

Mars 2022

Analyse économique des investissements réalisés en intelligence artificielle au Québec



Produit pour le compte du



**Forum
IA Québec**



Table des matières

Avant-propos	2
1. Sommaire	3
2. La recherche et le développement des talents : un point d’ancrage pour la stratégie IA au Québec	8
3. Le développement de l’offre de services en IA : passer de la recherche aux applications concrètes	12
4. Mesurer les impacts de l’adoption à grande échelle de l’IA dans tous les secteurs de l’économie	17

Note au lecteur

Le présent rapport préparé par PricewaterhouseCoopers LLP/s.r.l./s.e.n.c.r.l. (« PwC ») est destiné à l’usage interne du Forum IA Québec (le « client »), conformément aux conditions du contrat de mission (le « Contrat de mission ») daté du 7 octobre 2021 que nous avons conclu avec le client. PwC ne garantit pas et ne déclare pas que les informations contenues dans le présent rapport sont exactes, complètes, suffisantes ou adéquates pour leur usage par toute personne ou entité autres que le client, ou pour toute autre fin que celle énoncée dans le Contrat de mission. Aucune personne ou entité autre que le client ne devra s’appuyer sur ce rapport, et PwC décline expressément dans la présente toute responsabilité ou obligation à l’égard des préjudices, pertes ou dommages que pourrait subir toute personne ou entité autre que le client découlant de l’usage du présent rapport.

Avant-propos



C'est avec grand plaisir que je vous présente l'étude que le Forum IA Québec a demandé à PwC de réaliser sur les impacts des investissements réalisés en intelligence artificielle (IA) au Québec.

Cette étude montre que les sommes injectées par les gouvernements et le secteur privé dans l'écosystème québécois ont déjà généré des retombées de quelque 1,9 G\$ en plus de soutenir une moyenne de plus de 3000 emplois très bien rémunérés par année. Ces retombées immédiates représentent la première étape de la chaîne de croissance de l'IA dans l'économie québécoise. L'analyse présente ne comprend donc pas les retombées de second ordre, qui complètent les investissements publics et privés en IA et ont permis à des

certaines d'entreprises de croître, d'exporter et d'embaucher pour dynamiser l'économie québécoise. PwC souligne aussi dans son rapport qu'un effort collectif marqué pour l'adoption à long terme des technologies en IA au sein des entreprises pourrait générer des gains en productivité d'au moins 5,8% d'ici 2035, ainsi qu'un accroissement du PIB réel québécois de 6,9% ou plus.

Le Québec peut être fier du positionnement concurrentiel de son écosystème en IA et des effets économiques de sa présence, mais nous devons collectivement demeurer vigilants et ne pas sous-estimer les défis qui demeurent. En effet, pour tirer pleinement profit du potentiel de l'IA, toute organisation devra apporter des changements majeurs à son modèle d'affaires, ses stratégies et ses processus; revoir les tâches de ses employés et la formation qui leur est offerte; repenser certaines de ses politiques; et ainsi de suite. En d'autres mots, elle devra faire des investissements, sur le plan socio-organisationnel, qui seront souvent dix fois plus élevés que ceux qu'elle réalisera pour acquérir ou développer les outils d'IA dont elle a besoin. Elle devra faire des transformations qui prendront du temps.

C'est donc dire, comme le disait le Forum dans un mémoire récent, que nous n'en sommes toujours qu'au début de la partie de l'IA. C'est en continuant d'investir à fond dans ce secteur clé que le Québec réussira à faire de l'IA, une technologie d'usage général comme l'électricité ou les ordinateurs, l'un des fondements de sa prospérité future.

On me permettra de remercier Rosemarie Bégin, directrice, Économie et politiques, PwC, de même que son équipe, pour leur travail sur ce rapport. J'aimerais aussi remercier les membres du comité mis en place par le Forum pour assurer le bon suivi de ce projet, soit Nathalie de Marcellis, PDG, CIRANO; Valérie Pisano, PDG, Mila; Lynda Robitaille, directrice administrative, développement et partenariats, Institut intelligence et données; et Julien Billot, PDG, Scale AI. Je voudrais finalement remercier Daniel Denis, économiste et conseiller à l'Institut du Québec, des précieux conseils qu'il a fournis à PwC et au Forum tout au long de cette entreprise importante pour l'avenir de l'IA au Québec.

Bonne lecture !

Marie-Paule Jeansonne
Présidente-directrice générale
Forum IA Québec

1. Sommaire

Contexte de l'étude

Depuis le milieu des années 2010, le gouvernement fédéral et le gouvernement du Québec ont pris des engagements significatifs afin de soutenir l'essor de l'intelligence artificielle (IA), notamment par un appui financier important. Nous avons répertorié près de 1 G\$ de contributions gouvernementales de la part du gouvernement fédéral à travers le Canada, dont plus de 500 M\$ au Québec. Entre 2017 et 2021, le gouvernement du Québec aurait soutenu le secteur par des investissements de l'ordre de 300 M\$ par différents programmes. De plus, on rapporte plus de 1,5 G\$ d'investissements privés en IA sous forme de capital de risque au Québec par l'entremise de différents fonds d'investissement auxquels participent activement des institutions comme la Caisse de dépôt et placement du Québec (CDPQ), Investissement Québec (IQ) la Banque de développement du Canada (BDC), etc¹. En parallèle, la vigueur du secteur a contribué à attirer d'importants investissements privés sous forme de capital de risque, d'attraction d'investissements étrangers et de démarrage d'entreprises.

Le développement du secteur de l'IA et son déploiement à grande échelle nécessitent que l'on tienne compte de trois grandes composantes de l'écosystème :

1. La recherche fondamentale et le développement de talents;
2. Le développement d'entreprises qui proposent des produits et des services d'IA;
3. L'adoption de l'IA dans tous les secteurs d'activité économique du Québec

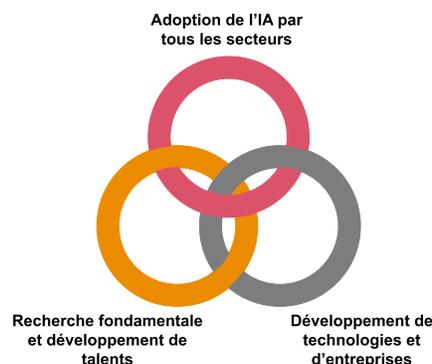
Les investissements réalisés jusqu'à présent ont soutenu d'importants progrès en IA et contribuent déjà à l'enrichissement et au bien-être des Québécois. Par exemple, ils favorisent le progrès en matière de connaissances et de recherche et développement (R et D). Ils génèrent des emplois, attirent de nouveaux travailleurs qualifiés et développent le talent par l'éducation. Le développement d'applications en IA améliore la société en encourageant des initiatives favorisant le bien commun dans les secteurs comme la santé, l'éducation et l'environnement. De plus, l'intégration de l'IA dans l'ensemble des secteurs de l'économie est propice à générer des retombées économiques importantes en plus d'avoir la capacité à répondre aux enjeux de productivité et de pénurie de main-d'œuvre.

Objectifs

Le Forum IA Québec a mandaté PwC afin de dresser un état des lieux des différents impacts des investissements publics et privés en IA au Québec entre 2017 et 2021.

L'étude met en évidence la contribution qu'ont eue ces investissements sur le développement du secteur de deux façons:

- Dans un premier temps, l'étude identifie les retombées des investissements selon différents indicateurs. Cette section distingue deux volets, soit celui de la recherche et de la formation de talents et celui du développement des entreprises qui produisent des solutions d'IA.
- Dans une seconde phase, l'étude présente une estimation des retombées économiques qui seraient associées à une plus grande adoption de l'IA à travers tous les secteurs d'activité économique. Cette analyse permet d'illustrer le potentiel de l'IA par des gains de productivité associés à une généralisation de l'adoption de l'IA.



¹ Les investissements présentés dans ce rapport font référence aux sommes réellement dépensées entre 2017 et 2021. Dans certains cas, les gouvernements annoncent des sommes pour des programmes qui seront dépensés sur une période qui dépasse celle considérée pour cette étude.



Méthodologie



1. Estimation de la contribution socio-économique des investissements

Activités clés

- Collecter des données sur les investissements publics et privés à partir des données communiquées par différents intervenants, des annonces publiques et autres bases de données. Les investissements retenus étaient destinés soit aux centres de recherche, soit aux entreprises qui développent des technologies en IA¹.
- Modéliser des impacts directs et indirects en termes de PIB, de création d'emplois et de revenus fiscaux pour les gouvernements à l'aide d'un modèle entrée-sortie basé sur les tableaux des ressources et des emplois de Statistique Canada.
- Analyser différents indicateurs complémentaires à partir de l'information disponible publiquement et du rapport de la firme Tortoise afin de mieux refléter la diversité des répercussions économiques et ainsi bonifier l'analyse des impacts socio-économiques.



2. Modélisation des impacts économiques du rehaussement de la productivité

Activités clés

- Développer deux scénarios de modélisation reflétant une accélération marquée de l'adoption de l'IA et ses effets sur la productivité des travailleurs du Québec de 2021 à 2035.
 - Les intrants principaux de cette modélisation sont les gains potentiels de productivité du travail par secteur d'activité acquis grâce à une adoption marquée de l'utilisation de l'IA.
- Modéliser l'impact des scénarios de modélisation à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable économétrique produit par la firme Daméco qui permet de reproduire les mécanismes de l'économie québécoise ainsi que l'interaction entre les secteurs dans un contexte d'économie ouverte.

Global AI Index

Le Forum IA Québec a mandaté la firme Tortoise afin d'inscrire le Québec dans le Global AI Index, qui permet de comparer l'écosystème d'IA de 62 pays en étudiant des indicateurs qui portent sur les talents, les infrastructures, l'environnement commercial, la R et D et la stratégie gouvernementale.

Notes : 1. Dans le cadre de cette étude, les dépenses qui ont été faites par les entreprises pour l'adoption de l'IA n'ont pas été prises en compte. De plus, si des entreprises dont l'activité principale n'est pas de fournir des solutions d'IA ont fait des investissements en recherche et développement à l'interne pour développer leur propre solution en IA, ces montants n'ont pas été pris en compte.

Constats clés

1

Les investissements en IA ont permis de soutenir l'essor d'un écosystème et se traduisent déjà en retombées significatives

L'essor de l'IA a contribué à d'importantes retombées socio-économiques. Il contribue à la création de talent, d'emplois bien rémunérés, au positionnement du Québec en tant que leader dans le domaine de la recherche, à la création d'entreprises, etc.



Plus de **400** entreprises qui offrent des produits et services propulsés par l'IA.



225 entreprises en démarrage en 2021¹.



3 050 Emplois directs et indirects qui ont été soutenus par les investissements en IA au Québec en moyenne par année².



26 271 inscriptions dans des programmes de mathématiques et de sciences informatiques. Une croissance de 16 % annuellement depuis 2017



Le Québec arrive au

premier rang

en termes de citations par publication selon le Global AI Index de Tortoise.



42 brevets liés à l'IA déposés depuis 2017, dont 32 ont été acceptés.

Note : 1. Il s'agit d'une estimation prudente. 2. Ce nombre d'emplois ne représente pas l'ensemble des emplois en IA au Québec, mais bien ceux soutenus par les investissements privés et publics. Comme l'IA est une technologie transversale et présente dans plusieurs industries, il est difficile de recenser le nombre d'emplois en IA. Selon une étude produite par TECHNOCompétences, il y aurait près de 45 000 professionnels en intelligence numérique au Québec ayant un salaire annuel moyen de 84 000\$.

Entre 2017 et 2021, plus de 2,3 G\$ ont été investis en IA par les gouvernements fédéral et provincial ainsi que les secteurs privé et institutionnel sous forme de capital de risque. Ces investissements ont soutenu entre autres les activités des centres de recherche ainsi que celles liées au développement et à l'exploitation des entreprises qui fournissent des technologies liées à l'IA.

Au total, entre 2017 et 2021, les investissements en IA ont généré 1,9 G\$ en PIB et ont soutenu 3 050 emplois directs et indirects en moyenne par année sur la période. De plus, les activités ont généré près de 400 M\$ de revenus pour le gouvernement du Québec et le gouvernement fédéral sous forme de diverses contributions fiscales.



À noter que ces retombées se limitent aux montants investis et ne prennent pas en considération les montants additionnels investis par les organismes/entreprises soutenus, ou encore, l'impact découlant de ces investissements en termes de commercialisation de produits ou services. Il s'agit uniquement d'une des portions des investissements consacrés au secteur.

Portrait du financement en 2017-2021



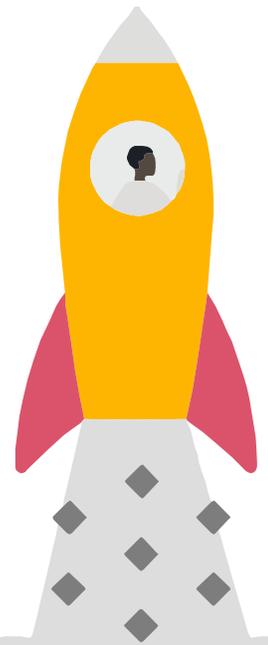
- + 800 M\$ de fonds publics**
 - 293 M\$ du Gouvernement du Québec
 - 140 M\$ en recherche
 - 153 M\$ dans les entreprises en IA
 - 520 M\$ du Gouvernement fédéral au Québec
 - 260 M\$ en recherche
 - 260 M\$ dans les entreprises en IA
- 1,5 G\$ en fonds de capital de risque**

Retombées économiques liées aux investissements



- 1,9 G\$ de contribution au PIB¹**
 - Soutien d'une moyenne de 3 050 emplois par année
- 400 M\$ de recettes fiscales**
 - Au Québec: 237,8 M\$ | Au fédéral: 155,7 M\$

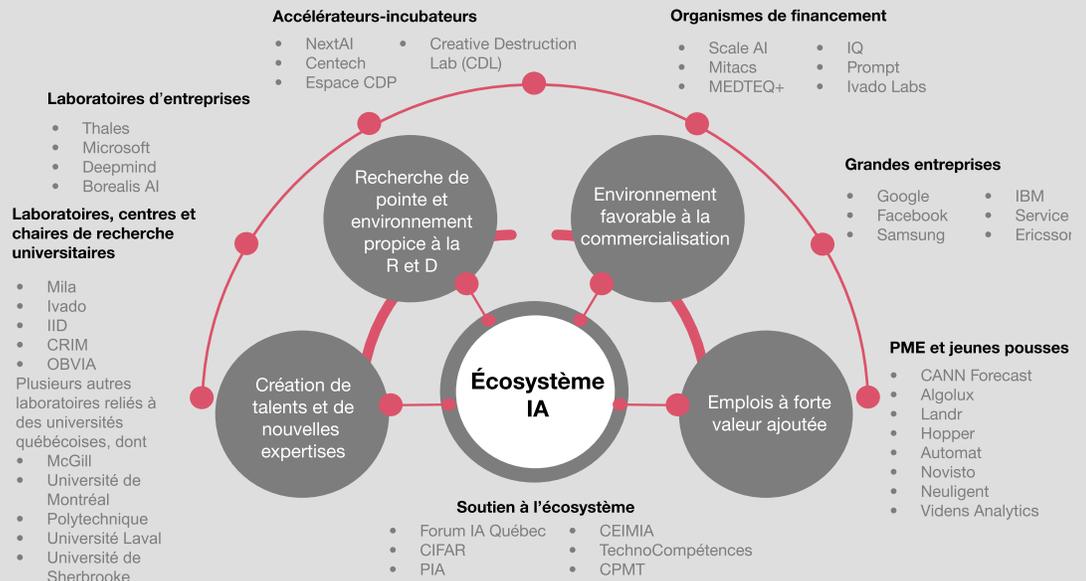
1. Calculé à partir des multiplicateurs des Tables ressources emplois de Statistique Canada de 2018 (données les plus récentes)



Les investissements en IA ont permis de soutenir le développement, au Québec, de centres de recherche reconnus mondialement.

En parallèle, la présence de ces centres de recherche de pointe a soutenu l'attraction de capitaux sous forme de capital de risque, le démarrage ou le développement d'entreprises en IA, de même que l'attraction d'investissements étrangers.

Enfin, avec le développement d'une main-d'œuvre qualifiée, les échanges entre le milieu de la recherche et les entreprises et le développement d'une base solide d'entreprises en IA, toutes les conditions sont présentes pour favoriser une plus grande adoption de l'IA.



Note : Les organismes, les institutions et les entreprises présentés dans ce schéma sont à titre indicatif seulement et il ne s'agit pas de l'ensemble de l'écosystème IA au Québec.

Les laboratoires universitaires se distinguent des laboratoires d'entreprises principalement par leur mode de financement. Dans le cas des laboratoires universitaires le financement vient principalement du secteur public notamment par l'entremise des Fonds de recherche du Québec, et leurs activités sont souvent indépendantes.

2

À long terme, une adoption marquée de l'IA permettrait de répondre à certains défis économiques du Québec

Le développement de l'écosystème de recherche et de l'offre de services de solutions d'IA permet de mettre les bases sur lesquelles les entreprises québécoises pourront capitaliser pour assurer l'adoption de l'IA par l'ensemble des secteurs de l'économie.

Une adoption à grande échelle de l'IA permettra de rehausser de façon significative la productivité du travail au sein des entreprises et pourrait se traduire par des bénéfices pour l'ensemble de l'économie québécoise.

Notre modélisation des gains de productivité du travail a permis d'identifier les effets suivants :

1. Une croissance économique propulsée par une augmentation sensible des gains de productivité.
2. Une diminution du déficit commercial résultant d'une croissance des exportations et une diminution des importations.
3. Un effet net positif, quoique faible, sur les emplois et le pouvoir d'achat des Québécois.

	Scénario de modélisation	
	Virage marqué	Virage fortement marqué
Hypothèse de modélisation		
Croissance totale de la productivité pour la période de 2021 à 2035	5,8 %	12,0 %
Résultats de la modélisation¹		
Gains au PIB réel du Québec d'ici 2035 (par rapport au scénario de référence)	 + 6,9 %	+ 14,6 %
Gains en exportations d'ici 2035 (par rapport au scénario de référence)	 + 4,1 %	+ 8,3 %
Gains d' emplois d'ici 2035 (par rapport au scénario de référence)	 + 0,8 %	+ 1,8 %

Note : 1. La modélisation permet d'illustrer les impacts d'un virage important vers une plus grande adoption de l'IA sur la période 2021 à 2035 par rapport à un scénario qui correspond à la situation actuelle. Les résultats présentent une fourchette entre une situation où le Québec prendrait un virage marqué par rapport à ses partenaires commerciaux et un virage fortement marqué. Étant donné l'incertitude qui entoure le développement et les impacts de l'IA, les résultats permettent d'illustrer une direction et un ordre

Dans un contexte de pénurie de main-d'œuvre, un des principaux défis de l'économie du Québec est le rehaussement de la productivité et la création d'emplois à rémunération élevée. La combinaison de ces deux éléments permettra d'accroître le niveau de vie des Québécois et des Québécoises. L'IA contribue favorablement à l'atteinte de ces objectifs.



2. La recherche et le développement des talents : un point d’ancrage pour la stratégie IA au Québec

Les gouvernements provincial et fédéral ont pris des engagements importants pour soutenir la recherche en IA, si bien que la recherche universitaire est en très bonne posture dans la province. Un tel constat s’observe par la présence de plusieurs centres de recherche et des scientifiques de renommée mondiale. La ville de Montréal se trouve parmi les régions ayant la plus forte concentration de chercheurs en IA au monde. Les régions de Québec et de Sherbrooke se distinguent également. Par exemple, à l’Université Laval, la mise sur pied de plusieurs unités de recherche de pointe dans les dernières années, comme le Centre de recherche en données massives (CRDM) puis, plus récemment, l’Institut intelligence et données (IID) ont permis de former des étudiants et des professionnels de l’IA capables d’accompagner les organisations dans l’implantation des technologies et leur transformation numérique. À l’Université de Sherbrooke, on retrouve la Chaire en calcul quantique, financée en majeure partie par le ministère de l’Économie et de l’Innovation du Québec (MEI).

Néanmoins, la concurrence en matière d’attraction et de rétention de talents en IA s’intensifie à l’échelle mondiale. Le Québec a la chance de bénéficier d’une stratégie nationale et québécoise qui valorise l’innovation en IA lui permettant d’assurer son leadership scientifique dans le développement de l’IA.

Les fondations en recherche sont excellentes et le Québec pourra tirer profit de celles-ci pour assurer le déploiement des technologies de l’IA à grande échelle au Québec.

Une vue d'ensemble des investissements en recherche au Québec

Entre 2017 et 2021, une part importante du financement public a été dirigée vers le milieu universitaire. Celui-ci contribue à l'avancement de la recherche fondamentale et au développement d'applications utilisées, ensuite, par les entreprises. Le milieu universitaire est également un vecteur important du renforcement des capacités du secteur privé en formant des étudiants pour qu'ils acquièrent les compétences requises par le secteur privé.

Le gouvernement du Québec a investi 140 M\$ dans différents centres et programmes de recherche. Quant à lui, le gouvernement fédéral a soutenu les centres de recherche à la hauteur de 260 M\$².

Plusieurs ministères et organismes sont impliqués dans le financement de l'IA, notamment Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et le MEI. Le Mila est l'un des plus importants OBNL à avoir reçu un soutien pour son rôle dans le développement de la stratégie de recherche en IA au Québec. Scale AI, la supergrappe d'IA du Canada établie à Montréal, est également un grand contributeur du secteur. Depuis sa création en 2017, l'organisme a soutenu 3 chaires de recherche au Québec pour une valeur de 1 M\$ chacune en plus d'offrir des programmes de formation.

400 M\$

investis dans les centres de recherche au Québec de la part du gouvernement fédéral et provincial

Les investissements dans les centres de recherche ont soutenu l'économie du Québec

Les investissements de 400 M\$ dans les centres de recherche se sont traduits par une contribution à la valeur ajoutée de l'économie québécoise de **341,1 M\$**.

- Cette valeur ajoutée comprend les effets directs prenant la forme de rémunérations versées aux employés et aux travailleurs autonomes ainsi que d'autres formes de revenus (ex.: avantages sociaux, charges patronales, profits des entreprises, etc.).
- Les effets indirects correspondent aux revenus résultant de la demande de biens et services à travers leur chaîne de fournisseurs au Québec (ex.: services professionnels, achat de matériel et d'équipement, etc.).
- De plus, ces investissements ont soutenu **3 276 emplois sur la période³**, ou l'équivalent de **655 emplois par année**.



341,1 M\$ en PIB



655 emplois soutenus annuellement



64,1 M\$ en contributions fiscales (fédéral et provincial)

Les activités de recherche sont reconnues pour leur forte contribution à l'économie locale puisque les dépenses liées à leurs activités (majoritairement des salaires) sont en grande majorité effectuées dans la province. Ainsi, très peu de fuites, soient des dépenses hors de la province, sont associées à ce type d'activité.

² Ces montants représentent les sommes investies entre 2017 et 2021 et non les sommes annoncées. Dans certains cas, il est possible que les gouvernements aient annoncé des budgets, mais que ceux-ci soient réellement dépensés sur une période ultérieure à 2021.

³ En année-personne.



Les investissements et la vision des gouvernements ont permis de soutenir un écosystème de recherche productif qui attire et retient un nombre croissant de chercheurs de renommée internationale

Un écosystème prospère et productif

On retrouve au Québec :

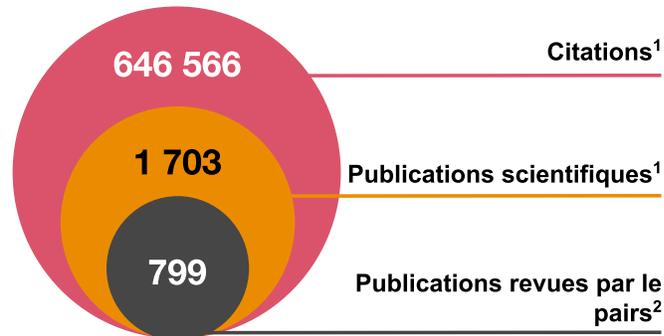
- 11 universités offrant des programmes d'IA;
- 36 136 chercheurs dans le secteur des STIM⁴

Selon le *Tortoise Index*, le Québec se distingue considérablement dans la recherche fondamentale. Il arrive au premier rang pour le nombre moyen de citations par publication et au deuxième rang pour l'indice-H⁵.

Des chercheurs de renommée internationale

Le programme des chaires en IA Canada-CIFAR constitue la pierre angulaire de la Stratégie pancanadienne du CIFAR. Il a pour objectif d'attirer au Canada les chercheurs de calibre international en IA et de retenir les meilleurs talents. Ce facteur est important dans le développement de l'écosystème de l'IA puisque la rareté des talents a créé un réel « exode des cerveaux » du monde universitaire vers les entreprises, où ils sont mieux rémunérés et où ils ont accès à plus de ressources. Or, il existe un lien entre l'exode des meilleurs professeurs vers le secteur privé et la baisse du nombre d'entreprises en démarrage formées ainsi que la réduction du capital de risque investi⁶.

En offrant un financement à long terme pour les activités de recherche grâce à un fonds dédié, le programme permet de maintenir l'attrait du secteur de la recherche. Au Québec, les titulaires de ces chaires sont rattachés au Mila. Au cours des deux dernières années, le nombre de chercheurs et chercheuses associé(e)s a plus que doublé, passant de 41 à 85 professeurs.



Sources : 1. Indice ayant pour but de quantifier la productivité scientifique et l'impact d'un scientifique en fonction du nombre de citations relatives à ses publications. 2. Science, technologie, ingénierie et mathématiques 3. Tortoise AI Index. 4. Selon des travaux réalisés par McKinsey pour le compte du Mila, 2021.

48 Chaires CIFAR
actives au Québec
- une croissance de
400% en 2 ans

⁴ Science, technologie, ingénierie et mathématiques, Mila, 2019

⁵ Indice ayant pour but de quantifier la productivité scientifique et l'impact d'un scientifique en fonction du niveau de citation de ses publications

⁶ Gofman, Michael and Jin, Zhao, Artificial Intelligence, Education, and Entrepreneurship (26 octobre 2020)

2020 – Google Focused Research Award



Guillaume Lajoie
Université de Montréal



Irina Rish
Université de Montréal

Reconnue mondialement pour son travail sur l'IA et la neuroscience, Mme Rish a choisi de quitter New York pour s'établir à Montréal, à la tête d'une chaire de recherche dotée d'un budget de 34 M\$

Deux chercheuses parmi le top 10 des femmes faisant progresser l'IA



Doina Precup
Université McGill et DeepMind



Joëlle Pineau
Université McGill et Facebook Research

2020 – Google Focused Research Award
2019 – Governor General's Innovation Award

AI 2000 Most Influential Scholars



Hugo Larochelle
Université de Montréal et Google



Aaron Courville
Université de Montréal



Dzimitry Bahdanau
Université McGill et Service Now



Yoshua Benjio
Université de Montréal

2019 – Turing Award / équivalent du prix Nobel d'informatique

Le milieu universitaire soutient la création de talents et l'attraction d'étudiants internationaux

- Entre 2017 et 2020, le nombre d'inscriptions dans des programmes de mathématiques et d'informatique a crû de 16 % en moyenne par année. Sur la même période, cette croissance était de 11 % dans l'ensemble du Canada. Ainsi, la création de talent en IA se distingue au Québec.
- En 2019-2020, la proportion d'étudiants internationaux dans les programmes de mathématiques et d'informatique était de 21 %, une croissance de 5 points de pourcentage par rapport à 2017-2018.
- Les étudiants internationaux constituent un bassin de main-d'œuvre stratégique pour soutenir l'essor de l'économie du savoir de la province. Selon une publication de Statistique Canada, la moitié des étudiants internationaux venus étudier pour obtenir une maîtrise ou un doctorat restent au pays pour y travailler⁷.

⁷ Statistique Canada, 2021. Les étudiants étrangers comme source de main-d'œuvre : transition vers la résidence permanente. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/36-28-0001/2021006/article/00002-fra.htm>



3. Le développement de l'offre de services en IA : passer de la recherche aux applications concrètes

Plusieurs entreprises spécialisées en IA sont directement nées de l'expertise développée dans les centres de recherche québécois. Le positionnement favorable et la renommée à l'international de l'écosystème de recherche ont contribué à l'attraction de capitaux, d'investisseurs ainsi que de grands acteurs internationaux comme Google et Facebook.

Les entreprises qui offrent des produits et des services propulsés par l'IA jouent un rôle important puisqu'elles contribuent à la commercialisation d'innovations issues du milieu de la recherche et à leur adoption par des entreprises de secteurs variés.

Les gouvernements fédéral et provincial ont développé différents programmes pour soutenir les entreprises directement ainsi que par l'intermédiaire d'organismes comme Scale AI, Prompt et Ivado Labs, qui sont des éléments essentiels de l'écosystème pour le développement de projets en IA.

Une vue d'ensemble des investissements dans les entreprises qui fournissent des technologies IA

Entre 2017 et 2021, les entreprises du secteur de l'IA ont levé plus de 1,5 G\$ en capital de risque

L'écosystème d'investissement au Québec est bien structuré et il couvre plusieurs étapes du financement dès le démarrage. Plusieurs types d'acteurs financiers, dont les banques, des organismes parapublics et privés tels que PME-MTL ou Angés Québec, soutiennent à divers stades de la croissance des entreprises. L'année 2021 a vu naître plusieurs fonds gouvernementaux qui seront déployés en 2022, dont le fonds Accelia Capital qui vise à financer des entreprises en démarrage dans le domaine des technologies dirigées par des femmes.

La présence des grands investisseurs institutionnels

Les grands investisseurs institutionnels (CDPQ, FSTQ, IQ, BDC) jouent un rôle important dans le financement de l'IA, notamment dans les phases de croissance des entreprises. En général, ils ont adopté une approche indirecte en investissant dans des fonds privés plutôt que directement dans les entreprises pour les rondes hâtives. Ils sont davantage présents dans les rondes tardives, principalement en co-investissant dans les entreprises. Parmi les engagements les plus importants, on retrouve :

- Investissement Québec (IQ) a mis sur pied le programme Impulsion PME, un programme destiné à aider les jeunes entreprises innovantes en investissant jusqu'à 1 M\$.
- CDPQ a créé un fonds, CDPQ-IA, de 250 M\$ entièrement dédié à l'IA

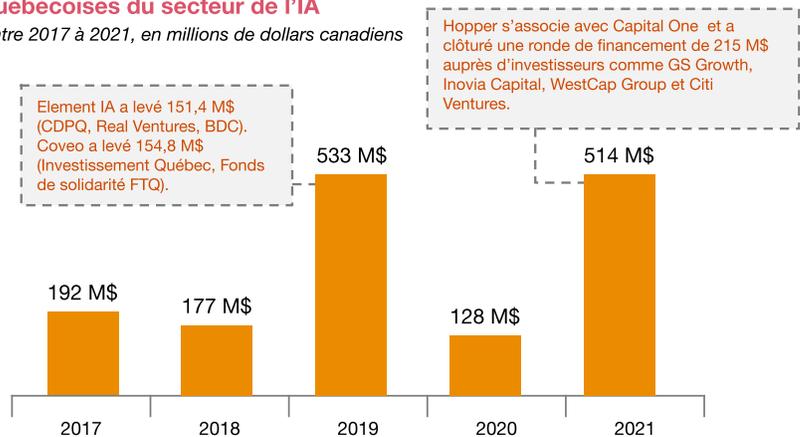
De plus en plus de fonds de capital de risque spécialisés et qui couvrent l'ensemble des phases de développement

Depuis quelques années, on observe la venue de certains fonds spécialisés en technologie au Québec comme le fonds de capital de risque Boréal Ventures (lancé en février 2021).

Ces fonds dédiés ont souvent une meilleure compréhension du cycle de développement des produits et services en IA et sont plus enclins à soutenir des rondes hâtives de financement (amorçage et démarrage). Entre 2017 et 2021, les entreprises dans le secteur de l'IA ont levé plus de 1,5 G\$⁸.

Montants investis en capital de risque auprès d'entreprises québécoises du secteur de l'IA

Entre 2017 à 2021, en millions de dollars canadiens



Sources : PwC Money Tree, CBI Data, PitchBook, Rapports annuels des différentes institutions. Analyse PwC.

Les gouvernements du Québec et fédéral sont également de grands contributeurs

Au total, les deux paliers gouvernementaux ont investi près de 415 M\$ dans des entreprises qui proposent des produits et des services IA, soit 153 M\$ du gouvernement du Québec et 260 M\$ du gouvernement fédéral à travers différents programmes et des subventions à des organismes de soutien.

Par exemple, le gouvernement du Québec a lancé, en 2020, un appel de projets d'innovation en IA doté d'une enveloppe de plus de 25 M\$ et destiné principalement aux PME et aux entreprises en démarrage. Le programme Partenar-IA, géré par les neuf regroupements sectoriels de recherche industrielle (RSRI), soutient des entreprises qui veulent réaliser un projet d'innovation et de R et D collaboratif soit avec d'autres entreprises soit avec des centres de recherche publics pour des activités de développement, de commercialisation ou d'adoption de technologies en IA. L'organisme Scale AI finance plusieurs projets industriels ainsi que des incubateurs et accélérateurs qui soutiennent l'écosystème de startups en IA (par exemple Centech, BCF Venture, Next AI).

Au total, 1,9 G\$, en provenance du secteur privé et public, ont été investis dans des entreprises qui développent des technologies en IA au Québec

⁸ PwC Money Tree, CBI, PitchBook, rapports annuels des différentes institutions. Ce montant présente les annonces publiques dans les entreprises spécialisées en IA et non dans le secteur des technologies en général.

Les investissements dans les entreprises ont permis de contribuer au PIB à la hauteur de 1,6 G\$

- Au total, près de 1,9 G\$ ont été investis dans les entreprises qui fournissent des technologies IA au Québec, dont 1,5 G\$ sous forme de capital de risque et le reste grâce à différents programmes gouvernementaux de soutien aux entreprises.
- Ces investissements se sont traduits par une contribution au PIB de près de 1,6 G\$ dont 65 % correspondaient à des salaires.
- En moyenne, les investissements ont soutenu près de 2 400 emplois directs et indirects annuellement.
- Finalement, les activités des entreprises soutenues par les investissements publics et privés ont contribué à des revenus fiscaux à hauteur de près de 330 M\$.

Retombées économiques pour le Québec des investissements dans les entreprises qui fournissent des solutions d'IA Cumulatif pour la période de 2017 à 2021, en millions de dollars et en emplois en équivalents temps plein (ETP)

Québec	Effets directs	Effets indirects	Effets totaux
Valeur ajoutée (en M\$)	1 221,4	329,4	1 550,8
Salaires et traitement	823,5	198,0	1 021,5
Autres revenus bruts	397,9	131,4	529,3
Emplois soutenus (en année-personne)	8 167	3 806	11 973
Moyenne annuelle	1 633	761	2 395
Revenus pour le gouvernement du Québec	155,0	44,2	199,2
Revenus pour le gouvernement fédéral	107,2	20,0	127,2

Sources : Simulation à partir des multiplicateurs de l'industrie de l'Édition de logiciel de Statistique Canada. Analyse PwC.

Les compétences liées à l'IA soutiennent un nombre important d'emplois à forte valeur ajoutée

Les données d'emploi présentées dans le tableau précédent découlent directement des investissements présentés dans ce rapport et sont relatives à des emplois hautement spécialisés en IA. Ces derniers incluent par exemple des ingénieurs de données, des spécialistes de l'apprentissage automatique, etc. Or, les projets en IA alimentent, en périphérie, une foule d'autres professionnels comme des programmeurs-analystes, des analystes d'affaires, des développeurs Front-End, etc. Selon une étude de TECHNOCompétences, on dénombre près de 45 000 professionnels en intelligence numérique au Québec⁹.

Les emplois liés à l'IA sont très bien rémunérés. En moyenne, ces professionnels touchent un salaire annuel de 84 000\$, ce qui correspond à 56 % de plus que le salaire moyen au Québec¹⁰.

⁹ TECHNOCompétences, 2021. Profil de la main-d'œuvre en intelligence artificielle, science de données et mégadonnées au Québec.

¹⁰ Basé sur la rémunération horaire moyenne des employés québécois de 28,81 \$ convertie en équivalent temps plein, soit 1 875 heures. Source : Institut de la Statistique du Québec, État du marché du travail 2021.



D'autres indicateurs nous permettent d'attester de la vigueur de l'écosystème

1

Nombre de compagnies en IA au Québec

On retrouve plus de 400 entreprises qui offrent des produits et services propulsés par l'IA. On compte également plus de 150 centres de recherche et de transfert, firmes d'expert-conseil et acteurs de soutien spécialisés en IA. De plus, d'autres compagnies comme les institutions financières et les firmes d'ingénierie tendent à inclure des services liés à l'IA¹¹.

2

Nouveaux modèles d'affaires et création de « start-ups » au Québec

Le développement de l'IA permet de créer de nouvelles entreprises, des nouveaux produits et services et de défricher de nouveaux marchés. En ce sens, on recensait 225 « startups » en IA au Québec en 2021¹².

3

Nombre de demandes de brevets déposées

Entre 2017 et 2021, 42 brevets liés à l'IA ont été déposés par différents demandeurs et 32 ont été acceptés, selon l'analyse de Tortoise. Bien qu'incomplète, cette mesure donne une idée de la capacité d'innovation d'une économie. Sur une base par habitant, le Québec se situe en 7^e position des pays retenus dans l'indice Tortoise pour cet indicateur, une performance supérieure à l'ensemble du Canada, qui se situe en 13^e position.

¹¹ Nombre de compagnies recensées par le Forum IA au moment de rédiger ce rapport.

¹² Cette valeur représente un minimum et peut être considérée comme prudente.



4. Mesurer les impacts de l'adoption à grande échelle de l'IA dans tous les secteurs de l'économie

Les sections précédentes ont démontré que les investissements en IA au Québec ont permis de soutenir un écosystème de recherche florissant ainsi qu'une base solide d'entreprises qui commercialisent des produits et des services d'IA. L'IA atteindra son plein potentiel lorsque tout ce génie né dans les universités aura pris ancrage dans les entreprises, aura accéléré leur productivité et leur croissance dans tous les secteurs de l'économie.

Bien que l'adoption de l'IA par les entreprises de l'ensemble des secteurs d'activité soit bien démarrée, le Québec et le Canada accusent un certain retard à cet effet. Or, l'accélération de l'adoption de l'IA dans les prochaines années sera essentielle afin de retirer tous les bénéfices attendus de l'IA comme :

- l'augmentation des gains de productivité;
- le développement d'une nouvelle offre et augmentation de la qualité des produits et des services;
- l'accélération du développement de nouveaux produits.

Un des principaux freins à l'adoption de l'IA est sans aucun doute la difficulté à saisir le potentiel de valeur lié à son adoption ainsi que les difficultés d'accès aux données.

Plusieurs organismes comme IVADO, SCALE AI, Mila ou Prompt agissent comme pont entre la recherche de pointe et les applications concrètes en entreprise en assurant un transfert de connaissances afin de catalyser la création de valeur. Ainsi, l'écosystème du Québec présente plusieurs éléments qui pourraient assurer une croissance rapide de l'adoption de l'IA.

Mesurer les impacts économiques potentiels liés à une plus grande adoption de l'IA

Les solutions de l'IA permettent aux entreprises qui les adoptent d'augmenter leur productivité, c'est-à-dire le niveau de valeur ajoutée qu'elles peuvent générer pour un même niveau d'intrants. Ces gains de productivité se manifestent de deux façons, soit :

- en permettant aux employés d'effectuer leurs tâches de manière plus efficace, libérant ainsi du temps qu'ils peuvent attribuer à des activités à plus forte valeur ajoutée pour l'entreprise;
- en diminuant la dépendance des processus envers la main-d'œuvre par l'automatisation de certaines parties des processus de production d'une entreprise (c'est-à-dire substituer de la main-d'œuvre par des machines).

Cette section illustre les retombées économiques liées à une croissance de la productivité soutenue par un virage dans l'adoption de l'IA au Québec à l'aide d'un modèle d'Équilibre général calculable (MÉGC)¹³.

13 La modélisation proposée dans le cadre de cette étude se limite au gain de productivité de travail et n'inclut la croissance des activités de production au Québec liées à la création de nouvelles entreprises. La croissance de la consommation n'est également pas prise en compte. Plus de détails sur la méthodologie utilisée dans cette analyse sont présentés dans le rapport complet.



Les résultats de la modélisation illustrent un scénario hypothétique où :

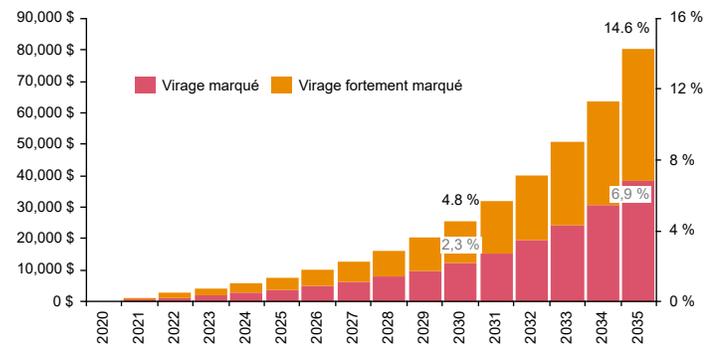
- Le Québec prendrait un virage marqué de l'adoption de l'IA comparativement au rythme d'adoption observé dans les dernières années. Cette accélération pourrait être la conséquence d'une multitude de facteurs, incluant des interventions gouvernementales visant à soutenir l'adoption de l'IA;
- L'adoption de l'IA au Québec a un impact cumulatif sur la productivité québécoise entre 2021 et 2035, allant de 5,8 % dans le scénario de virage marqué à 12,0 % dans le scénario de virage fortement marqué;
- L'adoption de l'IA et les gains de productivité qui en découlent se feront à un rythme plus lent au début de la période de projection pour ensuite s'accélérer vers la fin de la période de modélisation (à partir de 2030);
- Les gains de productivité entre les secteurs ont été répartis entre les différentes industries du Québec à partir de paramètres estimés dans une étude de McKinsey&Co qui évalue l'impact potentiel de l'IA sur les revenus par industrie⁴.

Voici quelques constats tirés de l'étude.

1. D'ici 2035, les gains en productivité associés à l'adoption de l'IA pourraient se traduire par un PIB réel supérieur de 7 % à 15 %

- D'ici 2035, de 38 G\$ à 80 G\$ pourraient être ajoutés au PIB québécois grâce aux gains de productivité liés à l'adoption de l'IA, soit une croissance de 6,9 % à 14,6 % par rapport au scénario de référence.
- La variation entre les deux estimations reflète le rythme d'adoption des technologies de l'IA établi pour chaque scénario. Plus l'adoption se fera rapidement, plus rapidement se manifesteront les gains de productivité et leurs effets indirects sur l'économie de la province.

Impacts des gains de productivité liés à l'adoption de l'IA sur le PIB réel du Québec pour la période de 2020 à 2035¹
(millions de dollars, 2021)



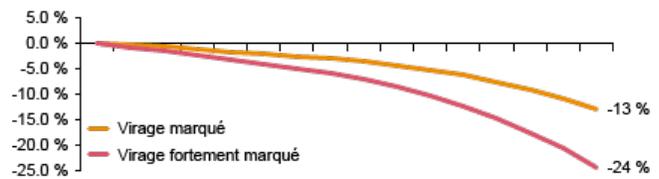
Source : Analyse PwC, HerculeImpacts
1. Les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence. PwC (2018), The macroeconomic impact of artificial intelligence

2. Cette croissance économique est propulsée principalement par une diminution des prix et des coûts marginaux de production

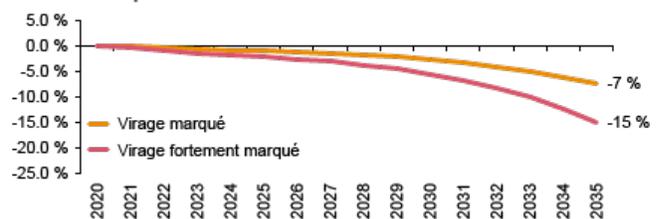
Une diminution des prix et des coûts marginaux

- Par définition, les gains de productivité introduits dans l'économie québécoise permettront aux différentes industries de réduire le nombre d'heures travaillées.
- Toutes choses étant égales par ailleurs, les heures libérées pourraient réduire les tensions sur le marché du travail, ce qui ralentirait la croissance des salaires et diminuerait le coût marginal de production des industries. En 2035, notre scénario suggère un coût marginal de production de 13 % à 24 % inférieur à celui du scénario de référence.
- Cette diminution du coût marginal se répercuterait sur l'ensemble de l'économie, incluant une baisse des prix des biens et services disponibles pour les Québécois. La baisse de prix est évaluée à 7 % et 15 %, selon le scénario.
- Cette baisse de prix stimulerait la croissance économique de la province, car elle permettrait à l'ensemble des acteurs de l'économie (consommateurs, gouvernement, industries, acheteurs à l'extérieur de la province) d'obtenir plus de biens et services pour un même montant dépensé.

Évolution moyenne des coûts marginaux de production selon le scénario



Évolution des prix à la consommation selon le scénario



Source : Analyse PwC à partir des simulations du modèle Hercule-impacts.
1. Les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence. PwC (2018), The macroeconomic impact of artificial intelligence

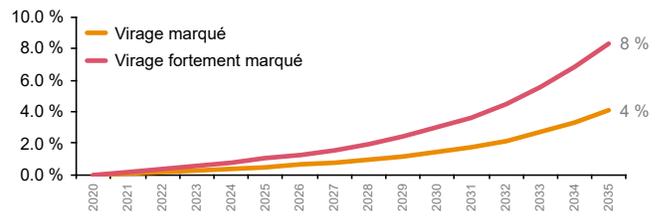
14 McKinsey&Company (2018), Visualising the uses and potential impact of AI and other analytics. À noter que les paramètres estimés dans cette étude sont pour l'économie mondiale.

3. Les gains de productivité des entreprises pourraient permettre au Québec de réduire son déficit commercial

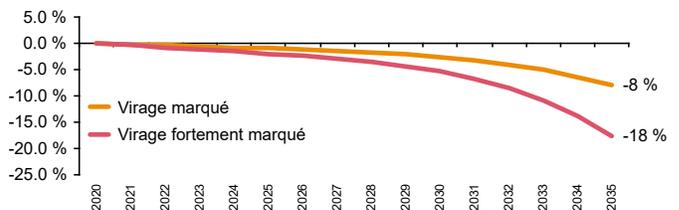
Un potentiel pour une hausse de la compétitivité des entreprises

- La diminution du coût marginal de production des industries permettrait aux entreprises québécoises de bénéficier d'un meilleur coût pour leurs intrants, ce qui augmenterait leur avantage compétitif auprès de leurs partenaires commerciaux à l'extérieur du Québec. Ceci pourrait se traduire par une hausse des exportations de 4 % et de 8 % par rapport au scénario de référence.
- De plus, cette hausse de compétitivité pourrait rendre les produits et services du Québec plus intéressants aux yeux des consommateurs québécois, entraînant une augmentation de la demande pour ces produits et services et, par conséquent, une diminution des importations de la province.
- Au total, 80 % des gains au PIB réel seraient attribuables à des surplus enregistrés à la balance commerciale.

Impacts des gains de productivité sur les exportations de la province



Impacts des gains de productivité sur les importations de la province



Source : Analyse PwC, Hercule-Impacts.

Note : Dans le contexte économique simulé, la productivité du reste du monde pour la période 2021 à 2035 est estimée à partir des données historiques.

Remarques

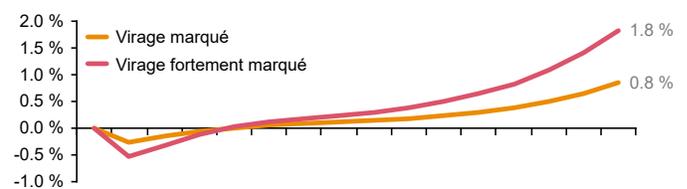
Ces résultats reflètent une croissance de la compétitivité de l'économie québécoise par rapport à ses partenaires commerciaux dans un contexte où ces derniers continuent d'adopter les technologies de l'IA au même rythme que dans les dernières années. Dans le modèle, les principaux partenaires commerciaux du Québec sont l'Ontario et les États-Unis. L'adoption marquée permettrait de combler l'écart que l'on observe actuellement.

4. Un effet mitigé sur la demande de travailleurs de la part des entreprises

Un effet net positif, quoique faible, sur le nombre d'emplois

- D'un côté, les gains de productivité contribuent à libérer des heures de travail, augmentent le bassin de travailleurs disponibles et ajoutent ainsi des pressions à la baisse sur la croissance des salaires des travailleurs et de leur pouvoir d'achat.
- D'un autre côté, la diminution de la croissance des salaires augmente l'attrait des travailleurs aux yeux des entreprises, ce qui les incite à engager davantage de main-d'œuvre.
- En somme, on pourrait assister à une croissance de l'emploi relativement modeste, entre 0,8 % et de 1,8 % d'ici 2035, par rapport à la croissance de l'économie.

Impacts des gains de productivité sur le nombre de travailleurs



Source : Analyse PwC, Hercule-Impacts

1. Le pouvoir d'achat des représente le revenu disponible des ménages québécois en dollars constants de 2012.

Cet effet limité sur la croissance nette de l'emploi ne doit pas être interprété comme un élément négatif car le défi du marché du travail québécois n'est pas de hausser le nombre d'emplois comme de diminuer l'impact des pénuries de main-d'œuvre. En augmentant la productivité des entreprises, l'IA permettant de créer de la richesse sans nécessairement augmenter le nombre de travailleurs.

Remarques

Les résultats de notre modèle présument que les personnes qui perdent leur emploi en raison des gains de productivité finissent par se trouver un nouvel emploi dans un secteur où la demande de main-d'œuvre augmente.

En réalité, cette relocalisation de la main-d'œuvre risque d'être beaucoup moins fluide en raison des frictions entourant la requalification de ces individus d'un secteur à l'autre. Similairement, notre modèle ne tient pas compte du fait que les travailleurs requalifiés pourraient avoir accès à des emplois offrant de meilleurs salaires, ce qui augmenterait leur pouvoir d'achat.

5. Pour certains secteurs, les gains en productivité pourraient être significatifs

L'impact de l'adoption de l'IA par les différents secteurs sur l'économie du Québec dépendra de plusieurs facteurs dont : la taille du secteur, son niveau actuel de productivité du travail et sa vitesse d'adoption.

- Les secteurs suivants pourraient connaître une croissance de productivité nettement plus prononcée que l'ensemble de l'économie : **l'hébergement et les services de la restauration, les arts spectacles et loisirs (divertissements), le commerce de gros et de détail.**
 - **L'hébergement, les services de la restauration et le divertissement** sont des secteurs qui, historiquement, affichent une productivité du travail relativement faible alors qu'ils sont particulièrement intensifs en travail. Ainsi, les gains que permettra l'IA seront importants afin de rehausser la productivité de ces secteurs.
 - **Les secteurs du commerce** pourraient connaître une croissance de productivité très importante sur la période grâce à l'IA, soit plus de 4 fois supérieur aux gains que l'on pourrait observer dans l'ensemble des secteurs. Les bénéfices pour l'économie pourraient être tout aussi significatifs puisqu'ils représentent 11 % de l'économie québécoise.
- **Les secteurs de la fabrication, du transport et de la santé et des services sociaux** connaîtraient une croissance de productivité relativement similaire à l'ensemble de l'économie, soit de 8,9 %.
 - Étant donné sa taille (14 % de l'économie), les gains de productivité dans le secteur de la fabrication auront un impact significatif sur l'économie québécoise.
 - Dans le cas du secteur de la santé, on s'attend à ce que l'impact de l'IA soit important, cependant la question d'accès aux données pourrait rendre son adoption plus complexe.
- Finalement, pour le secteur de **la finance**, les gains pourraient être légèrement inférieurs à l'ensemble de l'économie, cependant, ils pourraient être atteints relativement rapidement. Il est à noter que dans ce secteur ainsi que pour celui du transport, les bénéfices de l'adoption de l'IA pourraient se manifester davantage par une amélioration des produits offerts aux consommateurs que par des gains de productivité du travail⁵.

15 PwC, 2018. The macroeconomic impact of artificial intelligence



© PricewaterhouseCoopers LLP/s.r.l./s.e.n.c.r.l., une société à responsabilité limitée de l'Ontario, 2022. Tous droits réservés.

PwC s'entend du cabinet canadien, et quelquefois du réseau mondial de PwC. Chaque société membre est une entité distincte sur le plan juridique. Pour obtenir de plus amples renseignements, visitez notre site Web à l'adresse : www.pwc.com/structure