

Sous la direction scientifique de
Nathalie de Marcellis-Warin – Benoit Dostie
Sous la coordination de
Genevieve Dufour

Le Québec **9** économique

**Perspectives et défis
de la transformation
numérique**

Chapitre 3

**L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE :
UN PUISSANT LEVIER DE
DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE
POUR LE QUÉBEC**

BEN HADJ

Chapitre 3

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE : UN PUISSANT LEVIER DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE POUR LE QUÉBEC

Ben Hadj

Analyste-conseil en innovation à la Direction de la valorisation et du capital d'investissement du ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec

Résumé

L'intelligence artificielle (IA) désigne la capacité des machines et des systèmes d'acquérir et de mettre en pratique des connaissances et d'adopter des comportements « intelligents ». Depuis quelques années, aussi bien les industriels que les gouvernements ont un intérêt marqué pour les technologies d'IA. Propulsées par la disponibilité accrue de la puissance de calcul, une connectivité améliorée et les données massives, elles offrent de fascinantes possibilités de promouvoir la croissance économique et de s'attaquer de façon positive à un large éventail de problèmes sociaux. Ce chapitre vise à décrire la démarche du gouvernement du Québec qui, de concert avec le gouvernement fédéral, appuie la création d'un pôle mondial en IA et œuvre à faire de celui-ci un vecteur de développement économique. Il aborde également les enjeux stratégiques qui pourraient être amplifiés par le développement rapide de l'IA, ainsi que les nouveaux défis que pourrait engendrer l'utilisation de ces technologies.

Introduction

L'IA constitue l'un des bouleversements majeurs qui marquent notre époque. Même s'il n'existe pas de définition univoque de l'IA, le présent chapitre se base sur celle de Nils J. Nilsson (2010) : « L'intelligence artificielle est l'activité consacrée à rendre les machines intelligentes; l'intelligence étant cette qualité qui permet à une entité d'agir de manière appropriée et avisée dans son environnement. » Cette définition est conforme à celle retenue dans les travaux de l'OCDE sur ce sujet.

Rarement une évolution technologique aura suscité autant de possibilités d'innovation, de résolution de problèmes et de changements dans les usages. Cette tendance est particulièrement nette dans les économies les plus développées, qui reconnaissent le caractère révolutionnaire de l'IA et qui ont adopté, au cours des dernières années, des stratégies nationales dans cette discipline ou publié des documents d'orientation pour guider l'élaboration de politiques futures.

Le gouvernement américain a présenté une stratégie en matière d'IA en 2016, avant d'adopter en février 2019 un ordre exécutif (l'« *American AI initiative* ») demandant aux agences gouvernementales de consacrer plus de ressources à la recherche et à la promotion de l'IA. Avec son « plan de développement de l'IA de nouvelle génération », la Chine ambitionne de devenir un acteur mondial de premier plan dans ce domaine d'ici 2030; elle procède actuellement à des investissements massifs dans la recherche et l'industrialisation des technologies de l'IA. D'autres pays tels que le Japon, le Royaume-Uni et la Finlande ont également conçu leurs propres stratégies (ESPC, 2018). Le gouvernement du Canada a déployé, en mars 2017, la Stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle, dont le financement est de 125 millions de dollars sur cinq ans (Dutton, Barron et Boscovic, 2018).

Au Québec, les investissements publics et privés en IA ont connu une forte expansion au cours des dernières années, notamment grâce à l'excellence de la recherche universitaire sur l'apprentissage automatique et les méthodes d'apprentissage profond comme les réseaux de neurones artificiels. Cette dynamique favorable a concouru à l'arrivée dans la

province d'entreprises internationales de haute technologie, à la prolifération de jeunes entreprises québécoises en IA et à la création d'instituts de recherche de calibre international.

Le Québec peut se vanter d'avoir un écosystème en IA de calibre mondial, et il est important de s'appuyer sur cette réussite afin de s'assurer que le niveau d'investissement à long terme sera suffisant pour maintenir l'avantage concurrentiel de la province dans l'avenir, pour accélérer l'adoption des technologies d'IA dans tous les secteurs de l'économie (que les entités concernées relèvent du secteur privé ou public), et pour créer des avantages économiques et sociaux tangibles et durables pour l'ensemble des Québécois.

Afin d'apporter un éclairage plus systémique sur certaines questions liées au développement de l'IA au Québec, ce chapitre est divisé en trois parties. La première propose une description synthétique des différentes composantes de l'écosystème en IA et des moyens d'action déployés par les gouvernements du Québec et du Canada pour appuyer la création d'un pôle mondial en IA au Québec. La deuxième partie présente les avantages potentiels liés à l'utilisation de l'IA dans un contexte de transformation numérique de l'économie du Québec. La troisième partie discute de certains enjeux importants posés par le développement de l'IA.

L'écosystème de l'IA au Québec

Les acteurs de l'écosystème québécois de l'IA

Au Québec, un pôle d'expertise de calibre mondial en IA s'est développé dans la grande région de Montréal afin de soutenir la recherche universitaire dans cette discipline, de renforcer la collaboration entre les acteurs du milieu, d'accélérer l'adoption de l'IA par les entreprises et de faire progresser ses applications industrielles, qui sont à l'origine de technologies transformatrices dans tous les secteurs de l'économie. Le développement rapide de l'IA au Québec a aussi été facilité par l'émergence de deux pôles de recherche, un à l'Université de Sherbrooke, en sciences quantiques, et l'autre à l'Université Laval, avec la création d'un observatoire sur les enjeux éthiques et sociétaux de l'IA et du numérique. Le pôle d'expertise en sciences quantiques vise à soutenir la recherche en physique quantique et à

faire progresser ses applications en nanoélectronique, en optoélectronique, en informatique quantique ou encore en IA (calcul de haute performance et techniques d'apprentissage automatique). Il s'est développé grâce à une synergie efficace entre différents acteurs comme l'Institut quantique (IQ) et l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique (3IT), tous les deux de l'Université de Sherbrooke.

L'écosystème actuel de l'IA au Québec est composé d'une multitude d'acteurs dont l'Institut des algorithmes d'apprentissage de Montréal (MILA), l'Institut de valorisation des données de Montréal (IVADO), l'IQ, la supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA SCALE AI, ainsi que des incubateurs d'entreprises, des investisseurs en capital de risque (par exemple Real Ventures, Good AI Capital, Fonds CDPQ-IA, etc.) et une masse critique de grandes et de petites entreprises spécialisées. L'ensemble de ces éléments contribue à créer un environnement favorable au développement et au déploiement de nouvelles technologies basées sur l'IA au Québec.

La recherche, noyau fort de l'écosystème de l'IA au Québec

La R-D constitue le fondement de la réussite dans le domaine de l'IA et, à cet égard, Montréal est reconnue à l'échelle internationale comme un chef de file de la recherche et des talents dans cette discipline, avec plus de 300 chercheurs à l'Université de Montréal et à l'Université McGill seulement (MILA, 2019). L'une des caractéristiques de l'écosystème montréalais en IA est l'implication importante du milieu de la recherche dans la production de solutions d'IA appliquées à l'industrie. Ce modèle est également caractérisé par le fait que le personnel compétent demeure au sein de centres de recherche universitaires en IA. Cela permet à un plus grand nombre de joueurs, notamment les jeunes entreprises ou les entreprises en démarrage, de bénéficier des résultats de la recherche, puisque les chercheurs demeurent rattachés à leurs universités et peuvent transférer leurs connaissances à l'industrie grâce à des institutions de transfert technologique établies.

Montréal abrite actuellement 11 établissements universitaires et plusieurs centres de recherche dans le domaine de l'IA, dont IVADO, qui regroupe plus de 1 100 scientifiques affiliés et est un acteur de premier plan en matière de transfert technologique, et le MILA, l'un des plus grands

laboratoires publics d'apprentissage profond au monde. D'autres centres de recherche universitaires en IA, tels que le Centre for Intelligent Machines (CIM), le Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM), le Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT), le Groupe d'étude et de recherche en analyse des décisions (GERAD), le Groupe de recherche en apprentissage automatique de l'Université Laval (GRAAL) et le *Reasoning and Learning Lab* de l'Université McGill (RLLAB), sont présents sur à Montréal et à Québec.

Point de convergence de l'IA à Montréal, IVADO est né d'une initiative universitaire qui regroupe HEC Montréal, Polytechnique Montréal et l'Université de Montréal. L'organisme, qui collabore avec une centaine de partenaires industriels, universitaires et gouvernementaux ayant contribué à son financement, a pour vocation de développer une expertise de pointe au Québec dans les domaines de la science des données, de l'optimisation (recherche opérationnelle) et de l'IA. Par ses activités, IVADO vise à soutenir le développement d'une filière économique autour de l'exploitation des données massives pour la prise de décision, à faciliter la communication et le partage des travaux de recherche, à favoriser le développement de partenariats de recherche en IA et à agrandir le bassin d'étudiants formés en science des données, et ce, en vue de combler les besoins croissants de main-d'œuvre au Québec. Force est de constater, aujourd'hui, qu'IVADO a réussi, d'une part, à bâtir un pont entre les diverses expertises universitaires et les besoins des entreprises et, d'autre part, à propulser Montréal au rang de chef de file mondial en matière de recherche en IA et d'exploitation des données massives.

Dans le domaine particulier de la recherche de pointe en science des données, Montréal est considérée comme un important pôle d'expertise, grâce notamment à la Chaire d'excellence en recherche du Canada sur la science des données pour la prise de décision en temps réel de Polytechnique Montréal, dont le titulaire est le professeur Andrea Lodi. Il s'agit indéniablement d'atouts qui devraient renforcer la position d'excellence de la métropole et accroître son rayonnement tant au Canada qu'à l'étranger.

En ce qui a trait à l'offre de talents de haut niveau, les 11 établissements universitaires de la métropole forment à l'heure actuelle plus de 11 000 étudiants dans des disciplines nécessaires à l'IA, notamment l'informatique, les mathématiques et les sciences des données

(Investissement Québec, 2019). Ces étudiants pourraient potentiellement grossir les rangs de la main-d'œuvre d'un environnement de travail caractérisé par l'IA.

Une masse critique de grandes et de jeunes entreprises émergentes en IA au Québec

Au cours des deux dernières années, l'écosystème de l'IA au Québec a connu une forte croissance. En particulier, le nombre de jeunes entreprises en IA a augmenté considérablement. Actuellement, plus de 90 entreprises de ce domaine – Element AI, Algolux, Aifred Health, Giro, Imagia, Irosoft, Stradigi AI et plusieurs autres – sont implantées dans la région métropolitaine de Montréal. Ainsi, la métropole est la troisième ville à l'échelle canadienne pour ce qui est des jeunes pousses et des PME offrant de l'IA.

Montréal se distingue aussi par la forte présence de grandes entreprises qui figurent dans le peloton de tête mondial en matière de recherche en IA, et qui ont réussi à créer des produits et des services basés sur les avancées de cette science. Depuis 2017, de nombreuses entreprises multinationales ont mis sur pied de nouveaux laboratoires de recherche appliquée en IA à Montréal, parmi lesquelles Google (qui a créé Google Brain à Montréal en novembre 2016), Facebook (FAIR), Microsoft Research (qui a fait l'acquisition de Maluuba en janvier 2017), IBM (qui a ouvert un laboratoire de recherche en IA en avril 2017 afin de resserrer ses liens de collaboration avec le MILA) et Huawei. Au nombre des raisons énoncées pour l'établissement ou l'implantation de leurs centres de recherche au Québec, ces entreprises mentionnent la présence de centres de recherche de calibre mondial et la disponibilité de talents de haut niveau en IA.

La capacité d'attraction de Montréal repose également sur la création, en 2018, de la supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA Scale AI, grâce à des fonds fédéraux et québécois. SCALE AI est basée à Montréal et dispose d'un bureau à Waterloo, en Ontario. Un laboratoire privé y est associé, IVADO Labs, qui accompagne les entreprises engagées dans la réalisation de projets dans le cadre de cette supergrappe. Impliquant les secteurs de la fabrication, du transport, du commerce de détail, des infrastructures et des technologies de l'information et de la communication (TIC), ce consortium d'innovation dirigé par l'industrie regroupe plus de 80 entreprises canadiennes, 26 associations professionnelles, IVADO

(l'institut lui-même) et 12 établissements de recherche de haut niveau. La majorité des participants et des collaborateurs sont basés dans les pôles technologiques du Québec et de l'Ontario. Les principaux objectifs de SCALE AI sont de promouvoir l'avantage compétitif du Canada dans le domaine de l'IA appliquée à l'industrie et d'accélérer le transfert des technologies d'IA aux divers maillons des chaînes d'approvisionnement (SCALE AI, 2017).

Une communauté florissante d'incubateurs et d'accélérateurs d'entreprises en IA

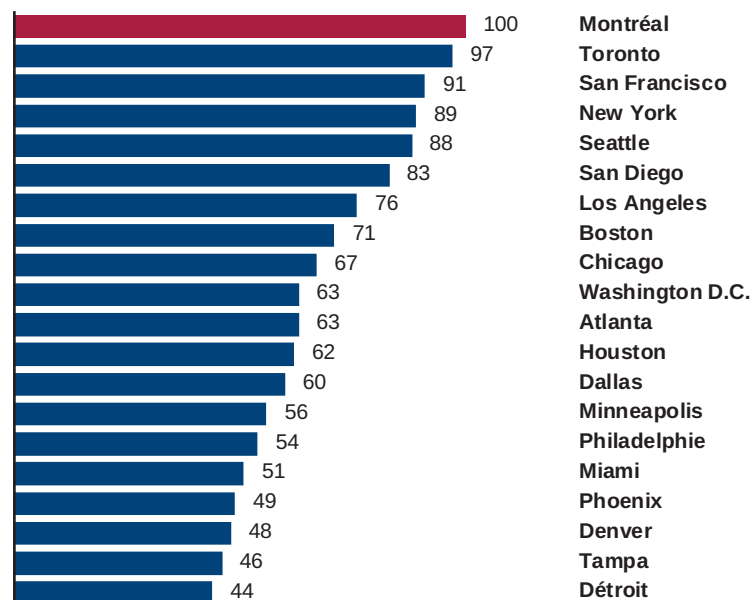
Le Québec se positionne favorablement pour ce qui est des outils d'accompagnement offerts aux entreprises innovantes en démarrage, tels que les incubateurs, les accélérateurs d'entreprises et les centres d'entrepreneuriat universitaire (CEU)¹. Une dizaine d'incubateurs pouvant appuyer le démarrage d'entreprises technologiques, notamment dans le domaine de l'IA, y ont élu domicile. C'est, par exemple, la maison Notman qui a incubé Element AI en 2016. Plusieurs de ces incubateurs sont affiliés à des universités alors que d'autres sont soutenus par des fonds gouvernementaux (par exemple AG-Bio Centre, le Centre d'entreprises et d'innovation de Montréal [CEIM], le Centre québécois d'innovation en biotechnologie [CQIB], Inno-centre, Centech). Le ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec (MEI) participe aussi au financement de deux initiatives de HEC Montréal visant à bonifier l'offre dans ce domaine, soit le Creative Destruction Lab (CDL) de Montréal et l'accélérateur Next AI.

De plus en plus présents au Québec, ces organismes constituent des outils très efficaces pour soutenir l'émergence de jeunes pousses en IA. Les services de soutien proposés par ces structures d'accompagnement à la création et au développement d'entreprises incluent des formations et des ateliers, des offres de mentorat, un accès au financement ainsi qu'à des équipements et à des infrastructures particuliers, de même que la mise à disposition d'un espace de travail. Ces offres sont généralement complétées par des occasions de réseautage en fonction des besoins des entreprises accompagnées.

De ce qui précède, il ressort clairement que le Québec est un endroit propice aux investissements et à l'innovation en IA. Ce constat est également soutenu par les résultats d'une étude menée en 2019 par fDi Benchmark du *Financial Times*, qui mesure la compétitivité de 20 villes

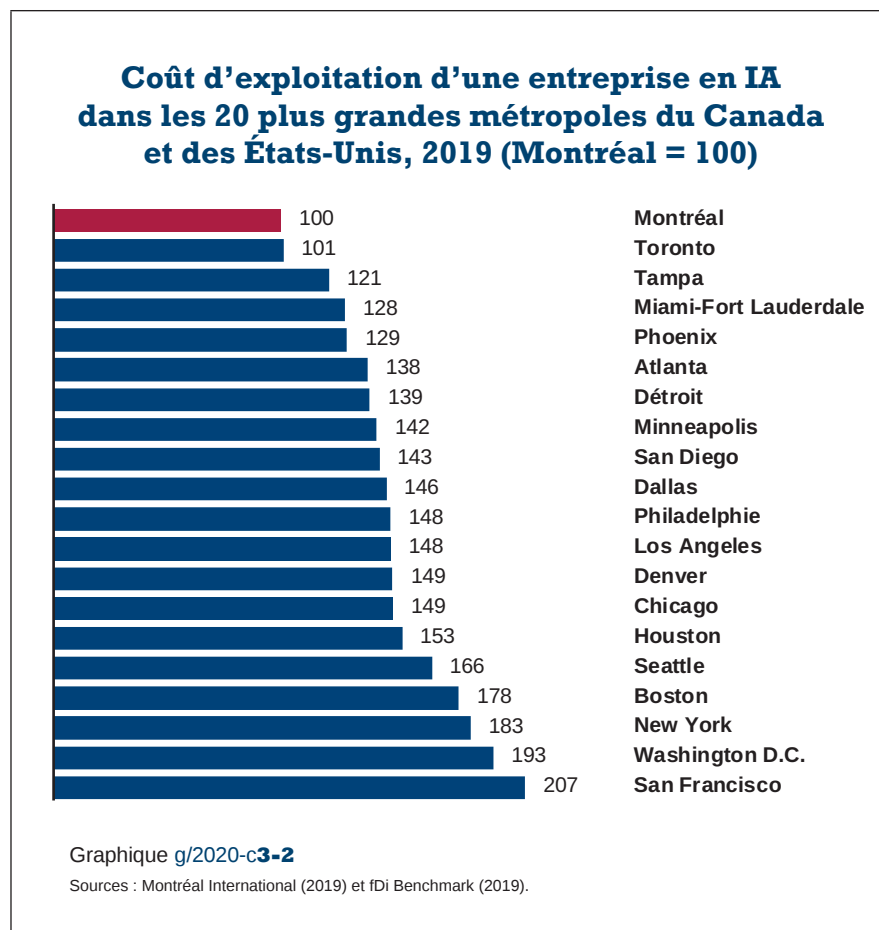
nord-américaines pour des projets d'investissement en IA, selon cinq critères (voir les graphiques 3-1 et 3-2). Les résultats de cette analyse comparative indiquent que Montréal se classe au premier rang parmi les 20 plus grandes métropoles du Canada et des États-Unis pour la qualité et la compétitivité de son secteur de l'IA. Globalement, la métropole québécoise affiche un avantage concurrentiel de plus de 47 % par rapport à la moyenne des 20 villes comparées. De plus, en ce qui a trait au coût d'exploitation d'une entreprise en IA, Montréal se trouve également au premier rang, affichant des coûts d'entreprise de 32 % inférieurs à la moyenne des coûts dans les villes comparées (fDi Benchmark, 2019 ; Montréal International, 2019).

Indice de qualité du secteur de l'IA dans les 20 plus grandes métropoles du Canada et des États-Unis, 2019 (Montréal = 100)



Graphique g/2020-c3-1

Sources : Montréal International (2019) et fDi Benchmark (2019).



Des investissements publics et en capital de risque dans le secteur de l'IA au Québec

Les investissements du Québec pour appuyer la création d'un pôle mondial en IA

Dans le cadre de ses efforts visant à faire de la province un pôle de recherche mondial dans le domaine de l'IA, le gouvernement du Québec a annoncé en mars 2017 un investissement de 100 millions de dollars sur cinq ans pour la création de la grappe québécoise en IA (Ministère des Finances

du Québec [MFQ], 2017). Au même moment, le MEI a confié à l'Université de Montréal, en collaboration avec les acteurs du milieu, la responsabilité de mettre sur pied un comité d'orientation chargé d'élaborer la stratégie de développement d'une grappe en IA de 2018 à 2022.

Un an plus tard, soit en mai 2018, ledit comité d'orientation a présenté au MEI les résultats de ses travaux et de ses réflexions ainsi que des recommandations dans le cadre du mandat qui lui avait été confié (Comité d'orientation de la grappe en intelligence artificielle, 2018). La stratégie exposée dans le rapport intitulé *Stratégie pour l'essor de l'écosystème québécois en intelligence artificielle* s'articule autour de cinq grandes orientations liées à la pérennité d'un pôle de recherche universitaire en IA au Québec, au développement des talents en sciences numériques, à l'accélération de l'adoption de ces technologies dans l'ensemble de l'économie québécoise, à la création d'un pôle d'expertise international en IA responsable, et au développement de structures de soutien robustes à l'écosystème de l'IA au Québec (par exemple pour augmenter la puissance de calcul de pointe mise à la disposition des chercheurs en IA).

Dans ce contexte, le gouvernement du Québec a multiplié les actions pour répondre aux besoins grandissants de l'écosystème de l'IA et pour donner suite, en bonne partie, aux recommandations du comité d'orientation. Les mesures prises comprennent entre autres les actions suivantes :

- Mars 2017 : Annonce d'un investissement de 100 millions de dollars sur cinq ans pour la création d'une grappe québécoise en IA (MFQ, 2017) ;
- Juillet 2017 : Adoption d'une nouvelle structure autonome par le MILA, qui s'incorpore pour devenir un organisme à but non lucratif (OBNL), le MILA – Institut québécois d'intelligence artificielle. L'organisme est appelé à doubler ses effectifs et déménage dans de nouveaux locaux en janvier 2019 ;
- Novembre 2017 : Tenue du Forum sur le développement socialement responsable de l'IA à Montréal et lancement de la version préliminaire de la Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA ;
- Mars 2018 : Octroi d'un financement de 60 millions de dollars sur trois ans pour soutenir les activités de la supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA SCALE AI (MFQ, 2018). Située à Montréal

et exerçant ses activités dans le corridor Québec-Windsor, SCALE AI mobilise à ce jour 118 partenaires (industriels, organismes d'intermédiation et établissements de recherche de calibre mondial) ;

- Mars 2018 : Allocation d'une aide financière de 5 millions de dollars à Montréal International pour faciliter la mise en place d'une nouvelle organisation internationale en IA, et ce, en collaboration avec les acteurs clés du milieu (MFQ, 2018). L'organisation aura en outre pour mandat de rassembler les acteurs internationaux en IA qui en deviendront membres, apportant ainsi une valeur ajoutée à l'écosystème montréalais ;
- Décembre 2018 : Lancement de l'Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'IA et du numérique (OBVIA). Cet organisme, dont le mandat est d'assurer une vigie et un rôle-conseil sur la question des impacts sociétaux de l'IA, est soutenu financièrement par les Fonds de recherche du Québec (FRQ) en partenariat avec le MEI. Il recevra 1,5 million de dollars par année pendant cinq ans, pour une enveloppe globale de 7,5 millions de dollars ;
- Mars 2019 : Le gouvernement annonce un vaste ensemble de mesures représentant 329,3 millions de dollars sur cinq ans afin de soutenir la recherche et le transfert de connaissances en IA à l'industrie (MFQ, 2019a) ;
- Juin 2019 : Le Forum IA.Québec voit le jour avec la fin des travaux du comité d'orientation de la grappe en IA. L'objectif de cet OBNL est de fédérer et de rassembler l'ensemble des joueurs de l'écosystème québécois en IA ;
- Juillet 2019 : Le ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale (MTESS) accorde au regroupement SCALE AI une aide financière de 23,4 millions de dollars sur cinq ans dans le but de soutenir le développement d'une main-d'œuvre québécoise qualifiée en IA.

En résumé, on peut conclure qu'au cours des trois dernières années, le soutien public québécois au secteur de l'IA a considérablement augmenté, ce qui a permis de renforcer la position du Québec comme acteur de premier plan à l'échelle canadienne et internationale. Au total, le gouvernement du Québec a investi plus de 500 millions de dollars dans le développement d'un écosystème de l'IA depuis 2017, sans compter les investissements (indirects) dans les infrastructures numériques² et les dépenses fiscales relatives aux crédits d'impôt à la R-D et à l'innovation.

Divers programmes d'aide fiscale s'ajoutent aux mesures publiques directes du gouvernement du Québec destinées au secteur de l'IA, comme les crédits d'impôt à la R-D, le crédit d'impôt pour le développement des affaires électroniques (CDAE) et les congés fiscaux pour les chercheurs, les experts et les professeurs étrangers ainsi que les chercheurs étrangers en stage postdoctoral à l'emploi d'une université québécoise ou d'un centre de recherche public. À titre indicatif, le CDAE, qui cible les activités innovantes à forte valeur ajoutée dans les domaines de la conception et du développement de systèmes informatiques et de logiciels liés aux affaires électroniques, a engendré une dépense fiscale de près de 416 millions de dollars en 2017 (MFQ, 2019b).

Le rôle du gouvernement fédéral

L'essor fulgurant et les progrès rapides de l'IA que l'on connaît actuellement au Québec prennent racine dans le milieu universitaire et tiennent en partie au soutien que l'Institut canadien de recherches avancées (CIFAR)³ a apporté en 2004 à la création, par le professeur Yoshua Bengio, du programme sur l'apprentissage automatique. Grâce au financement du CIFAR, le professeur Bengio a pu poursuivre ses travaux et a publié, en collaboration avec d'autres pionniers du secteur, des articles qui ont fait renaître l'intérêt pour ce domaine de recherche. Les technologies dérivées des avancées dans l'entraînement de réseaux profonds de neurones artificiels ont suscité un engouement autant du côté des organismes subventionnaires qu'au sein de l'industrie. Ces techniques sont à l'origine des progrès spectaculaires obtenus récemment dans le domaine de l'analyse des signaux audio et des images, par exemple.

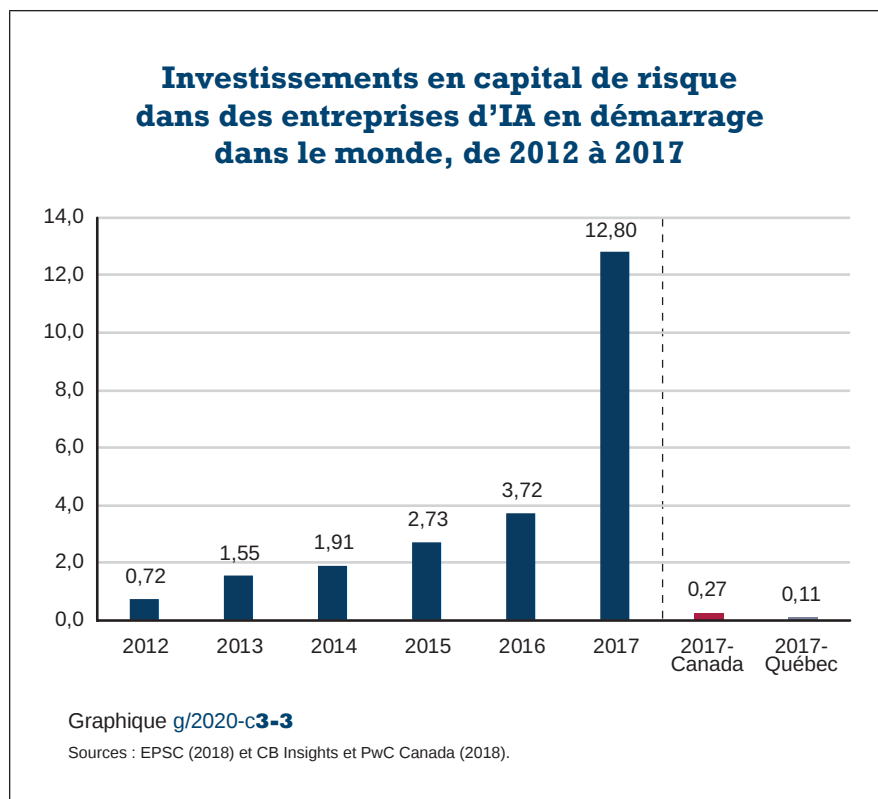
Au cours des dernières années, le gouvernement fédéral a annoncé plusieurs initiatives importantes pour appuyer la croissance du secteur de l'IA au Québec. À l'automne 2016, le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada a ainsi octroyé une subvention de 93,6 millions de dollars sur sept ans pour soutenir les travaux de recherche d'IVADO dans les domaines de la science des données, de la recherche opérationnelle (l'optimisation) et de l'IA. Dans le cadre de la Stratégie pancanadienne sur l'IA, annoncée dans le budget fédéral de 2017, le MILA a également obtenu un financement de 44 millions de dollars (sur cinq ans) sur l'enveloppe totale de 125 millions allouée à cette stratégie. En 2018, la supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA, soumise par le consortium

SCALE AI de Montréal, a été sélectionnée pour faire partie d'un groupe de cinq supergrappes financées par le gouvernement canadien et, à ce titre, elle s'est vu octroyer un financement de 230 millions de dollars sur cinq ans⁴. Ce financement supplémentaire est venu rehausser le total des investissements directs consacrés à l'écosystème de l'IA au Québec par les deux paliers de gouvernement à plus de 867 millions de dollars depuis 2017.

Des investissements en capital de risque

À l'échelle mondiale, les investissements en capital de risque dans des entreprises d'IA en démarrage ont connu un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 78 % entre 2012 et 2017 (voir le graphique 3-3). Le financement a plus que triplé entre 2016 et 2017, pour atteindre 12,8 milliards de dollars américains, ce qui reflète le développement rapide de l'IA et l'investissement sans cesse croissant qui y est apporté par les investisseurs du secteur privé.

En ce qui concerne l'investissement total de capital de risque au Canada, toujours dans le domaine de l'IA, on note une tendance à la hausse soutenue au cours des trois dernières années. À titre indicatif, en 2017, les investissements de capital de risque dans des entreprises spécialisées en IA s'élevaient à 270 millions de dollars américains au Canada (répartis sur 36 transactions) et à 110 millions au Québec (répartis sur 2 transactions). Le Québec demeure ainsi parmi les endroits qui investissent le plus en capital de risque en IA comparativement aux autres provinces canadiennes. Element AI – entreprise fondée à Montréal et chef de file mondial de la recherche appliquée en IA – a recueilli en 2017 un financement de 102 millions de dollars américains auprès d'investisseurs technologiques de grande envergure ; il s'agit du plus important fonds de série A pour une entreprise axée sur l'IA.



Le gouvernement du Québec s'assure d'une offre constante de capitaux de risque pour soutenir le démarrage et le développement des entreprises technologiques en IA. En mars 2017, par l'entremise d'Investissement Québec, il a engagé 15 millions de dollars dans la capitalisation du fonds RV Orbite Montréal consacré au financement d'entreprises technologiques aux stades d'amorçage et de démarrage. Les secteurs visés par le fonds comprennent notamment les technologies de l'information (TI), les technologies avancées et les technologies liées à l'IA telles que l'Internet des objets, les données massives, la robotique, la voiture connectée, la réalité virtuelle, la santé numérique, les technologies financières et les villes intelligentes. En outre, la Caisse de dépôt et placement du Québec (CDPQ) a annoncé, en mars 2019, un investissement de 250 millions de dollars pour la création d'un fonds de capital de risque destiné à soutenir les entreprises

québécoises spécialisées en IA. De fait, l'intensification des activités de financement par capital de risque ces dernières années montre bien la vigueur de l'écosystème de l'IA au Québec.

Le potentiel transformateur et les retombées incontestables de l'IA

L'IA est une technologie de portée transversale qui promet de grandes transformations pour les secteurs public et privé. Les avantages économiques et sociaux d'un secteur puissant de l'IA au Québec sont immenses (Conseil consultatif sur l'économie et l'innovation, 2017). Les technologies d'IA ont un impact majeur sur de nombreux domaines de l'économie numérique et ouvrent la voie à des solutions particulièrement prometteuses, notamment dans les domaines de la fabrication, de la santé, du transport et de la sécurité. Les multiples applications de l'IA pour optimiser les procédés industriels dans le secteur manufacturier permettront notamment d'accroître la productivité et d'offrir des produits à haute valeur ajoutée et de meilleure qualité.

Par ailleurs, les applications d'IA peuvent entraîner des avantages spectaculaires sur le plan social, plus précisément des progrès dans les soins de santé, l'éducation, l'environnement, la sécurité hydrique et alimentaire ainsi que la prévision des épidémies et des catastrophes naturelles. Elles peuvent aussi aider à réduire la fracture numérique et à créer une société plus inclusive grâce à la numérisation à grande échelle des activités humaines (OCDE, 2018).

Des effets transformateurs à l'échelle de l'entreprise et des secteurs

L'IA ouvre de nouvelles avenues aux entreprises et aux gestionnaires. D'une manière générale, les applications de l'IA permettent aux entreprises de rendre leurs infrastructures intelligentes pour récolter des données et prendre de meilleures décisions, de renforcer le niveau de sécurité de leurs terminaux, d'améliorer l'expérience de leurs clients grâce à des interactions et des produits plus pertinents et personnalisés, de créer de nouveaux modèles d'affaires pour perfectionner leurs structures de coûts et de revenu, et de recruter les talents clés dont elles ont besoin pour croître

et prospérer. L'IA peut ainsi permettre aux entreprises de devenir plus profitables, plus flexibles, moins hiérarchiques et plus souples, en modifiant notamment la nature du travail et des relations entre l'humain et la machine et en augmentant l'autonomie des équipes, la polyvalence, l'organisation horizontale et les pratiques innovantes et participatives.

En revanche, la réussite de l'intégration de l'IA au cœur du système d'information de l'entreprise nécessite toujours d'investir dans les infrastructures numériques, le recrutement de ressources spécialisées en TIC ainsi que la récolte et l'agrégation des données d'apprentissage nécessaires à l'entraînement des algorithmes d'IA. La collecte et la préparation des données sont des étapes clés de tout projet d'IA, car ce sont elles qui vont alimenter les algorithmes et permettre au système de fournir un résultat.

Voyons maintenant en quoi les nouvelles technologies d'IA remettent en cause les systèmes de production actuels dans plusieurs secteurs, par exemple ceux de la santé, des transports, de la fabrication, de la finance et de la sécurité.

Le domaine de la santé

L'IA inspire de grandes avancées technologiques et ses effets se font ressentir dans plusieurs secteurs clés de l'économie québécoise, dont celui de la santé (Chambre de commerce du Montréal métropolitain, 2018). Les progrès de l'IA dans ce domaine devraient permettre d'analyser des quantités massives de données pour produire des diagnostics, déterminer les traitements adaptés, fournir des services de santé de manière préventive et mettre au point des outils d'assistance et d'aide à la décision en matière médicale⁵. La convergence entre la robotique et l'analyse des données conduira à des prises en charge de meilleure qualité, à des accompagnements plus poussés et à des opérations chirurgicales plus sûres. Les avancées en apprentissage automatique devraient également stimuler la découverte et le développement de nouveaux médicaments par l'exploration de données et de publications scientifiques (OCDE, 2018).

Le système de santé et de services sociaux du Québec absorbe actuellement près de 50 % des dépenses de programmes du gouvernement. Face au vieillissement de la population, à l'érosion du nombre de travailleurs d'expérience et à l'augmentation des coûts de la santé au Québec, l'intégration

des nouvelles technologies numériques pourrait permettre d'accroître l'efficacité et la soutenabilité des services et d'améliorer l'accès aux soins. Le créneau porteur de l'IA ouvre la voie à de nombreuses applications dans le domaine de la santé, notamment grâce à la mise en œuvre de moyens d'automatisation (par exemple la prédiction et l'optimisation des flux de patients et de matériel, les outils de gestion des effectifs, la simplification du parcours des patients et les dossiers de santé électroniques connectés) et de la médecine à distance (par exemple les consultations à distance et le suivi des patients à distance).

La mise en application de l'IA dans les hôpitaux et dans les cliniques privées est l'un des sujets prioritaires depuis plusieurs années maintenant dans le secteur de la santé au Québec. Parmi les initiatives importantes visant à répondre à cette priorité, on peut citer les activités du Bureau de l'innovation en santé et en services sociaux et la création de l'École de l'IA en santé du Centre hospitalier de l'Université de Montréal, qui a eu lieu en novembre 2018, ainsi que le programme de prêts participatifs BioMed Propulsion, qui fournit du soutien financier aux entreprises du secteur des sciences de la vie, notamment pour des projets d'IA en technologies médicales.

Les transports et la logistique

L'intégration de l'IA a déjà un impact majeur sur les transports avec l'apparition de dispositifs de conduite autonome et de calcul d'itinéraires en fonction des données de circulation. Le développement des réseaux de neurones profonds est l'un des principaux facteurs qui ont favorisé les avancées réalisées sur le front des véhicules autonomes au cours des 10 dernières années, notamment grâce à la vision par ordinateur⁶. L'IA permet en outre d'améliorer l'efficacité des chaînes logistiques liées aux réseaux de transport ferroviaire et routier et aux activités portuaires, et d'optimiser l'utilisation des infrastructures existantes en examinant l'ensemble du transport de personnes et de marchandises de manière globale. Au Québec, le CIRRELT, affilié à IVADO, joue un rôle très actif dans le domaine de l'optimisation des réseaux logistiques et des réseaux de transport basée sur l'IA.

Les services financiers

Pour répondre aux nouvelles attentes de la clientèle, les institutions financières se sont tournées vers la numérisation de leurs activités dans le but d'améliorer leur efficacité opérationnelle, d'abaisser leurs coûts d'exploitation et d'optimiser les interactions avec leurs clients. Mais si cette tendance à la numérisation a progressé ces dernières années, le recours à l'IA s'avère désormais déterminant pour conserver leur avance en matière de performance et de relation client. Les applications de l'IA dans le domaine de la banque et de l'assurance sont multiples, comprenant notamment la gestion des centres de relation client, les analyses prédictives, les assistants personnels, les agents conversationnels (*chatbots*), les systèmes experts de détection des fraudes et les modèles de notation de crédit basés sur l'IA. L'emploi de ces outils d'IA concerne en effet des applications diverses et recouvre une grande variété de fonctions (efficacité opérationnelle, relation client, développement commercial, etc.).

Au Québec, le secteur financier et bancaire pourrait constituer l'un des plus propices à une application rapide de l'IA. Les entreprises qui se spécialisent dans les services financiers (paiement, assurances, investissement, etc.) sont bien placées pour tirer profit des occasions offertes par le développement de l'IA, entre autres grâce à l'exploitation des données de leurs propres clients et à leurs atouts technologiques (maîtrise de l'IA, infrastructures en TIC de pointe, personnalisation des offres, etc.). Le secteur financier québécois emploie près de 150 000 personnes dans plus de 7 150 entreprises. L'industrie représente à elle seule plus de 6 % du PIB de la province (Finance Montréal, 2019). Le Québec et la grande région de Montréal sont reconnus mondialement comme un pôle d'excellence en finance.

La sécurité

En matière de cybersécurité, les technologies d'IA peuvent améliorer les renseignements et les prévisions sur les cybermenaces et renforcer la protection. Elles peuvent également accélérer la détection des attaques et les délais de réponse, tout en réduisant le besoin d'experts humains en cybersécurité. L'IA se révèle particulièrement efficace contre les cyberattaques et l'usurpation d'identité par le biais de l'analyse des tendances et des anomalies. En mettant à profit l'IA et l'analytique avancée

pour traiter de grandes quantités de données internes et externes, les technologies de cybersécurité peuvent générer des perspectives prédictives et concrètes qui aideront les entreprises et les organisations à prendre de meilleures décisions liées à la cybersécurité et à protéger leurs actifs et leurs infrastructures contre les cyberattaques, dont la croissance est exponentielle et dont les répercussions sont de plus en plus coûteuses.

L'IA offre en outre une gamme étendue d'applications de sécurité ne se limitant pas à la cybersécurité. Elle constitue en effet un puissant outil d'identification pour les services de police, notamment, grâce à la reconnaissance faciale qui exploite d'importants réseaux de caméras de surveillance. Lors de catastrophes, l'IA pourrait permettre une optimisation de la planification et du déploiement des ressources par les organismes de secours, les agences internationales et les organisations non gouvernementales.

Le secteur manufacturier

L'IA fait partie des technologies sur lesquelles s'appuient l'industrie 4.0 (la transformation numérique des entreprises manufacturières), l'Internet des objets⁷, la fabrication additive (impression 3D) et la robotique. Elle constitue un facteur essentiel pour réussir la transformation numérique des entreprises manufacturières de toutes tailles qui font des investissements pour l'acquisition et l'intégration de nouvelles technologies numériques dans l'ensemble de leur chaîne de valeur.

L'accélération de l'innovation manufacturière due à l'IA, grâce à l'automatisation des processus, réduit les coûts et les délais de production des entreprises, leur permettant d'offrir des produits à haute valeur ajoutée et de meilleure qualité. Les applications sont multiples et comprennent notamment la robotique de pointe basée sur l'IA, l'optimisation du débit et de la qualité des chaînes de production, l'amélioration du processus de maintenance par le biais de la maintenance prédictive, le renforcement de la sécurité des employés grâce à la vidéo augmentée et aux équipements dédiés intelligents, la production manufacturière personnalisée (à la demande) ainsi qu'une meilleure gestion des relations avec les fournisseurs.

Au Québec, la part du PIB du secteur manufacturier dans l'économie était de 14 % en 2017 (STIQ, 2018), soit une valeur ajoutée de 46 milliards de dollars en dollars constants de 2007. Malgré le déclin qu'elle a connu au cours des 10 dernières années, l'industrie manufacturière demeure l'un

des secteurs qui produisent le plus de richesse au Québec. Les possibilités combinées de l'IA, de l'informatique en nuage, des communications mobiles, de l'Internet des objets et de l'informatique quantique pour l'analyse des mégadonnées pourraient entraîner une transformation sans pareille du secteur manufacturier québécois en favorisant la flexibilité et l'efficacité de sa production, et en permettant une analyse sans précédent à l'échelle des chaînes de valeur mondiales (CVM). En définitive, le secteur manufacturier québécois est bien positionné pour tirer profit des avancées technologiques de l'IA grâce, notamment, à une série d'initiatives en cours comme le Manufacturier innovant et le programme de développement du Réseau des centres d'expertise industrielle 4.0 (RCEI). On entend d'ailleurs parler, depuis quelques années, d'usines intelligentes, de machines et d'infrastructures connectées au nuage (*cloud*), ou encore d'« intégration homme-machine ». L'IA fait partie de ces technologies qui transforment déjà l'industrie manufacturière et vont encore la transformer à l'avenir.

Les retombées économiques attendues de l'IA

L'IA est une technologie générique qui promet d'accélérer la création de richesse, de diminuer les coûts, d'accroître la productivité des entreprises et d'effectuer une meilleure affectation des ressources dans tous les secteurs de l'économie. Elle devrait également stimuler la productivité de la science dans un contexte où le flux de nouvelles idées et d'innovations se tarit et où la productivité de la recherche scientifique continue à baisser dans diverses régions de l'OCDE (OCDE, 2018).

Au Québec, les méthodes d'optimisation traditionnelles ont atteint leur limite, comme le prouve le plateau de productivité auquel sont confrontées de nombreuses industries. En 2017, comparativement à l'Ontario, le Québec affichait un écart de productivité de l'ordre de 10 %. Celui-ci est encore plus marqué avec le voisin américain : un écart de presque 27 % (Deslauriers, Gagné et Paré, 2019b). Au regard de cet enjeu, il est clairement établi que l'innovation, le capital humain et les investissements des entreprises en machines et en équipements, et plus particulièrement l'acquisition et l'intégration des TIC, constituent des éléments clés de l'accroissement de la productivité au Québec.

Les multiples applications de l'IA dans le secteur manufacturier québécois peuvent aider les entreprises à optimiser les processus de conception des produits et à améliorer de manière significative l'efficacité de la chaîne de production et d'approvisionnement sur tous les plans. Dans un futur proche, l'automatisation industrielle liée aux techniques avancées de l'IA et à la robotique de pointe améliorera considérablement la performance des machines en usine et permettra de faire des gains de productivité là où l'intervention humaine sera réduite dans les tâches routinières et les travaux répétitifs nécessitant une faible qualification.

Une chose est sûre, les technologies liées à l'IA tiennent une place cruciale dans la croissance de l'industrie et de l'économie de façon plus générale. Les analyses du cabinet de conseil Accenture estiment que l'IA pourrait doubler les taux de croissance économique annuels et augmenter jusqu'à 40 % la productivité du travail dans les pays développés d'ici 2035, ce qui permettrait d'accroître de près de 38 % la rentabilité des entreprises (Purdy et Daugherty, 2016). Les gains pourraient également être importants dans le secteur public sur la même période : l'IA permettrait aux secteurs publics de 16 grands pays développés d'engranger 939 milliards de dollars américains en valeur supplémentaire, soit une augmentation d'environ 25 % de la productivité restituée aux contribuables (Accenture Conseils, 2018; Purdy et Daugherty, 2017). La firme internationale PwC pronostique une croissance de 15 000 milliards de dollars américains de la production économique mondiale jusqu'en 2030, attribuable à l'IA (CB Insights et PwC Canada, 2018). Les gains de productivité du travail devraient représenter plus de la moitié (55 %) de la totalité des bénéfices économiques générés par l'IA au cours de la période allant de 2016 à 2030.

Ces ordres de grandeur ne font toutefois pas l'unanimité et les retombées économiques de cette nouvelle industrie disruptive sont par nature difficilement prévisibles (Lomazzi, Lavoie-Moore, Gélinas et Hébert, 2019). Comme l'IA n'en est qu'à ses balbutiements, les données empiriques sur de telles retombées ne sont pas encore disponibles. Dans l'ensemble, d'après Aghion, Jones et Jones (2017), l'IA peut stimuler la croissance économique en remplaçant la main-d'œuvre, une ressource limitée, par du capital, une ressource non limitée, tant pour la production de biens et services que pour celle des idées. Pour les auteurs de l'étude, l'IA peut toutefois inhiber la croissance si elle est associée à une politique concurrentielle inadaptée qui limiterait l'accès et l'innovation en IA à certaines entreprises dominantes au sein de l'économie.

Les retombées économiques attendues de l'IA pour le Québec découlent principalement des bénéfices potentiels de la commercialisation de ses solutions, de la diffusion de ses technologies dans toutes les sphères de l'économie québécoise et de l'établissement à Montréal de grandes entreprises technologiques actives dans ce domaine comme Google, Facebook, Microsoft, IBM, Thales, Samsung, Ericsson, Fujitsu, etc.

Même si l'ampleur des retombées économiques de l'IA à l'échelle mondiale varie considérablement, il n'en demeure pas moins que les investissements publics et privés dans la recherche en IA et dans la création d'un écosystème dédié au sein de la province permettront de générer des résultats économiques significatifs pour le Québec par la création d'emplois locaux, de PIB, d'exportations et de recettes fiscales pour les gouvernements. La portion de ces retombées locales qui constituent des revenus pour les gouvernements est engrangée sous forme d'impôts, de taxes et de parafiscalité⁹, ces montants étant payés par les travailleurs salariés.

Les retombées économiques positives de l'IA sont récurrentes et pourraient croître au cours des années à venir, dans la mesure où la production axée sur l'IA augmente et où les innovations technologiques se poursuivent.

Enjeux et défis liés au développement de l'IA au Québec

Encourager les entreprises québécoises à repousser les limites de l'IA

L'un des principaux défis que le Québec doit relever afin de rendre son économie plus compétitive est d'assurer le recours aux technologies de l'IA dans l'ensemble de ses secteurs d'activité. En dépit d'une bonne disposition du gouvernement à l'égard du virage 4.0 et du transfert de connaissances en IA à l'industrie, les entreprises québécoises ont du mal à adopter les technologies de pointe qui pourraient considérablement améliorer leur productivité et leur compétitivité. Selon l'Enquête sur les technologies de pointe (ETP) effectuée par Statistique Canada pour la période allant de 2012 à 2014,

la proportion des entreprises de petite taille recourant aux technologies de pointe est relativement faible au Québec, à peine égale au tiers des entreprises de cette catégorie (Deslauriers, Gagné et Paré, 2019a).

Les constats sont sensiblement les mêmes pour les technologies basées sur l'IA. À l'heure actuelle, l'adoption de ces technologies est assez embryonnaire au Québec, et le niveau d'intégration des applications d'IA est plus élevé chez les grandes entreprises. Selon une enquête menée en 2018 par la firme Novipro, seulement 23 % des entreprises québécoises envisagent d'investir en IA au cours des prochaines années, comparativement à 66 % pour les entreprises américaines. Lorsque sondées sur la nature des obstacles qui les empêchent d'utiliser l'IA pour résoudre leurs enjeux, les entreprises québécoises invoquent souvent un manque de compréhension de ses avantages et de ses applications potentielles, une méfiance à l'égard de ses applications, une faiblesse des fournisseurs à sensibiliser et à démontrer la valeur de l'applicabilité de leurs offres, un manque d'expertise et l'absence d'une stratégie claire dans ce domaine, un accès insuffisant au soutien des gouvernements pour répondre véritablement à leurs besoins ainsi que des défis de mise en œuvre et des problèmes liés à la qualité et à la structuration des données requises pour entraîner ou actualiser les algorithmes et concevoir des applications performantes.

Pour faciliter l'adoption de l'IA par les entreprises du Québec, des canaux de transfert technologique devront être considérés afin d'assurer sa diffusion dans l'ensemble du tissu industriel. Par exemple, IVADO, le MILA et SCALE AI devront tous participer à ce transfert technologique auprès d'entreprises québécoises existantes. Il convient de mentionner, enfin, que le gouvernement du Québec a posé des gestes concrets au chapitre de l'intégration des technologies d'IA. Le plan budgétaire de mars 2019 du gouvernement provincial prévoit une somme totale de 65 millions de dollars sur cinq ans pour appuyer l'adoption de l'IA en entreprise et dans les organisations publiques.

Un bassin de talents qualifiés en IA

Dans les années à venir, la demande de talents en IA devrait poursuivre sa progression, puisque de plus en plus d'organisations se positionnent pour tirer profit du potentiel de cette science. De plus, l'utilisation croissante des applications d'IA dans pratiquement tous les secteurs de l'économie

est en train de changer la nature tendancielle des compétences requises par le marché du travail et les types d'emplois disponibles : émergence de nouveaux profils d'emplois, notamment dans le domaine du développement des algorithmes d'apprentissage automatique et d'autres innovations numériques, création d'emplois axés sur des tâches spécialisées, nouveaux modes d'organisation du travail, collaboration entre l'IA pointue et les humains, notion de responsabilité, etc. Pour assurer l'acceptabilité sociale de l'IA, il sera donc crucial de garantir aux travailleurs la possibilité de s'adapter et d'avoir accès à de nouvelles ouvertures et à une formation en conformité avec les besoins nouveaux qu'engendre l'IA sur le marché du travail.

À l'échelle du Québec, la demande de talents dans le numérique et en IA de la part des différentes organisations de l'écosystème montréalais est présentement en forte croissance. Bien que Montréal possède un riche bassin de talents dans le domaine de l'IA, la demande actuelle excède l'offre. Les grandes entreprises numériques présentes dans la ville, qui investissent considérablement dans le développement et l'utilisation de l'IA, tirent parti du bassin de talents disponibles et exercent, par le fait même, une forte pression sur la demande de main-d'œuvre qualifiée dans ce secteur. Il importe également de souligner que l'attraction et la rétention des talents en sciences numériques constituent une préoccupation majeure pour les jeunes entreprises en IA de la région métropolitaine de Montréal. Les données actuellement disponibles pour le Québec indiquent que plus de 250 000 travailleurs spécialisés sont issus du domaine des TIC, incluant le développement de logiciels, le multimédia, les services infonuagiques et l'IA (MFQ, 2018).

Dans son rapport intitulé *La prochaine vague de talents : naviguer le virage numérique. Perspectives 2021*, publié en 2017, le Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC) prévoit que d'ici 2021, environ 44 000 postes de travailleurs spécialisés en TIC seront à combler au Québec, et que le nombre total d'emplois en TIC s'élèvera à 336 200 (CTIC, 2017). Le CTIC identifie cinq technologies clés qui transformeront le secteur des TIC : la réalité virtuelle et augmentée, la technologie mobile 5G, l'impression 3D, les chaînes de blocs et l'IA. Sans surprise, l'étude révèle que la pression concurrentielle que subissent les employeurs pour trouver de nouveaux talents en TIC demeure extrêmement élevée au Québec.

Alors que les applications de l'IA commencent à se déployer au Québec, le recrutement et la rétention des talents nécessaires à la production et à l'intégration de l'IA dans les entreprises requièrent qu'un effort particulier soit fait pour accroître l'offre de formation initiale dans les domaines du numérique et de l'IA, et pour donner une plus grande importance aux STIM dans l'éducation secondaire et postsecondaire ainsi qu'au perfectionnement professionnel de la main-d'œuvre actuelle. Les programmes de formation de base offerts par les établissements d'enseignement ainsi que la formation continue et les formations visant le perfectionnement doivent être axés sur des exigences en mutation. Tous les acteurs du domaine de la formation doivent fournir des efforts conjoints pour assurer une transition équitable des travailleurs au fur et à mesure du déploiement de l'IA, notamment grâce à des programmes de formation pensés pour être suivis tout au long de la vie active, à du soutien aux personnes affectées par les suppressions de postes et à un accès facilité à de nouvelles possibilités sur le marché du travail.

La présence d'une main-d'œuvre qualifiée disponible à court et à long terme repose également sur des initiatives visant à encourager davantage de jeunes à opter pour des carrières dans le domaine de l'IA, à attirer des talents internationaux de premier plan et à aligner les politiques d'immigration sur les besoins de secteurs prometteurs où le Québec jouit d'atouts fondamentaux, comme le sont le numérique et l'IA.

Éthique et gouvernance en matière d'IA

Le débat international sur l'IA s'est fortement intensifié au cours des dernières années. Si les bénéfices sont réels et à portée de main, le développement rapide de cette nouvelle technologie suscite des craintes tout aussi importantes.

Les principaux risques posés par l'IA à court terme sont éthiques et portent particulièrement sur la responsabilité des décisions des algorithmes, la protection de la vie privée et des libertés et la transparence de la décision (non discriminatoire et à caractère explicable ; par exemple le risque de voir les algorithmes, et les données qui les alimentent, renforcer les inégalités et les préjugés existants, notamment en matière de race, de sexe et de catégorie sociale)⁹. L'IA et la robotisation posent d'importantes questions éthiques, tant au moment de la conception des systèmes numériques et

des algorithmes que lors de leur utilisation. L'accès à de grandes quantités de données, bien que primordial pour le développement et le rendement de l'IA, soulève aussi de nombreux enjeux relatifs à la protection des renseignements personnels, notamment sur les plans de l'éthique (consentement) et de la sécurité. À l'évidence, la sensibilité individuelle aux usages des données augmente, et nuit à la confiance en l'IA.

Au Québec, l'avènement d'une IA éthique et responsable dépend de la capacité des acteurs de l'écosystème à envisager les impacts sociaux potentiels de son développement, à en évaluer le degré d'acceptation par la société et à coconstruire, avec les citoyens, les conditions de l'émergence d'une IA désirable, responsable et transparente.

À cet égard, le gouvernement du Québec a appuyé plusieurs initiatives majeures pour accroître les connaissances et entamer une réflexion multidisciplinaire sur les enjeux éthiques et sociétaux liés aux progrès récents de l'IA. Parmi ces initiatives, soulignons l'organisation d'un forum sur le développement socialement responsable de l'IA à Montréal et le dévoilement de la Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA en décembre 2018. Ce manifeste propose un cadre éthique pour le développement et le déploiement de l'IA et vise à en favoriser l'accès universel. Le gouvernement du Québec a également financé la création de l'OBVIA, l'Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'IA et du numérique. Cet organisme a pour mission principale de soutenir la recherche, la formation et la mobilisation des connaissances sur les répercussions et les défis posés par le développement de l'IA et du numérique dans toutes les sphères de la société.

Afin de poursuivre conjointement leurs efforts en matière de développement éthique et inclusif de l'IA, les gouvernements du Québec et du Canada ont annoncé en septembre 2019 la création à Montréal d'un centre d'expertise international pour l'avancement de l'IA dans le cadre du Partenariat mondial sur l'IA (PMIA)¹⁰. De plus, les deux paliers de gouvernement prévoient adopter prochainement un protocole d'entente qui permettra au Québec d'obtenir un rôle particulier à titre de partenaire essentiel dans le développement d'une IA utilisée de façon responsable au sein de l'équipe représentant le Canada auprès du PMIA (Ministère des Relations internationales et de la Francophonie). Pour le gouvernement du Québec, la création d'un centre d'expertise international pour l'avancement de l'IA à Montréal

constitue l'aboutissement d'une démarche structurée visant à doter la métropole d'un organisme international qui promeut le développement et l'utilisation d'une IA fondée sur l'éthique, la responsabilité et le bien collectif.

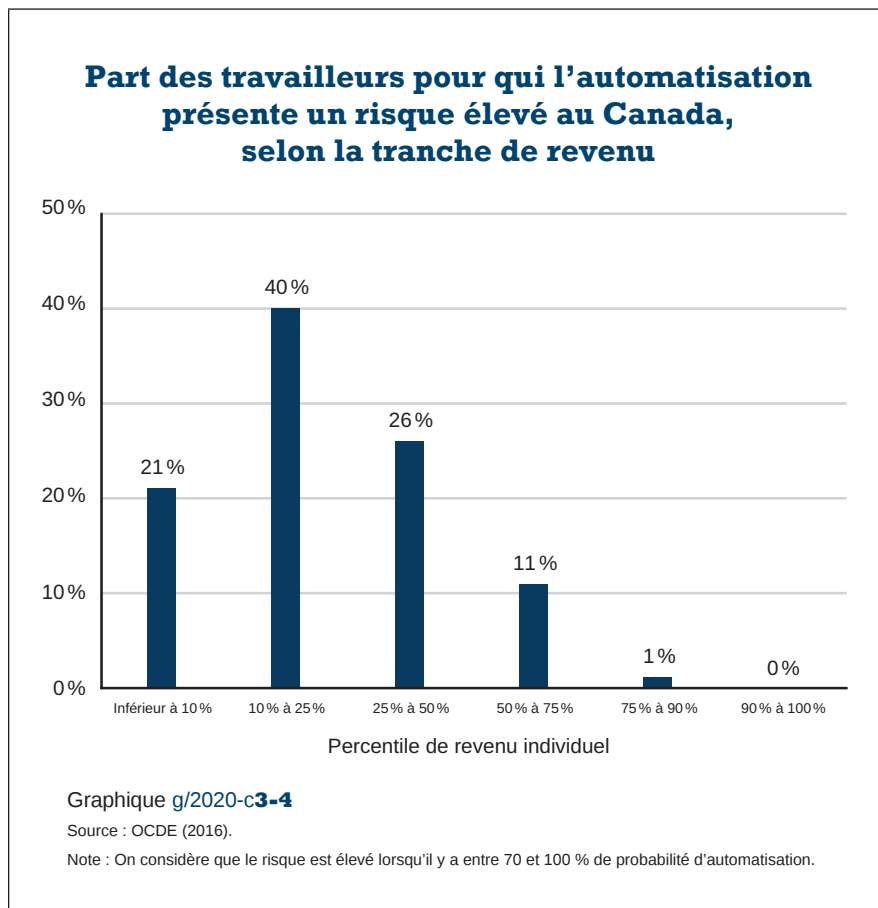
Somme toute, la place de l'éthique dans le débat sur l'IA a pris aujourd'hui une importance telle qu'il paraît nécessaire d'instaurer des mécanismes de gouvernance et de pilotage à même d'apporter des réponses aux préoccupations du public ainsi qu'aux risques inhérents à ces technologies. Les enjeux relatifs au partage de la gouvernance participative entre institutions publiques et privées, de même que les risques qui accompagnent ce partage, devront être abordés. Actuellement, la gouvernance et la réglementation des technologies émergentes, comme l'IA et l'apprentissage automatique, sont rudimentaires dans bien des pays de l'OCDE. En revanche, grâce à une série d'initiatives visant à surveiller et à atténuer les risques associés à l'IA, le Québec fait figure de précurseur en matière de recherche et d'innovation en IA et de réflexion sur les enjeux éthiques et sociétaux que celle-ci soulève (Dilhac, Abrassart et Voarino, 2018).

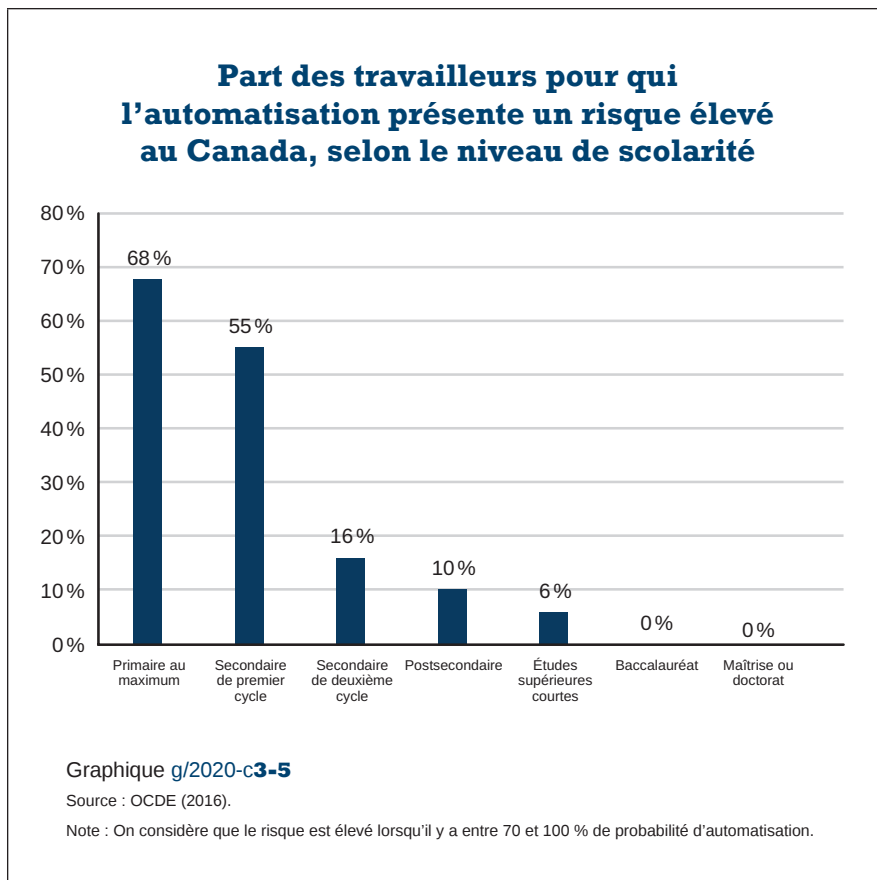
L'incidence de l'IA sur l'emploi

L'incidence de l'IA sur les emplois est une autre préoccupation actuelle. À mesure que la robotique, l'IA et la transformation numérique se diffusent dans le monde du travail, de nombreuses inquiétudes apparaissent quant aux conséquences de ces technologies sur la quantité d'emplois disponibles. Certains dressent même un tableau particulièrement sombre du futur, et considèrent que l'automatisation pourrait faire disparaître près de la moitié des emplois au cours des prochaines décennies (Frey et Osborne, 2017).

Selon une étude de l'OCDE (Arntz, Gregory et Zierahn, 2016), la prévision quant à la proportion d'emplois menacés par l'automatisation au Canada se situerait à 39 % ; en revanche, seulement 9 % des emplois considérés seraient exposés à un risque élevé d'automatisation (de 70 à 100 % de probabilité d'automatisation). Les graphiques 3-4 et 3-5 jettent davantage de lumière sur ces données et donnent un aperçu des emplois pour lesquels l'automatisation présente un risque élevé, en fonction du revenu et du niveau de scolarité. Comme on peut le constater, ce sont surtout les travailleurs peu instruits et à faible revenu qui seront confrontés

au risque de voir leurs emplois automatisés; les compétences de ces travailleurs seront soumises à une obsolescence plus rapide et ils vivront des changements d'emploi plus importants dans les secteurs de l'économie canadienne où ils œuvrent. Et, bien évidemment, le secteur manufacturier est particulièrement exposé.





Selon une étude réalisée par l'Institut C.D. Howe (Oschinski et Wyonch, 2017), environ 1,4 million des emplois au Québec seraient potentiellement automatisés ou pourraient être profondément transformés du fait d'une automatisation croissante, soit 34 % du total actuel. Les employés exposés à un risque d'automatisation de leurs tâches ou susceptibles de voir leur emploi transformé comprendraient les nouveaux chômeurs technologiques, les personnes occupant un emploi remanié (ou partiellement automatisé) ainsi que les personnes en situation de sous-emploi ou en quête de nouvelles formations.

En dépit de perspectives d'avenir incertaines, un chômage technologique de masse sous l'effet de la transformation numérique et de l'automatisation semble peu vraisemblable. De fait, selon les estimations récentes de l'OCDE (2019), 14 % des emplois actuels dans les pays membres risquent d'être entièrement automatisés au cours des 15 à 20 prochaines années, et 32 % supplémentaires pourraient être profondément transformés du fait de l'automatisation des tâches – ce qui est largement inférieur aux chiffres avancés par d'autres chercheurs, certains estimant que l'automatisation pourrait faire disparaître près de la moitié des emplois au cours des prochaines décennies (Frey et Osborne, 2017).

En ce qui concerne l'impact des robots sur l'emploi net, les constats sont mitigés. Acemoglu et Restrepo (2017) rendent compte d'effets négatifs : un robot supplémentaire par millier de travailleurs réduirait le taux d'emploi de 0,37 point de pourcentage aux États-Unis, soit une perte de 6,2 emplois par robot supplémentaire. Toutefois, Graetz et Michaels (2018) considèrent que l'automatisation n'a pas d'effet sur l'emploi de manière générale. Dans ce dernier cas, il appert que le rythme de la création d'emplois dépasserait celui de la disparition d'emplois attribuable à une utilisation accrue des robots industriels.

Le défi futur consiste probablement à continuer d'évaluer l'impact des nouvelles technologies sur la quantité et la qualité des emplois ainsi que sur l'inclusivité, et d'étudier les actions qui doivent être menées pour renforcer la résilience et la capacité d'adaptation du marché du travail.

Conclusion

Il ne fait aucun doute que les technologies d'IA seront d'ordre transformationnel. Des avancées spectaculaires seront réalisées dans un avenir proche, une richesse substantielle sera créée et bon nombre de nos structures sociales et institutionnelles seront transformées. Et bien que les avancées technologiques de l'IA et la montée en puissance du numérique suscitent des inquiétudes en ce qui a trait au remplacement des travailleurs et aux questions éthiques liées à l'adoption de ces technologies, le recours à l'IA s'avère désormais déterminant pour accélérer l'innovation et le développement économique et pour conserver l'avance des entreprises

en matière de performance et de relation client. L'IA pourrait également constituer un vecteur puissant de progrès sociétal et de création de valeur partagée.

Au cours des dernières années, l'IA a progressé à un rythme effréné au Québec et surtout à Montréal, atteignant un point où elle peut maintenant produire une véritable valeur commerciale. Les progrès accomplis dans les domaines de l'IA et de l'apprentissage automatique permettront aux entreprises québécoises d'exploiter des données, d'identifier des tendances et de prendre des décisions plus judicieuses pour accroître les capacités humaines. Ces fonctionnalités leur offriront de nouvelles sources de revenus ainsi que de nouvelles méthodes pour, d'une part, attirer et fidéliser leurs clients et, d'autre part, optimiser leur efficacité opérationnelle. Sur le plan macroéconomique, les multiples applications de l'IA permettront notamment d'accroître la productivité et d'accélérer la croissance des entreprises dans tous les secteurs de l'économie, mais ce sont surtout ceux de la santé, de la fabrication, des transports et de la finance qui devraient en bénéficier le plus (Chambre de commerce du Montréal métropolitain, 2018).

Aujourd'hui, le Québec est reconnu à l'échelle internationale comme un chef de file dans le domaine de l'IA, à la faveur d'un ensemble diversifié de centres de recherche spécialisés dans cette discipline et en science des données, d'un écosystème dynamique d'entreprises en démarrage, et d'un investissement croissant des grands acteurs internationaux du développement du domaine, comme Google, Facebook, Microsoft et IBM. Le secteur de l'IA bénéficie également d'un financement diversifié et abondant, ce qui peut être considéré comme un atout important pour son développement. L'ensemble de ces éléments contribue à créer un environnement favorable à la demande pour des technologies basées sur l'IA.

Toutefois, la transformation numérique et le gigantesque potentiel de l'IA s'accompagnent de défis importants, tels que le manque de confiance et les questions éthiques soulevées, la propriété et la confidentialité des données, les risques en matière de sécurité, les craintes d'exacerbation des inégalités sociales (distorsion algorithmique), l'opacité et les effets perturbateurs de ces technologies sur l'emploi. Face à ces défis, il est donc essentiel que le gouvernement du Québec continue à travailler activement pour encourager la recherche systématique sur les implications éthiques de l'IA, pour accroître la résilience du marché du travail face aux perturbations engendrées par les technologies numériques et pour appuyer la recherche

sur les interactions homme-machine (IHM) et sur l'explicabilité des systèmes d'IA basés sur l'apprentissage automatique. À long terme, l'explicabilité de ces technologies est l'une des conditions de leur acceptabilité sociale. Enfin, il sera nécessaire d'adapter et de réorienter les systèmes d'éducation et de formation afin de s'assurer que les jeunes et les adultes au travail possèdent les bonnes compétences pour évoluer dans un environnement axé sur l'IA, et de veiller à ce que les avantages de celle-ci soient partagés largement et équitablement.

En conclusion, l'IA pourrait être le vecteur économique de notre époque, et la collaboration entre les travailleurs et les machines (intelligentes) ainsi que la combinaison de leurs compétences sont primordiales. C'est de cette collaboration et de cette combinaison que découleront les meilleures applications de cette technologie transformatrice.



Références

Accenture Conseils. (2018). *Intelligence artificielle, des conséquences réelles – Les services publics à l'ère de l'intelligence artificielle*. Repéré à : https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-88/Accenture-Artificial-Intelligence-Genuine-Impact.pdf.

Acemoglu, D. et Restrepo, P. (2017). *Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets* (23285) [rapport de recherche]. The National Bureau of Economic Research (NBER). doi:10.3386/w23285.

Aghion, P., Jones, B. F. et Jones, C. I. (2017, octobre). *Artificial Intelligence and Economic Growth* (23928) [rapport de recherche]. NBER. doi:10.3386/w23928.

Arntz, M., Gregory, T. et Zierahn, U. (2016). *The risk of automation for jobs in OCDE countries: A comparative analysis*. Document de travail de l'OCDE sur les affaires sociales, l'emploi et les migrations, 189. Éditions OCDE. doi:10.1787/5jlz9h56dvq7-en.

CB Insights et PwC Canada. (2018). *MoneyTree Canada Report*. T3 2018. PwC Canada.

Centre européen de stratégie politique (EPSC). (2018, 27 mars). *The Age of Artificial Intelligence: Towards a European Strategy for Human-Centric Machines* (29) [note stratégique]. Commission européenne. Repéré à : https://www.labparlamento.it/wp-content/uploads/2018/04/epsc_strategicnote_ai.pdf.

Chambre de commerce du Montréal métropolitain. (2018). *L'intelligence artificielle. Un pilier de développement économique pour la métropole*. Repéré à : https://www.ccm.ca/fr/nouvelles/cahier_l-intelligence-artifi-elle-un-pilier-de-developpement-economique-pour-la-metropole/.

Comité d'orientation de la grappe en intelligence artificielle. (2018, mai). *Stratégie pour l'essor de l'écosystème québécois en intelligence artificielle*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation.

L'intelligence artificielle : un puissant levier de développement économique pour le Québec

Conseil consultatif sur l'économie et l'innovation. (2017, septembre). *Agir ensemble : pour un Québec innovant, inclusif et prospère*. Gouvernement du Québec. Repéré à : <http://www.ccei.quebec/fr/rapport-integrateur>.

Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC). (2017, avril). *La prochaine vague de talents : naviguer le virage numérique. Perspectives 2021*. Repéré à : https://www.ictc-ctic.ca/wp-content/uploads/2017/04/ICTC_Perspectives-2021.pdf.

Deslauriers, J., Gagné, R. et Paré, J. (2019a). *Manufacturier 4.0. Dynamiser l'activité manufacturière au Québec*. Centre sur la productivité et la prospérité (CPP) – Fondation Walter J. Somers, HEC Montréal. Repéré à : <https://cpp.hec.ca/wp-content/uploads/2019/09/PP-2019-02.pdf>.

Deslauriers, J., Gagné, R. et Paré, J. (2019b). *Productivité et prospérité au Québec. Bilan 2018*. Centre sur la productivité et la prospérité (CPP) – Fondation Walter J. Somers, HEC Montréal. Repéré à : <https://cpp.hec.ca/wp-content/uploads/2019/03/PP-2018-01.pdf>.

Dilhac, M.-A., Abrassart, C. et Voarino, N. (2018). *Rapport de la Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'intelligence artificielle*. Déclaration de Montréal – IA responsable et Université de Montréal. Repéré à : https://5da05b0d-f158-4af2-8b9f-892984c33739.filesusr.com/ugd/ebc3a3_d806f109c4104c91a2e719a7bef77ce6.pdf.

Dutton, T., Barron, B. et Boscovic, G. (2018, décembre). *L'ère de l'IA : rapport sur les stratégies nationales et régionales en matière d'IA*. Institut canadien en recherches avancées (ICRA). Repéré à : https://www.cifar.ca/docs/default-source/ais-francais/buildinganaiworld_fr.pdf.

fDi Benchmark du *Financial Times*. (2019). *Analyse comparative qui classe les plus grandes villes nord-américaines en fonction de leur capacité à attirer des investissements en intelligence artificielle*.

Finance Montréal. (2019). *Les intelligences du futur dans l'industrie des services financiers [rapport]*. Préparé dans le cadre de la Stratégie métropolitaine sur les compétences du futur du Conseil emploi métropole. Repéré à : https://www.finance-montreal.com/wp-content/uploads/2019/04/565_FM_Rapport_Intelligences-du-futur_F-Web_Simple.pdf.

Frey, C. B. et Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254-280. doi:10.1016/j.techfore.2016.08.019.

Graetz, G. et Michaels, G. (2018). Robots at work. *Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753-767. doi:10.1162/rest_a_00754.

Institut des algorithmes d'apprentissage de Montréal (MILA). (2019, juin). *Plan stratégique. Présentation au conseil d'administration*.

Investissement Québec. (2019, juin). *Montréal, centre mondial de l'intelligence artificielle*. Repéré à : <https://www.investquebec.com/international/fr/secteurs-activite-economique/technologies-information-communications/Montreal-centre-mondial-de-l-intelligence-artificielle.html>.

Lomazzi, L., Lavoie-Moore, M., Gélinas, J. et Hébert, G. (2019, mai). *Financer l'intelligence artificielle, quelles retombées économiques et sociales pour le Québec ?* [note socioéconomique]. Institut de recherche et d'informations socio-économiques (IRIS). Repéré à : https://cdn.iris-recherche.qc.ca/uploads/publication/file/Intelligence_artificielle_IRIS_WEB4.pdf.

Ministère des Finances du Québec (MFQ). (2019a, mars). *Plan budgétaire du Québec. Budget 2019-2020* (p. D.37). Repéré à : <http://www.budget.finances.gouv.qc.ca/budget/2019-2020/>.

MFQ. (2019b, mars). *Dépenses fiscales* (édition 2018, p. C.239). Repéré à : http://www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/AUTFR_DepensesFiscales2018.pdf.

MFQ. (2018, mars). *Plan économique du Québec. Budget 2018-2019* (p. D.47 et D.53). Repéré à : <http://www.budget.finances.gouv.qc.ca/budget/2018-2019/>.

MFQ. (2017, mars). *Plan économique du Québec. Budget 2017-2018* (p. B.104). Repéré à : <http://www.budget.finances.gouv.qc.ca/budget/2017-2018/>.

Ministère des Relations internationales et de la Francophonie. (2019, 6 septembre). *Le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec annoncent la création d'un centre d'expertise international à Montréal pour l'avancement de l'intelligence artificielle*. Repéré à : <http://www.mrif.gouv.qc.ca/fr/salle-de-presse/communiqués/18740>.

Montréal International. (2019, 3 septembre). Communiqué. Repéré à : <https://www.montrealinternational.com/fr/actualites/montreal-meilleur-endroit-en-amerique-du-nord-pour-investir-en-ia/>.

Nilsson, N. J. (2010). *The quest for Artificial Intelligence: A history of ideas and achievements*. Presses universitaires de Cambridge.

OCDE. (2019). *Perspectives de l'emploi de l'OCDE 2019. L'avenir du travail. Éléments marquants*. Repéré à : <http://www.oecd.org/fr/emploi/Perspective-de-emploi-2019-Highlight-FR.pdf>.

OCDE. (2018). *Science, technologie et innovation. Perspectives de l'OCDE 2018. S'adapter aux bouleversements technologiques et sociétaux*. doi:10.1787/sti_in_outlook-2018-fr.

Oschinski, M. et Wyonch, R. (2017, mars). *Future Shock? The Impact of Automation on Canada's Labour Market*. Institut C.D. Howe. Repéré à : https://www.cdhowe.org/sites/default/files/attachments/research_papers/mixed/Update_Commentary%20472%20web.pdf.

Purdy, M. et Daugherty, P. (2017). *How AI boosts industry profit and innovation*. Accenture. Repéré à : https://www.accenture.com/fr-fr/_acnmedia/36dc7f76eab444cab6a7f44017cc3997.pdf.

Purdy, M. et Daugherty, P. (2016). *Why artificial intelligence is the future of growth*. Accenture. Repéré à : https://www.accenture.com/t20170524T055435__w_/ca-en/_acnmedia/PDF-52/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf.

SCALE AI (2017). *Plan stratégique*. Repéré à : https://scaleai.ca/wp-content/uploads/2017/11/SCALE_AI-STRATEGIC_PLAN-FR-FINAL-1.pdf.

STIQ. (2018, mai). *Baromètre industriel québécois. Un portrait unique du secteur manufacturier* (9^e édition). Repéré à : <https://www.stiq.com/wp-content/uploads/2018/05/STIQ-Barom%C3%A8tre-industriel-qu%C3%A9b%C3%A9cois-9e-%C3%A9dition.pdf>.

Notes

1. Les accélérateurs d'entreprises ont pour objectif principal d'accélérer le processus de création d'entreprise et de préparer les entrepreneurs à recevoir un afflux de capitaux. Une distinction essentielle entre les accélérateurs d'entreprises et les incubateurs d'entreprises réside dans le fait que les accélérateurs prennent généralement une participation dans le capital de l'entreprise innovante en démarrage, souvent sous la forme d'un investissement providentiel, plutôt que de percevoir un loyer en contrepartie des services fournis.
2. Les investissements du gouvernement du Québec en infrastructures matérielles (physiques) destinés à promouvoir l'économie numérique ne concernent pas directement et exclusivement le domaine de l'IA. En plus de répondre aux besoins croissants de débits Internet rapides (accès à la connectivité numérique), ces infrastructures favorisent l'expansion de l'Internet des objets, de l'infonuagique et des technologies mobiles.
3. L'acronyme correspond à « Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR) », le nom de l'organisme en anglais, et est utilisé y compris dans les publications en français.
4. Dans le cadre de l'Initiative fédérale des supergrappes d'innovation (ISI), cinq propositions ont été retenues à travers le Canada en vue d'un financement, soit la supergrappe des technologies numériques (située en Colombie-Britannique), la supergrappe des industries des protéines (située dans les Prairies), la supergrappe de la fabrication de pointe (située en Ontario), la supergrappe de l'économie océanique (située au Canada atlantique) et la supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA SCALE AI (située au Québec).
5. Aujourd'hui, l'IA en santé joue un rôle d'assistance. À ce titre, elle permet, par exemple, d'apporter aux médecins une aide au diagnostic ou au choix thérapeutique, ou encore d'interpréter en un temps record et avec une précision inégalée des images médicales.
6. Par contre, cette technologie n'a pas encore atteint un niveau de sûreté tel qu'il soit possible de prévoir avec précision un calendrier pour sa généralisation, qui supposera que les réglementations aient évolué et que les assurances se soient adaptées.
7. L'Internet des objets fait référence à l'intégration de capteurs et de servomoteurs dans des machines et d'autres objets physiques afin de les relier à un réseau Internet.
8. Au Québec, la parafiscalité correspond aux sommes versées à la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), au Fonds des services de santé (FSS), au Régime québécois d'assurance parentale (RQAP) et à Retraite Québec (RQ). Du côté du gouvernement fédéral, ces prélèvements obligatoires correspondent aux contributions au régime d'assurance-emploi (AE).
9. Afin d'accroître la transparence et de réduire au minimum le risque de partialité ou d'erreur, les systèmes d'IA devraient être conçus de façon à permettre à l'être humain de comprendre le fondement de leurs actions. À ce propos, les systèmes d'IA à base d'apprentissage sont couramment dénoncés comme des boîtes noires pour leurs utilisateurs.
10. La création du PMIA constitue un élément clé de la Déclaration franco-canadienne sur l'IA et elle fait suite à la conférence multipartite du G7 sur l'IA qui a eu lieu à Montréal le 6 décembre 2018.