleur, ou qui pourraient être contaminés.

D'autres entreprises utilisent des capteurs et des modèles d'apprentissage machine pour apprendre à reconnaître les contaminants étrangers ou les produits de piètre qualité. Associés à la technologie de visualisation des données, ces résultats peuvent être affichés sur un tableau de bord utilisé par des opérateurs humains pendant qu'ils trient les récoltes, et fournir aussi les renseignements nécessaires pour qu'elles soient déplacées sur un convoyeur vers leur transformation.

En raison de l'arrivée de cette intervention technologique, les inspecteurs de fruits et de légumes et les opérateurs de machine devront suivre une formation pour apprendre à interpréter les données présentées par les logiciels d'IA, grâce auxquels ils seront en mesure de prendre des décisions plus éclairées, et donc meilleures, en se fondant sur cette information.

⁵⁵"Canadian agri-food sector intelligence". Agriculture and Agri-Food Canada. July 24, 2019. <http://www.agr.gc.ca/eng/industry-markets-and-trade/canadian-agri-food-sector-intelligence/?id=1361290241756>

⁵⁶"AI in Agriculture - Present Applications and Impact". Emerj Artificial Intelligence Research. November 21, 2019. <https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-agriculture-present-applications-impact/>

⁵⁷Daniels, Jeff. "Future of farming: Driverless tractors, ag robots". CNBC. September 16, 2016. <https://www.cnbc.com/2016/09/16/future-of-farming-driverless-tractors-ag-robots.htm>

Les applications de l'IA peuvent également créer des occasions de prise de décision assistée par ordinateur en aidant les producteurs agricoles à reconnaître le moment idéal pour récolter les cultures et en leur indiquant comment optimiser les décisions relatives à la chaîne d'approvisionnement en estimant plus précisément les délais de péremption. L'IA peut alors compléter le décideur humain qui possède de l'expérience et des connaissances dans le domaine, ainsi que des informations fondées sur des données. Même si un programme d'IA peut repérer des cultures infectées, une décision sera tout de même nécessaire pour déterminer les mesures à prendre à la suite du diagnostic, par exemple s'il faut récolter, vaporiser ou carrément détruire la culture. Les technologies ne pourront jamais remplacer les années d'expérience, la connaissance des pratiques exemplaires et les connaissances des travailleurs et des producteurs agricoles à l'égard du domaine, mais l'intégration de l'IA dans le secteur de l'agroalimentaire et des technologies de l'alimentation se traduira par de nouvelles possibilités et des gains d'efficacité, ainsi que par la nécessité pour les travailleurs de se recycler et de perfectionner leurs compétences.



Santé et biotechnologie

Aux fins de la présente étude, la santé et la biotechnologie désignent les équipements et les services de soins de santé, les produits pharmaceutiques, la biotechnologie et les sciences de la vie. La capacité de l'IA de traiter et d'analyser de vastes quantités de données aura une incidence considérable sur les secteurs des soins de santé et les professions médicales. Des domaines comme la pathologie, la dermatologie et la radiologie devraient connaître certains des changements les plus notables.

Nouveau suivi de soins assisté par intelligence artificielle : l'InnerEye de Microsoft

Le système InnerEye de Microsoft est un outil de soins qui suit les patients traités pour le cancer. Le projet de recherche InnerEye utilise deux spécialités de l'intelligence artificielle, l'apprentissage machine et la vision par ordinateur, pour détecter les tumeurs cancéreuses dans le corps humain.

Généralement effectué manuellement, l'isolognage d'image (construction d'un modèle de l'organe à partir de l'imagerie) est un processus long et coûteux. Cependant, l'IA est en mesure d'amplifier et d'automatiser certains de ses aspects, permettant aux experts médicaux de se concentrer sur d'autres tâches plus minutieuses, telles que l'édition de modèles et l'affinement des résultats.

Complétant l'expertise humaine, le système d'IA est programmé pour reconnaître les images pertinentes et créer ensuite un modèle tridimensionnel des organes d'un patient, que l'équipe médicale pourra ensuite examiner.

Les simulations d'interactions médicamenteuses et de protéines sont un autre exemple illustrant la façon dont l'IA peut aider les travailleurs de ce domaine ou accomplir leurs tâches et diminuer le temps et le coût nécessaires pour mettre au point de nouveaux médicaments. L'IA peut aider les scientifiques à définir et à synthétiser de nouvelles molécules en laboratoire, accélérant ainsi le processus de découverte de médicaments. L'apprentissage machine et l'automatisation peuvent modifier de façon autonome les paramètres d'une réaction afin d'optimiser les résultats. Dans cet exemple, un laboratoire de robotique situé au Royaume-Uni a réussi à découvrir un procédé de fabrication optimal après 26 heures seulement, alors qu'une approche conventionnelle aurait nécessité environ deux semaines d'expérimentation pour obtenir des résultats similaires.⁵⁸

⁵⁸"AI lab-bot enrolled in drug discovery programme". *The Engineer*. Oct 7, 2019. <https://www.theengineer.co.uk/ai-lab-bot-drug-discovery-leeds/>

Les logiciels d'IA devraient aussi avoir une incidence sur les aspects administratifs des emplois médicaux. Les logiciels d'IA amplifient déjà de nombreux rôles administratifs ou de gestion de l'information dans le secteur des soins de santé. La jeune entreprise américaine IQVIA utilise la technologie de traitement du langage naturel et d'autres méthodes d'analyse par apprentissage automatique pour combiner des données non structurées avec des dossiers médicaux électroniques, des renseignements sur les essais cliniques et d'autres documents médicaux afin d'obtenir un aperçu de la conformité aux normes industrielles et juridiques sans avoir à lire chaque dossier.⁵⁹

Autre exemple : l'algorithme d'apprentissage machine de 3M programmé pour faire des recherches dans les rapports médicaux afin de faciliter le codage et l'étiquetage des rapports liés aux maladies, aux traitements et aux services fournis. Les innovations de ce genre permettent de déterminer les besoins relativement aux codes de classification internes, tandis que des niveaux plus élevés d'automatisation du codage médical peuvent aider à éliminer l'arriéré de rapports, permettant au bout du compte de préparer plus rapidement et de façon plus efficiente les factures de soins médicaux.⁶⁰

⁵⁹"Rise to the challenge of new engagement and transparency rules." IQVIA. Accessed January, 2020. <https://www.iqvia.com/solutions/integrated-global-compliance/commercial-compliance>

⁶⁰Mejia, Niccolo. "Natural Language Processing in Healthcare – Current Applications." *Emerj Artificial Intelligence Research*. December 13, 2019. <https://emerj.com/ai-sector-overviews/natural-language-processing-in-healthcare-current-applications/>



Ressources propres

Les ressources propres désignent l'extraction ou l'utilisation de ressources naturelles neutre en carbone et ayant un effet bénéfique pour l'environnement. Le Canada est un chef de file reconnu à l'échelle internationale en matière d'extraction de ressources, mais, dans le contexte des changements climatiques, il y a d'excellentes occasions d'utiliser l'IA pour améliorer le rendement et les résultats environnementaux dans ce secteur.

Parmi les entreprises qui utilisent l'IA et l'apprentissage machine pour la prospection minière, mentionnons Goldspot Discoveries et Kore Geosystems, lesquelles examinent à l'aide de technologies les tendances mondiales en matière d'exploitation minière et celles qui se dégagent des données géologiques pour prédire les meilleurs endroits où trouver des ressources.⁶¹ En plus des nouvelles entreprises, certaines des grandes sociétés minières, comme Newmont Goldcorp, améliorent leur ciblage⁶² en triant de vastes quantités de données géologiques à l'aide d'outils d'IA comme le système Watson d'IBM.

Modernisation des plus anciennes industries du Canada : L'intelligence artificielle en foresterie

Encore récemment, la vérification des inventaires forestiers était un procédé exigeant une grande main-d'œuvre et nécessitant des excursions en forêt pour échantillonner des parcelles et recueillir des données. Depuis l'avènement de l'IA, cependant, les réseaux neuronaux profonds peuvent être utilisés pour traiter de vastes quantités de données captées par satellite dans le but d'extraire des informations sur la santé des forêts et de les suivre au fil du temps.

Auparavant, une grande partie du travail des aménagistes forestiers consistait notamment à passer du temps dans les forêts pour effectuer des évaluations d'inventaire et des inspections, mais les activités quotidiennes de ces travailleurs sont de plus en plus susceptibles d'être transformées par l'IA. Les drones et les données captées par satellite sont en mesure de reconnaître les indicateurs de santé des forêts, d'estimer la couverture forestière, de surveiller les activités illégales et de réagir rapidement aux impacts environnementaux. Les techniques d'apprentissage machine et d'apprentissage par renforcement peuvent intégrer de vastes ensembles de données diversifiées, améliorant la prise de décisions. Par conséquent, les gestionnaires forestiers pourraient se fonder davantage sur les analyses, le savoir et les données pour prendre des décisions, plutôt que de se fonder sur des études menées sur le terrain.

⁶¹Holmes, Frank. "This AI Company Is The Future Of Gold Exploration". *Forbes*. Feb 11, 2019.

<https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2019/02/11/this-ai-company-is-the-future-of-gold-exploration/#65e6e34b2ae3>

⁶²"IBM and Goldcorp Team to Bring Watson to the Mines." IBM. March 3, 2017.

<https://www.ibm.com/news/ca/en/2017/03/03/t&t817903u78442c90.html>

En plus des applications forestières, l'IA est également de plus en plus utilisée par les entreprises de technologies propres partout dans le monde, en particulier pour la production d'énergie renouvelable. À titre d'exemple, l'entreprise américaine NextEra Energy se sert de l'apprentissage machine pour améliorer son efficacité et stimuler la production d'énergie. Dans ce cas, les capacités de prédiction aident à détecter les tendances inhabituelles du fonctionnement de l'équipement, réduisant les temps d'arrêt et les perturbations. ailleurs, l'IA aide les entreprises d'énergies de remplacement à optimiser leur efficacité à partir de panneaux solaires et de parcs éoliens⁶³, et à équilibrer la consommation d'énergie du réseau électrique afin de réduire la consommation de combustibles fossiles.

Un autre exemple de l'incidence de l'IA sur les technologies propres est la mise au point de nouveaux matériaux (p. ex. des systèmes d'accumulateurs perfectionnés, des cellules solaires, des semi-conducteurs à faible énergie et des catalyseurs pour le captage de CO₂).⁶⁴ L'IA peut dans ce cas réduire la nécessité de procéder à des expériences par essai et erreur exigeant beaucoup de main-d'œuvre et permettre aux chercheurs de se concentrer sur des tâches créatives.⁶⁵ De cette façon, il est possible d'obtenir plus rapidement des résultats et de réduire le gaspillage de main-d'œuvre et d'intrants, lesquels constituent souvent l'aspect le plus coûteux de ces expériences.

⁶³Kearns, Jane. "Cleantech needs more AI talent to help save the world". *VentureBeat*. May 23, 2018.

<https://venturebeat.com/2018/05/23/cleantechneeds-more-ai-talent-to-help-save-the-world/>

⁶⁴"Integration of AI and robotics with materials sciences will lead to new clean energy technology". *Canadian Institute for Advanced Research*. January 25, 2018. https://www.eurekalert.org/pub_releases/2018-01/cifa-iaa012518.php

⁶⁵Chen, Cathy. "How AI is revolutionizing the world of clean energy materials". *World Economic Forum*. January 17, 2019.

<https://www.weforum.org/agenda/2019/01/how-ai-is-revolutionising-the-world-of-clean-energy-materials/>



Fabrication avancée

La fabrication avancée désigne la combinaison de procédés de fabrication traditionnels et de technologies numériques. L'utilisation de technologies dans le secteur manufacturier est de plus en plus considérée comme un moyen d'accroître la productivité, de stimuler la production et de produire des gains d'efficacité qui sont essentiels pour demeurer concurrentiel dans une économie de plus en plus mondialisée et connectée.

L'IA fait déjà sentir ses effets de bien des façons dans le secteur manufacturier. Elle peut servir à optimiser les chaînes d'approvisionnement de ce secteur et à aider les entreprises à anticiper, à prévoir et à planifier l'évolution du marché. Cette capacité est un avantage important pour les entreprises manufacturières puisqu'elle les aide à passer d'une mentalité réactionnaire à une mentalité véritablement stratégique.

L'IA est également en train de transformer ce secteur grâce au « logiciel de conception générative », un algorithme qui décrit les restrictions et les paramètres utilisés dans les procédés de fabrication⁶⁶, notamment les types de matériaux, les méthodes de production disponibles, les restrictions budgétaires et les contraintes de temps. Après avoir exploré toutes les configurations possibles, l'algorithme propose les meilleures solutions.

Un robot de cueillette canadien relance la chaîne d'approvisionnement du commerce de détail

L'entreprise Kindred de Toronto a l'intention de transformer la vente au détail en améliorant considérablement la chaîne d'approvisionnement de façon à accélérer l'expédition d'articles uniques commandés auprès d'Amazon.

Grâce à une combinaison d'algorithmes de vision, de prise et de manipulation, SORT, le robot de cueillette de l'entreprise, prépare des commandes rapidement et sans faire d'erreurs. SORT s'intègre au logiciel de gestion d'entrepôt pour évaluer les articles en temps réel, les cueillir et les jumeler aux commandes de chaque client, ce qui accroît la productivité et améliore l'efficacité globale d'une chaîne d'approvisionnement.

À l'aide d'une méthodologie de données assortie d'une intervention humaine mettant à contribution à la fois l'intelligence humaine et l'intelligence artificielle pour créer des algorithmes et des modèles, le robot de Kindred évalue des millions de points de données pour calculer et exécuter une stratégie de cueillette optimale pour chaque tâche exécutée en temps réel. À l'heure actuelle, SORT convient mieux aux applications dans l'industrie du vêtement, mais Kindred travaille d'arrache-pied pour adapter ce robot à un plus vaste éventail d'articles d'usage courant.

Les chaînes d'approvisionnement devraient bénéficier grandement de l'intégration et de l'adoption de l'IA. Les trois principaux inducteurs de coûts pour toute chaîne d'approvisionnement sont les coûts de possession des stocks, de transport et de main-d'œuvre. L'utilisation d'analyses prédictives et de projections assistées par IA pourrait permettre aux entreprises de diminuer leurs niveaux généraux de stocks et de réduire leurs coûts liés au transport. De plus, l'amélioration des techniques de tri et d'entreposage assistées par IA peut aider les employés à travailler plus efficacement lorsqu'ils reçoivent, entreposent et expédient des articles ou reconstituent les stock.

⁶⁶Kushmaro, Philip. "5 ways industrial AI is revolutionizing manufacturing." CIO. September 27, 2018. <https://www.cio.com/article/3309058/5-ways-industrial-ai-is-revolutionizing-manufacturing.html>



SECTION IV

ÉTHIQUE ET TRANSPARENCE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

« L'ironie est que plus nous concevons des technologies de l'intelligence artificielle qui imitent bien les humains, plus l'intelligence artificielle apprend de la même façon que nous, avec tous nos préjugés et toutes nos limites. »

- Suresh Venkatasubramanian, professeur agrégé à la Faculté d'informatique de l'Université de l'Utah

Bien que les possibilités offertes par l'IA aient suscité de l'enthousiasme et de l'optimisme, de plus en plus d'inquiétudes sont soulevées concernant les répercussions possibles de cette technologie sur l'économie et la société civile en général.

Il est tentant, à bien des égards, de faire confiance à l'IA et de la traiter comme une intelligence neutre ou impartiale fondée entièrement sur la logique et les faits. Cependant, comme l'IA est créée par des humains, c'est-à-dire qu'elle est programmée et soigneusement réglée par des humains, les systèmes d'IA reflètent les croyances et les préjugés des humains, ainsi que les normes et les valeurs sociales. Par exemple, si l'IA est programmée en utilisant des données d'entrée non représentatives (en raison d'un biais de sélection qui, par hasard, ne mesure dans un public donné qu'un seul sous-ensemble plutôt que tout l'ensemble, en faisant ainsi un échantillon de données non représentatif de la population totale), les perceptions et les recommandations subséquentes pourraient renforcer les inégalités déjà en place. Les données non représentatives peuvent donner un résultat qui semble à première vue extrêmement précis ou crédible, mais qui est en réalité invalide en raison des biais présents dans les données d'entrée.

En outre, le manque actuel de diversité parmi les chercheurs en IA met lui aussi en place certains biais. Il est estimé que les femmes représentent à l'échelle mondiale environ 12 p. 100 des chercheurs en IA et environ 6 p. 100 des développeurs d'applications mobiles et de logiciels.⁶⁷ Le manque de diversité au sein de ces professionnels signifie que les produits de l'IA dénotent des préjugés et un manque de vision.

Un mythe répandu veut que les algorithmes conduisent à des décisions plus éclairées ou judicieuses, puisqu'ils sont fondés sur des données plutôt que sur l'intuition humaine.⁶⁸ Les gens font peut-être plus confiance aux systèmes numériques qu'aux systèmes humains, mais certains diront que cette confiance est mal placée en raison des incertitudes planant sur l'origine des données et la façon dont elles sont générées, les personnes qui saisissent les données, et même les personnes qui décident lesquelles saisir dans ces ensembles de données. Puisque toutes ces décisions sont en fin de compte prises par des humains, il est inévitable que des préjugés soient saisis dans ces ensembles de données et propagés dans le système.⁶⁹

Nous voyons de plus en plus d'exemples montrant comment les algorithmes, la prise de décisions automatisée et l'IA produisent des résultats biaisés. L'un des exemples les plus courants est l'analyse des disparités raciales dans les prédictions des cotes de risque lié au cautionnement dans le système judiciaire. En comparant les cotes de risque aux activités criminelles réelles, l'analyse a conclu que les logiciels d'IA étaient deux fois plus susceptibles de cataloguer faussement les Noirs comme de futurs criminels comparativement aux prévenus de race blanche.⁷⁰

Il en va de même pour le profilage des Afro-Américains au moyen des réseaux de reconnaissance faciale utilisés par les autorités policières, en raison de la représentation disproportionnée d'Afro-Américains dans les bases de données de photos d'identité judiciaire.⁷¹ Autre exemple : les Asiatiques sont presque deux fois plus susceptibles de se voir facturer des prix plus élevés de la part des services de préparation aux tests d'habileté scolaire puisque les prix sont établis en fonction de la géographie.⁷²

⁶⁷ "First UNESCO recommendations to combat gender bias in applications using artificial intelligence". UNESCO. May 17, 2019. <https://en.unesco.org/news/first-unesco-recommendations-combat-gender-bias-applications-using-artificial-intelligence>

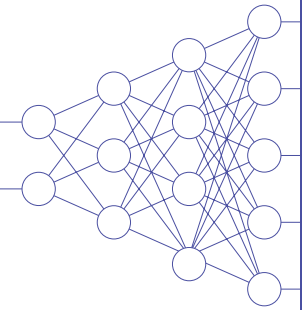
⁶⁸ Bousquet, Chris. "Algorithmic Fairness: Tackling Bias in City Algorithms". Ash Center for Democratic Governance and Innovation, Harvard Kennedy School. August 31, 2018. <https://datasmart.ash.harvard.edu/news/article/algorithmic-fairness-tackling-bias-city-algorithms>

⁶⁹ Serebrin, Jacob. "E Is For Ethics In AI — And Montreal's Playing A Leading Role". Canada.ai. April 5, 2019. <http://www.canada.ai/posts/e-is-for-ethics-in-ai-and-montreals-playing-a-leading-role>

⁷⁰ Bousquet, Chris. "Algorithmic Fairness: Tackling Bias in City Algorithms"

⁷¹ Lohr, Steve. "Facial Recognition Is Accurate, if You're a White Guy". The New York Times. February 9, 2018. <https://www.nytimes.com/2018/02/09/technology/facial-recognition-race-artificial-intelligence.html>

⁷² Angwin, Julia, Surya Mattu and Jeff Larson. "The Tiger Mom Tax: Asians Are Nearly Twice as Likely to Get a Higher Price from Princeton Review". ProPublica. September 1, 2015. <https://www.propublica.org/article/asians-nearly-twice-as-likely-to-get-higher-price-from-princeton-review>



Intelligence artificielle et préjugés sexistes : L'exemple du moteur de recrutement d'Amazon

Faisant les manchettes de la presse internationale, les spécialistes d'Amazon en matière d'apprentissage machine ont découvert que leur moteur de recrutement ne cotait pas de façon neutre les candidats à des postes de développeur de logiciels et à d'autres postes techniques.

Au contraire, l'outil automatisé était programmé pour évaluer les candidats en observant des tendances relevées dans les curriculum vitae soumis à l'entreprise au cours de la dernière décennie, alors que l'échantillon de candidats était principalement composé d'hommes. Du fait de cet échantillon de données restreint et biaisé, le système concluait que les candidats masculins étaient en fait préférables pour ces rôles et plaçait dans une catégorie inférieure les diplômées provenant de collèges pour femmes.

Cette conséquence était certes imprévue, et des tentatives ont été faites pour modifier le programme et corriger les erreurs de logique, mais rien ne garantissait que le moteur de recrutement n'allait pas concevoir d'autres formes de tri discriminatoire. Par conséquent, ce projet a fini par être abandonné et l'équipe a été dissoute.⁷³

Mesures prises pour résoudre les problèmes éthiques de l'intelligence artificielle

Les entreprises réagissent de plus en plus aux problèmes et aux préoccupations d'ordre éthique entourant l'IA en mettant en place plusieurs mesures notables, notamment la modération de contenu et la création de comités consultatifs pour surveiller et valider les résultats, dans le but de résoudre les problèmes comme les biais d'échantillonnage causés par le suréchantillonnage.

La critique adressée à Facebook au sujet des mesures prises pour protéger la vie privée des utilisateurs et lutter contre les gens mal intentionnés qui utilisent cette plateforme est un exemple bien connu. Depuis, Facebook a cherché à élaborer des initiatives fondées sur l'utilisation éthique de l'IA, comme la création d'un groupe d'apprentissage machine appliqué qui s'est vu confier le mandat d'éliminer les pourriels des fils de nouvelles, de rechercher les faux comptes d'utilisateur et de répondre aux préoccupations touchant la modération de contenu. Facebook espère être en mesure de régler, au moyen de ces mécanismes, la quantité de contenus offensants et préjudiciables qui est triée par des modérateurs humains.⁷⁴

⁷³Dastin, Jeffrey. "Amazon scraps secret AI recruiting tool that showed bias against women". Reuters. October 9, 2018. <https://www.reuters.com/article/us-amazon-com-jobs-automation-insight/amazon-scraps-secret-ai-recruiting-tool-that-showed-bias-against-women-idUSKCN1MK08G>

⁷⁴Vanian, Jonathan. "Unmasking A.I.'s Bias Problem." Fortune. June 25, 2018. <https://fortune.com/longform/ai-bias-problem/> ; Vincent, James. "AI won't relieve the misery of Facebook's human moderators." The Verge. February 27, 2019. <https://www.theverge.com/2019/2/27/18242724/facebook-moderation-ai-artificial-intelligence-platforms>

Comités consultatifs sur l'éthique de l'intelligence artificielle : Une bonne idée qui nécessite une sélection minutieuse des membres

La surveillance accrue et les possibilités croissantes de l'IA ont amené de nombreuses entreprises de technologie à étendre leurs activités de recherche dans le domaine de l'utilisation éthique de l'IA. Parmi les mesures prises, mentionnons le financement de chercheurs indépendants sur ce sujet, la création de conseils consultatifs en matière d'éthique, l'établissement de partenariats à l'échelle de l'industrie pour l'élaboration de normes d'éthique, et la collaboration avec des universités afin d'augmenter le nombre de rôles liés aux considérations éthiques.

Toutefois, certains ont critiqué ces efforts, les jugeant insuffisants et incapables de refléter la diversité et de corriger les inégalités constatées dans la société.⁷⁵ À titre d'exemple, Google a fini par dissoudre son comité d'éthique de l'IA en raison des controverses et des démissions liées à ses membres, notamment les campagnes menées antérieurement par un membre contre les lois sur la non-discrimination à l'égard des groupes LGBTQ qui avait d'ailleurs exprimé son climatoscepticisme.⁷⁶

Outre le fait que ces conseils nécessitent une procédure rigoureuse de sélection, certains ont évoqué la possibilité que les conseils consultatifs sur l'éthique de l'IA servent en définitive de moyens de défense permettant d'éviter des demandes plus énergiques en faveur de la réglementation des technologies. Par exemple, lorsque des chercheurs découvrent des utilisations néfastes de l'IA, les entreprises qui mettent au point la technologie en question peuvent pointer du doigt les comités et les chartes pour esquiver les critiques et les mauvaises intentions. Bien que la création de ces conseils et comités soit importante pour assurer une surveillance et une vérification appropriées, leurs membres doivent être choisis avec soin et encadrés par des lignes directrices claires, et leurs responsabilités doivent être clairement définies.

Certains demeurent sceptiques quant aux intentions des comités d'éthique, croyant que ces mesures éthiques sont surtout symboliques et que la notion d'intelligence artificielle éthique est devenue une expression à la mode du monde des affaires pour les comités internes, les titres de poste et les initiatives philanthropiques.⁷⁷ Le développement rapide de l'IA rend nécessaire la création d'instances ou de comités généraux chargés d'examiner, de surveiller, de suivre et d'étudier les répercussions éthiques de la technologie.

Éthique de l'intelligence artificielle et jugements de valeur

L'utilisation fonctionnelle de l'éthique et des valeurs de l'IA plane sur de nombreuses applications. L'un des exemples les plus frappants est celui des jugements de valeur mis en jeu dans la programmation de l'IA des véhicules autonomes. Comme beaucoup l'ont fait remarquer, les véhicules entièrement autonomes confrontés à des situations dangereuses seraient appelés à réagir en une fraction de seconde alors que leur système d'IA pourrait se voir forcé de sauver une vie aux dépens d'une autre.

⁷⁵ Levin, Sam. "Bias deep inside the code: the problem with AI 'ethics' in Silicon Valley". *The Guardian*. March 29, 2019. <https://www.theguardian.com/technology/2019/mar/28/big-tech-ai-ethics-boards-prejudice>

⁷⁶ Piper, Kelsey. "Exclusive: Google cancels AI ethics board in response to outcry". *Vox*. April 4, 2019. <https://www.vox.com/future-perfect/2019/4/4/18295933/google-cancels-ai-ethics-board>

⁷⁷ O'Brien, Matt and Rachel Lerman. "What are tech titans doing about AI ethics concerns?" *CTV News*. April 7, 2019. <https://www.ctvnews.ca/sci-tech/what-are-tech-titans-doing-about-ai-ethics-concerns-1.4369595>

La plateforme « Moral Machine » (machine morale) du Massachusetts Institute of Technology (MIT) : Un exemple d'intelligence artificielle et de jugements éthiques

En cas de collision inévitable, la voiture autonome devrait-elle s'écraser contre l'obstacle et tuer son conducteur ou plutôt choisir de faire une embardée vers un trottoir bondé et tuer les piétons?

En raison de la complexité de ces questions, le laboratoire des médias du MIT a invité des gens du monde entier à jouer à la « machine morale », un jeu dans lequel les joueurs devaient se mettre à la place d'un véhicule autonome et prendre des décisions quant aux résultats les plus éthiques à la question reproduite ci-dessus. Au total, 2 millions de personnes de 200 pays ont enregistré plus de 40 millions de décisions dans le cadre de cette expérience, laquelle est devenue la plus grande étude jamais menée sur les préférences morales en matière d'IA.⁷⁸

Les résultats de l'expérience ont mis en évidence la nature vague et culturelle de ces décisions morales, regroupant les réponses dans trois grappes géographiques : la grappe de l'Ouest (Amérique du Nord et Europe occidentale), la grappe de l'Est (composée de pays de l'Extrême-Orient et de pays islamiques) et la grappe du Sud (composée de pays de l'Amérique latine et de l'Afrique). Les résultats ont été très éclairants :

Les joueurs de la grappe de l'Ouest étaient plus portés à épargner un dirigeant d'entreprise qu'un sans-abri, et étaient plus susceptibles de tuer les personnes qui traversaient en dehors des passages piétons que les piétons qui obéissaient à la loi



Les joueurs de la grappe du Sud étaient plus portés à tuer une personne obèse plutôt qu'une personne athlétique;

Les joueurs de la grappe de l'Est étaient plus portés à tuer une jeune personne et à épargner une personne plus âgée;

C'est pourquoi certaines recherches portent sur les possibilités et les défis posés par les jugements moraux, surtout dans le contexte des algorithmes ayant des répercussions sur la vie et la mort. L'Allemagne est actuellement le seul pays à s'être doté d'un cadre d'éthique pour les véhicules autonomes, lequel interdit, par exemple, l'utilisation de caractéristiques ou de traits personnels dans les situations où un accident est inévitable.

Compte tenu de ces complexités, il y aura probablement de nombreuses années de débats et de discussions supplémentaires sur les répercussions juridiques, philosophiques, morales et éthiques de l'IA.

⁷⁸Lester, Caroline. "A Study on Driverless-Car Ethics Offers a Troubling Look into Our Values." *The New Yorker*. January 24, 2019. <https://www.newyorker.com/science/elements/a-study-on-driverless-car-ethics-offers-a-troubling-look-into-our-values>

Transparence et explicabilité

Étant donné le risque de partialité dans le développement et l'utilisation de l'IA, il est logique et raisonnable de s'intéresser davantage à la prise de décisions transparentes par l'IA. Toutefois, la publication des paramètres ou des mécanismes de l'IA ne donne pas nécessairement un aperçu de son fonctionnement dans la pratique en raison des niveaux très variables d'expertise ou de connaissances en matière de technologies numériques modernes, rendant ainsi difficile la tenue de discussions ouvertes et transparentes sur les politiques et les procédures nécessaires.

Comme la puissance et l'impact de l'IA sont de plus en plus importants, les demandes se sont faites plus nombreuses pour ce que l'on appelle l'« intelligence artificielle explicable » (aussi appelée « intelligence artificielle interprétable » ou « intelligence artificielle transparente »)⁷⁹, mais la complexité qui confère à l'IA sa puissance la rend par ailleurs difficile, voire impossible, à comprendre : ce n'est pas toujours simple d'infirmer ou de déconstruire une décision prise par une IA. Les réseaux neuronaux, appelés ainsi en raison de leur similarité avec les réseaux de neurones biologiques, sont mystérieux et intrinsèquement opaques. En apprentissage profond, le système n'est pas guidé par le savoir et des règles explicites, mais il s'est autoprogrammé en faisant des ajustements internes. Autrement dit, le système ne sait pas forcément « comment il sait ce qu'il sait » et n'est pas nécessairement non plus capable de communiquer les fondements de son savoir. Geoffrey Hinton, l'un des pionniers les plus influents en matière d'apprentissage profond, explique ce phénomène de la façon suivante :

« Un système d'apprentissage profond n'a pas de capacité d'explication. Plus un système d'apprentissage profond devient puissant, plus son opacité augmente. À mesure qu'augmente le nombre de fonctionnalités extraites, les diagnostics deviennent de plus en plus précis. Pourquoi ces fonctionnalités sont-elles extraites parmi des millions d'autres? Cette question n'a pas encore trouvé de réponse.⁸⁰ »

En dépit de ces difficultés, les gouvernements et les autres groupes d'intervenants ont déployé des efforts considérables pour élaborer des lignes directrices protégeant les droits civils et politiques et garantissant notamment l'utilisation responsable de l'IA, dans le but de réduire au minimum la discrimination intentionnelle ou non intentionnelle dans les secteurs public et privé. L'Union européenne, par exemple, cherche à élaborer des lignes directrices pour que l'IA éthique soit transparente, en plus d'être explicable et comprise par les humains.⁸¹ Bien que le Règlement général sur la protection des données (RGPD) de l'Union européenne ait quelques exigences relatives à l'explicabilité, il subsiste encore beaucoup d'incertitude à l'égard du niveau d'explicabilité requis et de la probabilité de déterminer s'il est suffisant que l'IA soit « explicable » ou si elle ne devrait pas plutôt être « compréhensible ».⁸²

À l'avenir, les éthiciens et les spécialistes en matière de protection de la vie privée devront peut-être tenir compte de l'impact et du degré d'explicabilité ou, du moins, de transparence de l'IA dans les entreprises qui adopteront ces nouvelles technologies. Alors que la demande est grandissante, nous pourrions voir une hausse du nombre de rôles consacrés à l'enseignement de l'intelligence artificielle éthique, à la vérification de l'IA et même à la réparation lorsque les solutions de l'IA causent du tort ou des dommages à des personnes ou à des organisations.

⁷⁹Schmelzer, Ron. "Understanding Explainable AI". *Forbes*. July 23, 2019

⁸⁰Mukherjee, Siddhartha. "A.I. Versus M.D." *The New Yorker*. March 27, 2017. <https://www.newyorker.com/magazine/2017/04/03/ai-versus-md>

⁸¹Vincent, James. "AI systems should be accountable, explainable, and unbiased, says EU." *The Verge*. April 8, 2019.

<https://www.theverge.com/2019/4/8/18300149/eu-artificial-intelligence-ai-ethical-guidelines-recommendations>

⁸²Chowdhury, Rumman. "Is Explainability Enough? Why We Need Understandable AI." *Forbes*. June 4, 2018.

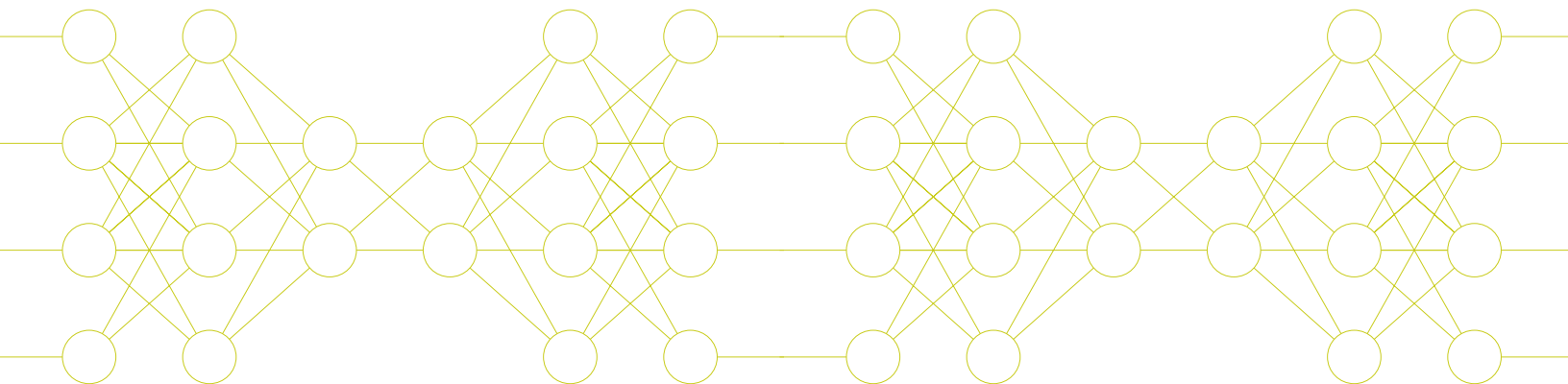
<https://www.forbes.com/sites/rummanchowdhury/2018/06/04/is-explainability-enough-why-we-need-understandable-ai/#33e62e1662f4>

L'intelligence artificielle et la protection de la vie privée

Comme le développement et l'utilisation de l'IA dépendent de l'utilisation à grande échelle de données (données personnelles, données regroupées et métadonnées), des questions évidentes se posent concernant la protection de la vie privée et ses conséquences.

La présence accrue d'appareils intelligents (intégrant les technologies de l'IA) représente une vulnérabilité par rapport à l'exploitation des données, surtout que nous ignorons la quantité exacte de données que génèrent et partagent les logiciels et les appareils. Prenons par exemple le cas des haut-parleurs intelligents et des appareils domestiques connectés comme Alexa d'Amazon⁸³, Cortana de Microsoft⁸⁴ et Home de Google.⁸⁵ Pour ces appareils, le partage avec les sous-traitants de clips audio a fait partie intégrante du développement du traitement du langage naturel pour la reconnaissance vocale par IA, mais peu de clients sont au courant.

Une autre conséquence potentiellement négative de l'IA sur la vie privée est liée à la perte d'anonymat. L'IA pourrait être utilisée pour identifier, suivre et surveiller des personnes. Grâce à une puissance de calcul accrue et à un accès élargi à de grandes quantités de vastes ensembles de données, l'IA peut désanonymiser les données. De même, la reconnaissance vocale et faciale par l'IA a rapidement progressé ces dernières années et pourrait mettre en péril l'anonymat en public, soulevant des questions quant à l'utilisation de ces technologies par les forces de l'ordre.⁸⁶



⁸³O'Flaherty, Kate. "Amazon Staff Are Listening To Alexa Conversations -- Here's What To Do." *Forbes*. April 12, 2019. <https://www.forbes.com/sites/kateoflahertyuk/2019/04/12/amazon-staff-are-listening-to-alexa-conversations-heres-what-to-do/#604658b171a2>

⁸⁴Hachman, Mark. "Microsoft's privacy policy admits contractors listen to Cortana, Skype recordings." *PCWorld*. August 15, 2019. <https://www.pcworld.com/article/3431701/microsofts-privacy-policy-admits-contractors-listen-to-cortana-skype-recordings.html>

⁸⁵Kaser, Rachel. "Google contractors are secretly listening to your Assistant recordings." *TNW*. July 10, 2019. <https://thenextweb.com/google/2019/07/10/google-contractors-are-secretly-listening-to-your-assistant-recordings/>

⁸⁶Deane, Michael. "AI and the Future of Privacy." *Towards Data Science*. September 5, 2018. <https://towardsdatascience.com/ai-and-the-future-of-privacy-3d5f6552a7c4>

Conclusion

Le Canada occupe une bonne position en tant que chef de file en matière d'IA, surtout en ce qui concerne la recherche de classe mondiale, les talents qualifiés en recherche et, de par son leadership sur d'importants sujets et considérations comme la protection de la vie privée, la transparence et l'utilisation éthique de cette technologie. Le Canada est rapidement en train de développer des institutions de recherche postsecondaire impressionnantes ayant une expertise considérable au sein de grappes d'IA de renommée mondiale à Montréal, à Toronto et à Edmonton. Bon nombre d'entreprises chefs de file du monde entier ont reconnu ces forces et établi des laboratoires de recherche et d'autres opérations au Canada afin de tirer profit du développement de l'IA au Canada.

Étant donné le besoin de talents hautement qualifiés pour faire croître et étendre la position de chef de file du Canada en matière d'IA, il est important de tenir compte des tendances du marché du travail et des professions qui connaîtront probablement des changements importants relativement aux compétences exigées et une future croissance considérable en raison de la technologie.

Le modèle d'amplification de l'IA du CTIC tente de montrer certains de ces changements en évaluant la probabilité que l'IA amplifie différentes professions. Les technologies de l'IA auront des impacts inégaux sur différents rôles, et par conséquent, certaines professions seront encore plus susceptibles à l'amplification que d'autres. Les chocs économiques ont entraîné l'adoption accrue de technologies établies qui permettent d'économiser de la main-d'œuvre, comme l'IA et l'automatisation, lesquelles ont stimulé la productivité tout en influençant les résultats liés au marché du travail.

Les professions comme les vérificateurs, les analystes financiers et les praticiens de la gestion de l'information sur la santé se prêtent le plus à l'amplification par l'IA. Il est donc essentiel que ces professions soient appuyées par des options de formation qui permettront aux travailleurs d'apprendre de nouvelles compétences et, au bout du compte, de profiter des gains d'efficacités réalisés grâce à l'IA. La planification de ces réalités dès aujourd'hui permettra à ceux qui occupent des professions grandement susceptibles d'amplification par l'IA d'effectuer un travail à valeur ajoutée offrant une meilleure rémunération.

Comme pour les progrès technologies précédents, le développement de l'IA offrira des améliorations et des gains nets, mais présentera aussi des difficultés et des obstacles qui nécessiteront une stratégie globale et efficace de perfectionnement et, dans certains cas, de recyclage professionnel. Ces stratégies seront indispensables pour aider les Canadiens à se préparer à un avenir où l'IA n'est plus seulement qu'« utile », mais une norme acceptée et la pierre angulaire des futurs progrès et développements technologiques, économiques et sociétaux.

ANNEXES

I Méthodologie de recherche

Différentes méthodes de recherche primaire et secondaire ont été utilisées dans la préparation de la présente étude pour extraire des conclusions et générer des perspectives.

Le volet de recherche primaire comprenait 15 entrevues auprès d'experts en la matière et de chefs de file de l'industrie sur des sujets liés à l'IA, notamment l'apprentissage machine, l'apprentissage profond, les réseaux neuronaux, l'utilisation et la confidentialité des données, la transparence, l'explicabilité, et la recherche. Les conclusions relatives aux applications et à l'utilisation de l'IA au Canada, autant au sein de l'économie générale que dans l'ensemble des secteurs, ont été extraites des entrevues et d'un sondage (offrant 112 réponses) sur la transformation numérique dans l'économie canadienne. Le CTIC a également utilisé un sondage (offrant plus de 300 réponses) pour extraire des perspectives clés sur les emplois dans le secteur de l'IA, lesquelles ont ensuite été utilisées pour définir les compétences cruciales pour chaque rôle au moyen d'un « moissonnage » des sites d'emplois. L'étude a été présentée à un comité consultatif de projet composé d'experts de l'industrie de l'IA. Ces experts proviennent de différents milieux, notamment l'industrie, le secteur de la recherche, le milieu universitaire et les groupes sans but lucratif. Le groupe consultatif s'est réuni deux fois au cours du projet afin d'approfondir et de valider les conclusions et d'en discuter.

Le volet de recherche secondaire de la présente étude incluait une profonde analyse documentaire sur l'IA, ses applications dans l'ensemble de l'économie, les défis et les considérations majeures de la technologie, ainsi que les catégorisations ou les grappes de compétences liées à de nombreuses professions, comme le reflètent les normes internationales. Une variété de données secondaires, provenant principalement de Statistique Canada et du département américain du Travail (O*NET), complètent l'étude.

II Méthodologie de l'échelle d'impact de l'intelligence artificielle

Pour comprendre les impacts récents et du proche avenir de l'IA sur le marché du travail, le CTIC a conçu une méthode ascendante de classement des professions selon leur adaptabilité à une amplification par l'intelligence artificielle faible. Contrairement à la versatilité potentiellement illimitée de l'intelligence artificielle générale, l'intelligence artificielle faible a grugé, au cours des dernières années, un ensemble relativement spécifique de compétences. Ainsi, l'approche utilisait des perspectives clés recueillies lors de l'analyse des données de la recherche primaire et secondaire et de l'analyse documentaire afin de classer les compétences, les connaissances, les habiletés ou les aptitudes (ci-après simplement appelées « compétences ») selon leur adaptabilité à une amplification par l'intelligence artificielle faible.

À l'aide des données d'O*NET48, l'importance relative de chacune des 160 différentes compétences correspond à chacun des codes d'occupation. Un indice d'impact de l'IA a été attribué à chaque compétence selon son niveau de perfectionnement et l'importance de la profession. Ainsi, en regroupant le nombre de compétences pour chaque profession qui peut être amplifiée par l'IA, la mesure dans laquelle une profession en particulier est susceptible à l'amplification peut être déterminée.

Pour chaque compétence et profession, une valeur indiquant le niveau d'adaptabilité à l'IA est attribuée, selon le type, l'importance et le niveau de compétence. Cette valeur d'applicabilité à l'IA est ensuite classée selon l'importance de la compétence par rapport à la profession, et les valeurs sont agrégées pour chaque profession. En triant les professions selon cette valeur agrégée, une estimation des professions pouvant être amplifiées par l'IA dans une mesure plus ou moins grande s'en dégage.

III Limites de la recherche

Bien que les recherches sur l'IA remontent à plusieurs décennies, le domaine subit constamment des transformations, rendant difficile un développement de pointe pour la mesurer et la quantifier. Les difficultés entourant la définition de l'IA peuvent être passablement réduites au moyen de discussions avec des intervenants clés, mais, au bout du compte, il demeurerait nécessaire de regrouper les analyses selon les catégorisations, soit l'intelligence artificielle « faible » et l'intelligence artificielle « supérieure » (ou générale). En raison de la disponibilité des données et de l'exactitude des mesures d'impact, la présente analyse a eu recours à l'intelligence artificielle faible, ce qui signifie qu'une partie du futur potentiel de l'IA (surtout en ce qui concerne l'intelligence artificielle supérieure ou générale) pourrait être sous-estimé.

Le modèle d'amplification par l'IA comprend également un jugement des compétences et des activités professionnelles fondé sur leur probabilité d'amplification selon les données qualitatives de la recherche primaire extraites dans cette étude et la recherche secondaire disponible. Le classement des compétences (et des niveaux de compétence) quant à leur adaptabilité à l'intelligence artificielle faible comprend nécessairement un jugement qualitatif, mais cette liberté de jugement est limitée par une définition stricte de l'IA étudiée, dont la compréhension découle d'une série d'entrevues auprès d'experts, et par l'utilisation de la moyenne des classements de plusieurs analystes de la recherche indépendants. Dans de tels cas, il est possible que les données d'O*NET soient faussées, ou que la correspondance entre les codes de classification des professions des États-Unis et du Canada ait introduit un certain niveau de bruit et de partialité. Le modèle se fonde sur une méthode de régression unidimensionnelle, garantissant ainsi l'existence de variables omises, d'une causalité inverse ou d'autres formes d'endogénéité au sein du modèle. Le modèle ne prétend pas avoir décelé strictement des liens de causalité et présente plutôt une série de corrélations persuasives et importantes sur le plan statistique comme preuve d'un rapport probable. Une étude plus quantitative tenterait de contrôler les covariables, notamment la « facilité de délocalisation » et d'autres facteurs qui pourraient en partie guider les résultats, mais ce niveau d'exhaustivité ne fait pas partie de la portée de l'analyse présentée dans la présente étude.

IV Compétences les plus susceptibles d'amplification par l'intelligence artificielle

Le modèle d'amplification par l'IA présente des aperçus des professions susceptibles et moins susceptibles d'amplification, ainsi que des compétences. Bien que le rapport énonce les compétences les moins susceptibles d'amplification, la liste suivante présente 15 compétences potentiellement susceptibles d'amplification par l'IA.

- 1 Nombres de base : Capacité d'additionner, de soustraire, de multiplier ou de diviser rapidement et correctement.
- 2 Mémorisation
- 3 Force physique
- 4 Vitesse et flexibilité de clôture : Capacité de déceler rapidement un schéma d'information en présence d'éléments de distraction, même sans avoir toute l'information.
- 5 Rapidité de perception : Capacité d'examiner et de comparer rapidement des nombres, des lettres et des objets.
- 6 Visualisation : Capacité d'imaginer à quoi ressemblera un élément après son déplacement ou lorsque ses composantes sont déplacées ou réorganisées.
- 7 Réflexe d'orientation : Capacité de choisir rapidement entre deux ou plusieurs mouvements en réponse à deux ou plusieurs signaux différents.
- 8 Compétences administratives
- 9 Compétences mathématiques
- 10 Compétences en anglais et langues étrangères
- 11 Compétences en programmation de base
- 12 Suivi des opérations : Capacité de surveiller des jauges, des cadrans et d'autres indicateurs.
- 13 Jugement de base et processus décisionnel : Capacité de tenir compte des coûts et avantages relatifs des actions potentielles pour choisir les plus appropriées.
- 14 Traitement des données : Capacité de compiler, de coder, de catégoriser, de calculer, de calculer ou de vérifier des informations ou des données.
- 15 Tâches administratives : Capacité d'effectuer des tâches administratives quotidiennes, comme tenir des dossiers d'information et traiter des documents.