

The background of the entire page is a dynamic, abstract graphic consisting of numerous bright blue, glowing fiber optic strands. These strands are oriented vertically and diagonally, creating a sense of depth and movement. The light from the strands is soft and diffused, with some areas appearing more intense than others, giving the overall effect a futuristic and technological feel.

# Analyse économique des investissements réalisés en intelligence artificielle au Québec

Rapport final présenté au Forum IA Québec  
Mars 2022

# Table des matières

Contexte, objectifs et approche méthodologique	3
Sommaire	9
Chapitre 1 : La recherche et le développement des talents : un point d’ancrage de la stratégie IA au Québec	14
Chapitre 2 : Le développement de l’offre de services en IA, de la recherche aux applications concrètes	21
Chapitre 3 : Les impacts économiques de l’adoption à grande échelle de l’IA	29
Annexes 1 et 2 : Regard sur le potentiel de l’IA dans le secteur manufacturier et le secteur de la santé	43
Annexes méthodologiques	63

## 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 de 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 autre 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.



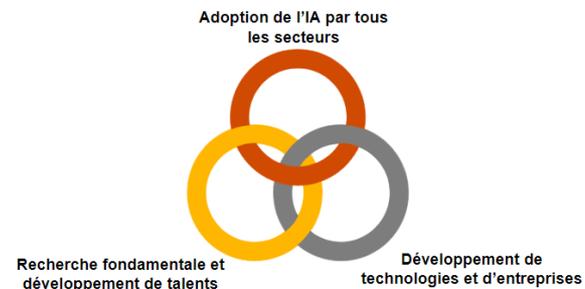
Contexte, objectifs  
et approche méthodologique

# Contexte du mandat

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), etc<sup>1</sup>. 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 :

- La recherche fondamentale et le développement de talents;
- Le développement d'entreprises qui proposent des produits et des services d'IA;
- L'adoption de l'IA dans tous les secteurs d'activité 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 et le rehaussement des compétences 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 soutenir des retombées économiques importantes en plus d'avoir la capacité à répondre aux enjeux de productivité et de pénurie de main-d'œuvre.

Afin de planifier les prochaines étapes de la stratégie à déployer pour saisir tout le potentiel de retombées économiques et sociales lié au développement et à l'adoption de l'IA en plus de positionner favorablement le Québec à l'échelle mondiale, il est important de bien comprendre les acquis de l'écosystème d'IA au Québec.

Notes : 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.

# Objectifs

Dans ce contexte, le Forum IA Québec a mandaté PwC afin d'être soutenu dans ses efforts visant à mieux comprendre les effets économiques et sociaux (par exemple: l'accès à de meilleurs services, le rehaussement de la richesse par habitant) des investissements publics et privés réalisés au Québec entre 2017 et 2021. Cette étude permet de mettre en évidence la contribution socioéconomique des investissements en IA selon les trois angles suivants :

1

**Estimer les impacts économiques liés aux investissements réalisés au Québec par les secteurs privé et public en IA.** Cet apport comprend la contribution au produit intérieur brut (PIB), les emplois soutenus au Québec ainsi que les revenus fiscaux qui découlent des investissements. D'autres indicateurs sont également inclus dans l'analyse afin de mettre en évidence les effets socio-économiques structurants du développement de l'IA au Québec.

2

**Illustrer les impacts économiques potentiels pour l'économie québécoise d'un rehaussement de la productivité** des entreprises engendré par l'adoption à long terme des technologies de l'IA à travers une analyse prospective sur la période 2021 à 2035.

3

Démontrer le potentiel de l'IA pour le secteur manufacturier et le secteur de la santé au Québec.

L'analyse distingue trois phases de développement de l'écosystème. Bien qu'il existe une certaine chronologie de déploiement (par exemple, nous avons besoin de talents issus des universités pour assurer l'adoption dans les entreprises), on observe également des échanges entre les entreprises des différents secteurs de l'économie et le milieu de la recherche.

Recherche et formation de talents

La recherche et la formation permettent de fournir une expertise de pointe ainsi que la main-d'œuvre qualifiée qui sera nécessaire au secteur privé.

Développement d'entreprises qui fournissent des services en IA

La renommée internationale du Québec dans le domaine de la recherche a permis d'attirer des investisseurs qui désirent développer des applications concrètes en IA.

Adoption de l'IA dans tous les secteurs de l'économie

L'accroissement des connaissances et de l'offre de produits et services soutenus par l'IA mènera à une adoption de l'IA à grande échelle.

Les échanges entre les entreprises et le milieu de la recherche orientée par les besoins de connaissances et d'innovation.

# Une démarche en trois étapes

## 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 IA<sup>1</sup>.
- 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 recherche et la stratégie gouvernementale.

## 3. Potentiel de l'IA dans deux secteurs d'activité

### Activités clés

- Développer des études de cas sur le potentiel de l'adoption de l'IA pour le secteur manufacturier et pour le secteur de la santé au Québec :
  - Pour chaque secteur, nous avons documenté les principales applications de l'IA ainsi que leur impact potentiel dans le contexte du Québec.
  - Le secteur manufacturier et le secteur de la santé ont été retenus parce qu'ils font partie des secteurs les plus touchés par la pénurie de main-d'œuvre et pourraient bénéficier des technologies d'IA.

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.

# Structure du rapport

**En plus du sommaire, le rapport est structuré en trois chapitres et contient une annexe présentant des études de cas.**

Les chapitres 1, 2 et 3 sont structurés selon la logique de développement de l'écosystème d'IA. Dans un premier temps, le volet de la recherche s'est développé et sa vigueur a contribué à l'essor d'une base solide d'entreprises qui offrent des produits et des services soutenus par l'IA. À terme, ces deux axes de développement devraient contribuer à une plus grande adoption de l'IA par l'ensemble des secteurs de l'économie au Québec.

**1**

## **La recherche et le développement des talents : un point d'ancrage pour la stratégie IA au Québec**

Cette section présente les différents flux des investissements qui ont été accordés au milieu de la recherche ainsi que les retombées économiques qui en découlent. D'autres indicateurs comme le nombre de publications et de citations, l'évolution des inscriptions dans les programmes universitaires liés à l'IA, etc., sont également présentés.

**2**

## **Le développement de l'offre de service en IA : passer de la recherche aux applications concrètes**

Similaire au chapitre 1, ce chapitre présente les différents flux des investissements qui ont été accordés aux entreprises qui développent des technologies d'IA ainsi que les retombées économiques qui en découlent. D'autres indicateurs comme le nombre de compagnies présentes dans l'écosystème, le niveau des salaires, les demandes de brevet, etc., sont également présentés.

**3**

## **Les impacts économiques de l'adoption à grande échelle de l'IA**

Ce chapitre explore, de façon prospective, les impacts potentiels sur l'économie québécoise d'une augmentation de la productivité du travail des industries québécoises en raison d'une plus forte adoption des technologies de l'IA par les entreprises.

**A**

## **Études de cas sur le potentiel de l'IA dans deux secteurs d'activité**

La dernière section aborde plus en détail le potentiel de l'IA pour le secteur manufacturier et le secteur de la santé.

# Notes et limites de l'étude

La réalisation de cette étude a donné lieu à certains défis qui doivent être soulignés d'emblée :

1. Certaines limitations quant aux données pour la modélisation des impacts économiques des investissements :
  - La modélisation des impacts économiques liés aux investissements en IA nécessite de dresser un portrait des flux du financement, c'est-à-dire de comprendre d'où provient le financement et comment les montants sont dépensés par les différents bénéficiaires. Étant donné la diversité des acteurs œuvrant dans le milieu de l'IA et la difficulté à les joindre, nous n'avons pas été en mesure de dresser un portrait précis de la chaîne de financement. Par conséquent, les données présentées sont tirées principalement des publications disponibles publiquement. Dans certains cas, les données nous ont été transmises par les organismes et certains ministères qui ont participé au financement de l'IA.
  - Afin de pallier le manque d'information sur les vecteurs de dépenses des organismes de recherche et des entreprises qui fournissent des technologies de l'IA, nous avons utilisé les profils moyens des secteurs d'activité disponibles dans les tables des ressources et des emplois de Statistique Canada. Comme l'IA ne correspond pas à un code d'industrie spécifique, nous avons utilisé les profils correspondant aux activités de recherche et de développement scientifique et à l'édition de logiciels. De plus, nous faisons l'hypothèse que les montants reçus par les différents organismes et entreprises ont été utilisés entièrement pour leurs dépenses d'exploitation courantes.
2. Les taux d'adoption ainsi que l'impact de l'IA selon les secteurs demeurent encore flous, ce qui nous a amené à poser certaines hypothèses pour le développement de scénarios :
  - Les deux scénarios de modélisation que nous avons développés sont basés sur la littérature et les données existantes au moment de la réalisation de cette étude. En raison de l'incertitude quant à l'évolution de l'adoption de l'IA par les entreprises ainsi qu'aux gains de productivité qui en résulteront, les résultats de notre modélisation ne peuvent être considérés comme des projections, mais plutôt comme une illustration de l'étendue et des types d'impacts pour l'économie québécoise.

# Sommaire



# Des investissements qui se sont traduits en impacts socio-économiques

L'essor de l'IA a un impact structurel sur l'économie à travers plusieurs impacts socio-économiques.

Ces impacts prennent la forme :

- de la création de talents, de nouvelles expertises et de l'attraction d'étudiants internationaux;
- du développement d'une industrie à forte valeur ajoutée;
- d'un environnement favorable à la recherche et au développement;
- d'un environnement favorable au développement d'entreprises.



Plus de

**400**

entreprises qui offrent des produits et services propulsés par l'IA.



**225**

entreprises en démarrage en 2021<sup>1</sup>.



**3 050**

emplois directs et indirects qui ont été soutenus par les investissements en IA au Québec en moyenne par année<sup>2</sup>.



**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<sup>3</sup>.

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\$. 3. Source: analyse de Tortoise.

# Le financement de l'intelligence artificielle au Québec

## 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 PIB<sup>1</sup>**

- 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\$

# Les investissements en IA ont permis de soutenir l'essor de l'écosystème...

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.

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

## Impacts du rehaussement de la productivité lié à l'IA

Afin de concrétiser tout le potentiel de l'IA, la prochaine étape sera de passer à une adoption importante de ces technologies par l'ensemble des industries.

Cette adoption permettrait des gains de productivité pour les entreprises qui se traduiraient par des bénéfices pour l'économie et la société québécoise.

## Les principaux effets sur l'économie d'une adoption marquée :

1. Une croissance économique propulsée par une augmentation sensible des gains de productivité qui pourrait se traduire par une augmentation du PIB réel québécois de 7 % à 15 % d'ici 2035.
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 modélisation<sup>1</sup>

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 présentée dans cette étude permet d'illustrer les impacts d'un virage important vers une plus grande adoption de l'IA pour la période de 2021 à 2035 par rapport à un scénario qui correspond à la situation actuelle. Étant donné l'incertitude qui entoure l'adoption et les impacts de l'IA, les résultats permettent d'illustrer une direction et un ordre de grandeur et non une prédiction précise.

**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.**

# 1

La recherche et le développement des talents : un point d'ancrage de la stratégie IA au Québec



# Les investissements importants en recherche ont soutenu le développement d'un écosystème de classe mondiale

## Des engagements importants de la part du gouvernement du Québec et du gouvernement fédéral

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).

Entre 2017 et 2021, le gouvernement du Québec a investi 140 M\$ dans les centres de recherche en IA, et le gouvernement fédéral a contribué à hauteur de 260 M\$. Plusieurs ministères et organismes sont impliqués dans le financement de l'IA, notamment Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et le MEI.

## 400 M\$

*investis dans les centres de recherche au Québec, dont 140 M\$ provenant du gouvernement du Québec et 260 M\$ du gouvernement fédéral*



Note : Échantillon non exhaustif des organisations qui font partie de l'écosystème IA au Québec.

# 1 Les montants injectés ont permis de soutenir l'économie du Québec par la création d'emplois et de valeur ajoutée

Les investissements de 400 M\$ dans les centres de recherche ont permis de soutenir leurs activités d'exploitation. Ces dépenses, notamment en salaires, se sont traduites par une contribution à la valeur ajoutée de l'économie québécoise de 341,1 M\$. De plus, ces investissements ont soutenu 3 276 emplois pour la période, ou l'équivalent de 655 emplois par année.

- 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.).

## Retombées économiques pour le Québec des investissements dans les centres de recherche en 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
<b>Valeur ajoutée (en M\$)</b>	<b>252,5</b>	<b>88,6</b>	<b>341,1</b>
Salaires et traitements	187,1	53,6	240,7
Autres revenus bruts	65,4	35,0	100,4
<b>Emplois soutenus (en année-personne)</b>	<b>2 271</b>	<b>1 005</b>	<b>3 276</b>
Moyenne annuelle	454	201	655
<b>Revenus pour le gouvernement du Québec</b>	<b>27,3</b>	<b>11,3</b>	<b>38,6</b>
<b>Revenus pour le gouvernement fédéral</b>	<b>22,9</b>	<b>5,5</b>	<b>28,5</b>

### Remarques

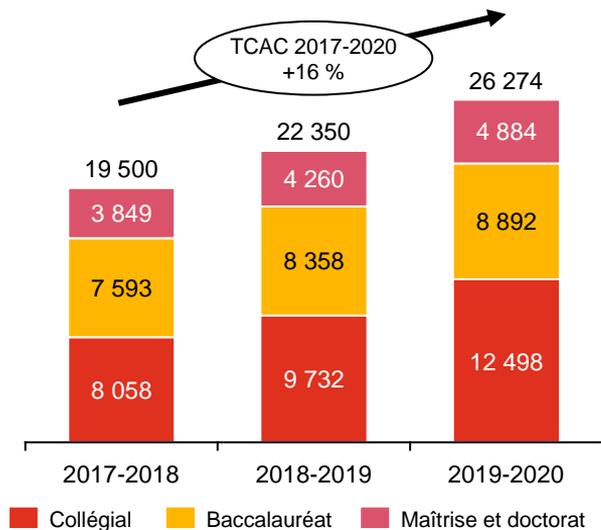
Les activités de recherche sont reconnues pour leur forte contribution à l'économie locale puisque que les dépenses liées à leurs activités (principalement des salaires) sont en majorité effectuées dans la province. Ainsi, très peu de fuites, soit des dépenses hors de la province, sont associées à ce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

Sources : Simulation à partir des multiplicateurs de recherche et développement scientifique de Statistique Canada. Analyse PwC.

# En plus de sa contribution à l'économie, le milieu universitaire soutient la création de talents...

## Croissance des inscriptions dans les programmes de mathématiques et d'informatique au Québec

Pour la période de 2017 à 2020 (2020 étant la dernière année disponible)



TCAC : Taux de croissance annuel composé.

Source : Statistique Canada, tableau : 37-10-0163-01. Analyse PwC.

## Une croissance soutenue des inscriptions dans les programmes liés à l'IA

Entre 2017 et 2020, le nombre d'inscriptions dans des programmes de mathématiques et d'informatique a crû de 16 % en moyenne par année au Québec. À l'échelle canadienne, cette croissance était de 11 %. Ainsi, la création de talents en IA se distingue au Québec.

La croissance des inscriptions a été particulièrement soutenue pour les étudiants inscrits dans des programmes de deuxième et troisième cycle, ces programmes ont vu leur nombre d'inscriptions bondir de 27 % entre 2017 et 2019.

De plus, les programmes liés à l'IA gagnent en traction au Québec par rapport à l'ensemble des programmes post-secondaires. En effet, alors que les inscriptions dans les programmes liés à l'IA ont augmenté de façon significative, elles ont stagné pour l'ensemble des cursus collégiaux et universitaires.

Le Mila à lui seul regroupe plus de 800 chercheurs étudiants (maîtrise, doctorat, postdoctorat, stagiaires, visiteurs) et étudiants. Il s'agit de la plus grande concentration de chercheurs universitaires en apprentissage profond au monde<sup>1</sup>.

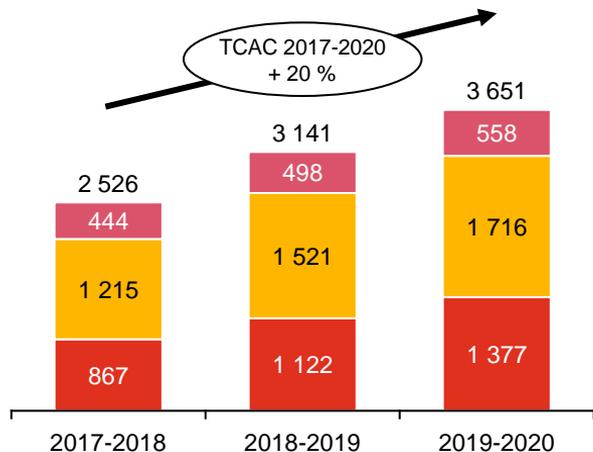
## Des professionnels qui joignent les rangs des entreprises québécoises

Une fois leur formation terminée, ces étudiants constitueront une main-d'œuvre hautement qualifiée dont pourront bénéficier les entreprises et les organisations québécoises pour les aider à prendre le virage de l'IA. Selon des données du Mila, 90 % des diplômés des programmes de maîtrise professionnelle et de DESS (associés au Mila) travaillent dans des organisations québécoises<sup>1</sup>.

Sources : Statistique Canada. 1. Mila, Rapport d'impact 2020-2021.

### Croissance des inscriptions des étudiants internationaux dans les programmes universitaires de mathématiques et d'informatique au Québec

Pour la période de 2017 à 2020 (2020 étant la dernière année disponible)



TCAC : Taux de croissance annuel composé.

Source : Statistique Canada, tableau : 37-10-0163-01. Analyse PwC.

### Des programmes qui accueillent une forte proportion d'étudiants internationaux

- En 2020, 26 % des étudiants inscrits dans les programmes universitaires de mathématiques et d'informatique provenaient de l'extérieur du Canada, comparativement à 16 % pour l'ensemble des programmes.
- Selon les données du Mila, 70 % des étudiants rattachés à l'organisme proviendraient de l'extérieur du Canada<sup>1</sup>.

### Une croissance du nombre d'étudiants internationaux dans les programmes universitaires de mathématiques et d'informatique

- Entre 2017 et 2020, le nombre d'étudiants internationaux dans les programmes universitaires de mathématiques et d'informatique a crû de 20 % chaque année. Pour l'ensemble des programmes, cette croissance n'était que de 7 % à l'échelle du Québec. Ces résultats laissent sous-entendre que la renommée des universités québécoises en IA est un facteur d'attraction important pour les étudiants internationaux.

### Les retombées liées à l'accueil d'étudiants internationaux

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 portant sur des données longitudinales d'immigration depuis 2000, 3 étudiants internationaux sur 10 ont immigré au pays dans les 10 ans suivant l'obtention de leur premier permis d'études. Cette proportion s'élève à plus de 50 % chez les étudiants internationaux qui sont venus étudier pour obtenir une maîtrise ou un doctorat<sup>2</sup>.

# Les investissements ont permis de rendre le milieu universitaire prospère et attrayant pour les scientifiques

## Des programmes pour retenir les chercheurs dans le milieu universitaire



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 et de retenir les meilleurs talents. Ce facteur est important dans le développement de l'écosystème puisque la rareté des talents a créé, dans le milieu universitaire, un « exode des cerveaux ». Les chercheurs se sont en effet tournés vers les entreprises, où ils sont mieux rémunérés et où ils ont accès à plus de ressources.

En offrant un financement à long terme et prévisible pour les activités de recherche, 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 associés a plus que doublé, passant de 41 à 85 professeurs.

48

Chaires CIFAR actives au Québec – croissance de 400 % en 2 ans

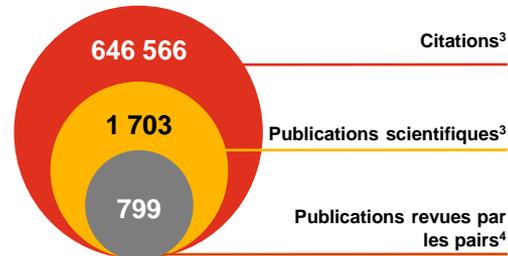
## Le milieu de la recherche est particulièrement productif



Selon l'Index de Tortoise, le Québec se distingue considérablement dans la recherche fondamentale. Il arrive au premier rang selon le nombre de citations par publication et 2<sup>e</sup> sur l'indice-H<sup>1</sup>.

De plus, on retrouve au Québec :

- 11 universités offrant des programmes d'IA;
- 36 136 chercheurs dans le secteur des STIM<sup>2</sup>.



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 pour le compte du Mila, 2021.

## Plusieurs acteurs de l'écosystème de recherche jouissent d'une renommée internationale



**2020 – Google Focused Research Award**  
Guillaume Lajoie

**2020 – 10 femmes faisant progresser l'IA**  
Joëlle Pineau, Doina Precup

**2020 – AI 2000 Most Influential Scholars**  
Y. Bengio, A. Courville, S. Ozaor, D. Bahdanau, H. Larochelle

**2019 – Governor General's Innovation Award**  
Joëlle Pineau

**2018 – Turing Award / équivalent du prix Nobel d'informatique**  
Yoshua Bengio

**Le Québec a démontré sa capacité d'attirer et de retenir des chercheurs de renommée internationale ainsi que de former des talents hautement qualifiés. Ces importants acquis devront être maintenus pour assurer l'application des prochaines phases du déploiement de l'IA à l'ensemble de l'économie.**

**Cette section a mis en lumière les nombreuses retombées associées à l'essor du milieu de la recherche en IA au Québec qu'ont permis les engagements des gouvernements fédéral et provincial.**

**La force de cet écosystème est également corrélé avec le développement d'un bassin d'entreprises qui développent des produits et des services qui intègrent les technologies de l'IA.**

**Néanmoins, les talents qui contribuent à la recherche et qui sont formés dans les universités québécoises évoluent dans un marché mondial hautement compétitif. Par conséquent, la rétention de la main-d'œuvre formée au Québec devra être au cœur des priorités afin de faire progresser l'IA au Québec.**



# 2

Le développement de l'offre de service en IA : de la recherche aux applications concrètes

```
elif operation == "MIRROR_Y":  
    mirror_mod.use_x = False  
    mirror_mod.use_y = True  
    mirror_mod.use_z = False  
elif operation == "MIRROR_Z":  
    mirror_mod.use_x = False  
    mirror_mod.use_y = False  
    mirror_mod.use_z = True  
  
#selection at the end -add back the deselected mirror modifier object  
mirror_ob.select= 1  
modifier_ob.select=1  
bpy.context.scene.objects.active = modifier_ob  
print("Selected" + str(modifier_ob)) # modifier ob is the active ob  
    mirror_ob.select = 0  
None = bpy.context.selected_objects[0]  
bpy.data.objects[mirror_ob.name].select = 1
```

## 2 Le secteur public a investi 413 M\$ afin de soutenir le développement d'entreprises en IA

- 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.

**413 M\$**

*investis dans le développement d'entreprises en IA au Québec, dont 153 M\$ provenant du gouvernement provincial et 260 M\$ du gouvernement fédéral*

### Start-ups



### Organismes de soutien



## 2 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 Anges Québec, soutiennent à divers stades 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.

### 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

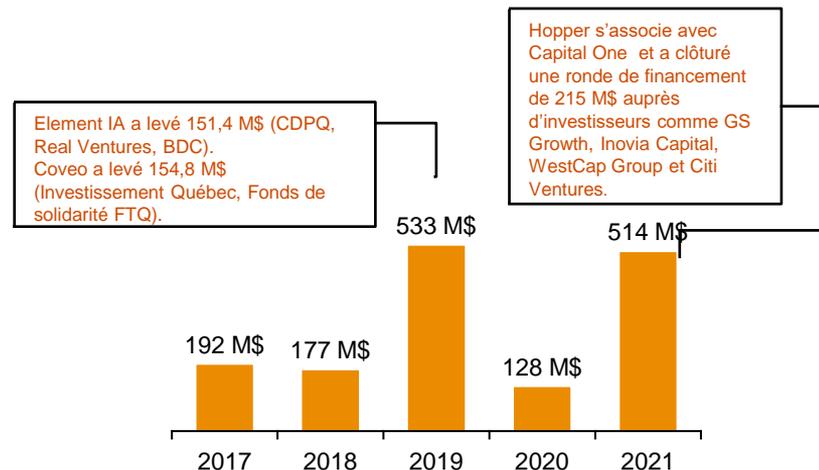
- En général, ils ont adopté une approche indirecte en investissant dans des fonds privés plutôt que directement dans les entreprises pour les rondes hâtives. Ils sont davantage présents dans les rondes tardives, principalement en co-investissant dans les entreprises.
- Investissement Québec (IQ) a mis 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.

### On retrouve au Québec de plus en plus de fonds spécialisés dans le domaine technologique

- Depuis quelques années, on observe la venue de certains fonds spécialisés en technologie au Québec comme le nouveau 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).

### 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.

# 3 Les investissements ont permis de soutenir des entreprises

## qui contribuent à la création d'emplois et à la croissance de l'économie

**L'appui du secteur public et la vigueur des investissements en capital de risque ont permis de soutenir des compagnies qui contribuent à l'accroissement de la richesse collective à travers les dépenses qui soutiennent leurs activités.**

- Au total, près de 1,9 G\$ ont été investis dans les entreprises qui fournissent des technologies liées à l'IA au Québec. Ces investissements se sont traduits par une contribution au PIB de près de 1,6 G\$, dont 65 % correspond à des salaires.
- En moyenne, les investissements ont soutenu près de 2 400 emplois directs et indirects annuellement.
- 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
<b>Valeur ajoutée (en M\$)</b>	<b>1 221,4</b>	<b>329,4</b>	<b>1 550,8</b>
Salaires et traitement	823,5	198,0	1 021,5
Autres revenus bruts	397,9	131,4	529,3
<b>Emplois soutenus (en année-personne)</b>	<b>8 167</b>	<b>3 806</b>	<b>11 973</b>
Moyenne annuelle	<b>1 633</b>	<b>761</b>	<b>2 395</b>
<b>Revenus pour le gouvernement du Québec</b>	<b>155,0</b>	<b>44,2</b>	<b>199,2</b>
<b>Revenus pour le gouvernement fédéral</b>	<b>107,2</b>	<b>20,0</b>	<b>127,2</b>

Sources : Simulation à partir des multiplicateurs de l'industrie de l'Édition de logiciel de Statistique Canada. Plus de détails sont présentés en Annexe. Analyse PwC.

# 3 Le secteur de l'IA soutient la création 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 Québec. Les emplois liés à l'IA sont très bien rémunérés. En moyenne, ces professionnels touchent un salaire annuel de 84 000\$<sup>1</sup>, ce qui correspond à 56 % de plus que le salaire moyen au Québec.<sup>2</sup>

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

2. 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.

# 3 Le Québec présente un potentiel commercial intéressant qui pourrait être davantage développé



## 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 offrir à inclure des services liés à l'IA<sup>2</sup>.



## De nouveaux modèles d'affaires et création de « startups » en IA 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 2021<sup>3</sup>.



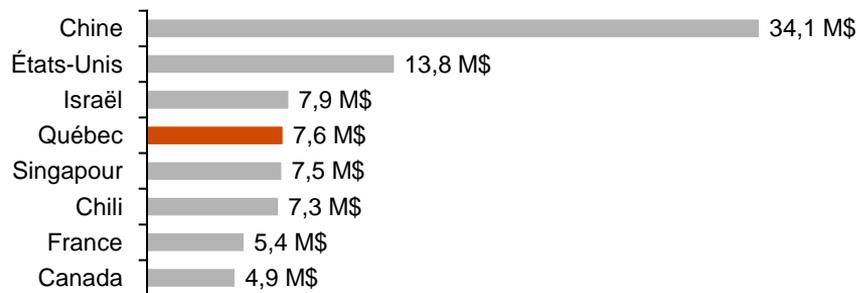
## Nombre de brevets déposés

Depuis 2017, 42 brevets liés à l'IA ont été déposés par différents types de demandeurs et 32 ont été acceptés. Bien qu'incomplète, cette mesure donne une idée de la capacité d'innovation d'une économie. Sur une base *per capita*, le Québec se situe en 7<sup>e</sup> position des pays retenus dans l'indice Tortoise pour cet indicateur, une performance supérieure à l'ensemble du Canada, qui se situe en 13<sup>e</sup> position.

En matière de capital de risque, la Chine mène largement la course dans le secteur de l'IA. Cependant, au Québec, les compagnies en IA lèvent davantage de fonds en capital de risque chacune que la moyenne canadienne. Selon l'indice Tortoise, le Québec est en quatrième position en termes de capital de risque par compagnie à l'échelle mondiale.

## Investissement moyen en capital de risque par compagnie en IA

Données d'octobre 2021<sup>1</sup>



Source : Données de Crunchbase tirées de l'étude de Tortoise.

Note : 1. En millions de dollars américains; 2. Nombre de compagnies recensées par le Forum IA au moment de rédiger ce rapport; 3. Cette valeur peut être considérée comme prudente.

**En somme, le Québec a su mettre en place un environnement favorable au développement d'entreprises en IA.**

- Plusieurs programmes gouvernementaux avec des fonds dédiés sont en place et accessibles pour les entrepreneurs.
- Un réseau d'incubateurs et d'accélérateurs spécialisés en IA ont vu le jour pour accompagner les entreprises productrices d'IA à toutes les étapes de leur croissance.
- L'écosystème de capital de risque s'est spécialisé et les investisseurs ont une meilleure connaissance du développement des entreprises en technologie.

**Cependant, même si on recense une certaine vigueur du côté de l'entrepreneuriat, le potentiel de développement pourrait être plus soutenu.**

- Au cours des dernières années, on a vu apparaître plusieurs jeunes entreprises dans l'écosystème d'IA du Québec. Cependant, plusieurs pays développent leur écosystème et la compétition en termes d'attraction de talent, de capitaux et de parts de marché est forte. Dans ce contexte, les efforts doivent être maintenus afin d'assurer que le Québec se démarque à l'échelle internationale pour le développement d'entreprises et la commercialisation de produits.



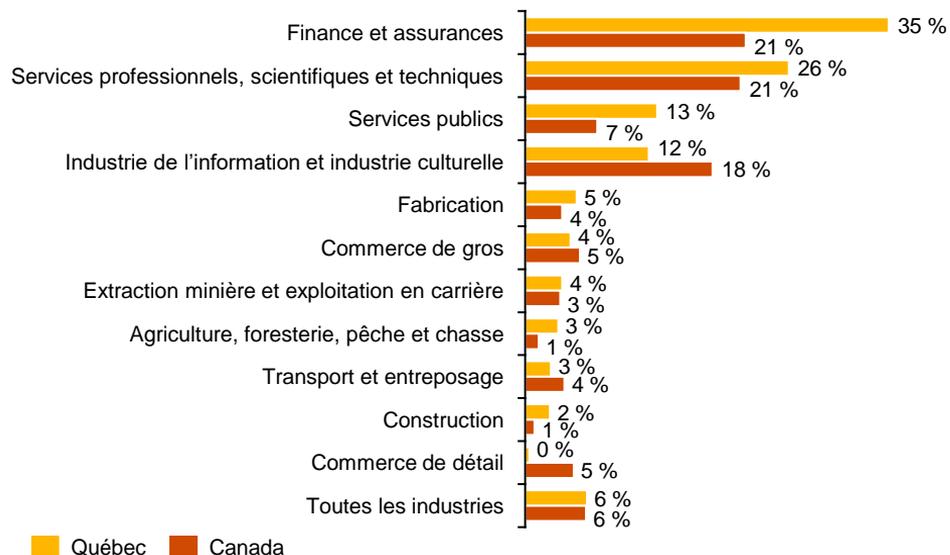
# 3

## Les impacts économiques de l'adoption à grande échelle de l'IA



# Le Québec accuse un retard dans l'adoption de l'IA, mais certains secteurs se distinguent

## Pourcentage des entreprises des principales industries qui utilisent des technologies de l'IA, 2019



Sources : Statistique Canada, Enquête sur l'innovation et les stratégies d'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; Deloitte, 2019. Impératif de l'IA au Canada; OCDE Stats.

Note : Les statistiques sur les taux d'adoption de l'IA doivent être interprétées et comparées entre elles avec précaution, car la définition de l'intelligence artificielle et de ce qu'implique son adoption peuvent différer d'une entreprise ou d'un sondage à l'autre.

## L'adoption de l'IA : un état de la situation

Selon une enquête de Statistique Canada, 6 % des entreprises québécoises utilisaient les technologies de l'IA en 2019, un niveau similaire à ce que l'on observe à l'échelle canadienne.

- Les industries de la finance et des assurances (35 %), des services professionnels, scientifiques et techniques (26 %), des services publics (13 %) ainsi que l'industrie de l'information et l'industrie culturelle (12 %) sont celles ayant la plus grande avance en termes d'adoption de l'IA.

## D'importants défis à surmonter

- Selon une étude produite par Deloitte en 2019, les entreprises canadiennes accusent un retard important par rapport à leurs homologues mondiaux en matière d'adoption de l'IA. Au moins 71 % des entreprises canadiennes n'ont pas encore commencé à utiliser l'IA, et celles qui ont eu recours à cette technologie sont toujours au stade de projets pilotes. **Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence étant donné que les méthodes d'échantillonnage pourraient comprendre une surreprésentation des petites entreprises, qui adoptent moins l'IA.**
- Néanmoins, ces constats rappellent une tendance de fond : les entreprises canadiennes (dont celles du Québec) ont tendance à suivre le mouvement plutôt qu'à se positionner comme meneurs en matière de technologies, et ce, malgré la performance du milieu de la recherche. En 2020, les investissements en R et D des entreprises canadiennes correspondaient à 1,7 % du PIB, alors que pour la moyenne des pays de l'OCDE était de 2,5 %.

# Plusieurs facteurs expliquent le retard dans l'adoption, dont une mauvaise connaissances des technologies

## Si l'IA présente un potentiel de gains de productivité évident, son intégration dans les organisations demeure complexe

- Les entreprises repoussent à plus tard leurs investissements en IA en raison d'un manque de connaissances quant aux avantages et aux implications de l'IA : elles ne comprennent pas les résultats qu'elles peuvent obtenir avec l'IA. Selon un sondage réalisé en 2019 par Deloitte, 78 % des entreprises canadiennes ont déclaré qu'elles n'étaient que peu ou légèrement familiarisées avec les technologies de l'IA offertes et avec les fournisseurs de technologies. Cela démontre également un manque, de la part des fournisseurs d'IA, dans la sensibilisation à l'IA et la démonstration de la pertinence de leurs offres.<sup>1</sup>

## Plusieurs facteurs freinent l'adoption de l'IA par les entreprises québécoises<sup>2</sup>:

- Le manque d'expertise en IA;
- L'absence de stratégie pour l'adoption de l'IA;
- La difficulté à déterminer les applications pertinentes et appropriées de l'IA dans le contexte de l'entreprise;
- La réticence à financer les projets;
- Les défis liés à la sécurité et au respect de la vie privée;
- La complexité de l'intégration de l'IA dans les solutions numériques existantes;
- Le manque de mesures pour évaluer la rentabilité à la suite de l'adoption de l'IA.

L'adoption de l'IA par les entreprises dépendra en partie de la confiance que les entreprises auront envers les algorithmes, de leur niveau de connaissances sur la technologie et également de la perception des avantages qu'elles pourront en tirer. En adoptant les bonnes politiques d'encadrement, en favorisant le développement d'une IA responsable, en soutenant les entreprises qui désirent l'adopter et en accumulant des histoires à succès, l'adoption pourrait s'accélérer rapidement au Québec.

Sources : 1. Deloitte, 2019. L'impératif IA au Canada 2. Ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2020. Les défis de l'adoption de l'intelligence artificielle en entreprise.

# 4 Différents programmes gouvernementaux facilitent l'adoption de l'IA au Québec

Parmi ces incitatifs, on retrouve les suivants :

1. **Crédit d'impôt pour le développement des affaires électroniques (CDAE)** : Le gouvernement du Québec offre un crédit d'impôt allant jusqu'à 30 % (24 % remboursables et 6 % non remboursables) des salaires admissibles pour le développement de logiciels et de solutions informatiques d'une entreprise admissible.
2. **Crédits d'impôt relatifs à la recherche scientifique et au développement expérimental (RS&DE)** : Ce programme permet d'obtenir un crédit d'impôt de 15 % du fédéral et un crédit remboursable de 14 % du provincial sur les salaires et les frais de sous-traitance d'une entreprise qui effectue ou fait effectuer pour son compte de la R et D au Québec.
3. **Programme innovation – IA** : Il s'agit d'une contribution non remboursable allant jusqu'à 30 % des dépenses pour la réalisation du projet, pour des entreprises de moins de 250 employés créant une solution innovante ayant pour objet principal l'IA.

## Scale AI : La supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA du Canada

Scale AI, qui regroupe près de 150 partenaires, soit des entreprises privées, des centres de recherche, des universités et des jeunes pousses, est un pilier important de la mise en œuvre de la stratégie IA canadienne. L'organisme agit comme un pôle d'investissement et d'innovation afin d'accélérer l'adoption et l'intégration de solutions d'IA dans les chaînes d'approvisionnement des entreprises canadiennes.

Concrètement, Scale AI identifie des projets de collaboration entre différents secteurs et partenaires et fournit du financement et des conseils d'experts. Parmi ses priorités, on retrouve les suivantes :

1. Soutenir l'adoption de l'IA par les entreprises;
2. Développer, industrialiser et commercialiser des produits et services d'IA;
3. Soutenir la croissance et l'expansion des PME;
4. Développer la main-d'œuvre.

Au cours de l'exercice 2020-2021, plus du quart (27 %) des investissements de l'organisme a servi à financer des programmes et des projets industriels visant le soutien à l'adoption de l'IA.

# 4 Une fois que les solutions de l'IA sont intégrées dans les entreprises, les gains économiques se manifestent par deux principaux canaux

1

## Gains de productivité et automatisation

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).

2

## Développement d'une nouvelle offre et augmentation de la qualité des produits et des services

Le développement de l'IA correspond au développement d'une nouvelle industrie. Ainsi, on peut s'attendre à voir l'apparition de nouvelles compagnies et de nouveaux modèles d'affaires. Les solutions d'IA permettent également aux entreprises d'offrir des produits de plus grande qualité pour les consommateurs par la personnalisation. Éventuellement, cette nouvelle offre résultera en une augmentation de la demande pour les services et les produits d'IA considérés comme ayant une forte valeur ajoutée.

## Cet impact n'est pas compris dans notre modélisation

La modélisation proposée dans le cadre de cette étude se limite aux gains de productivité du travail et ne comprend pas 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. Comme la demande des consommateurs se limite à leur pouvoir d'achat, cette augmentation de la demande pour les produits et les services d'IA se fait au détriment de la demande pour les autres types de biens et services.

# 4 Une solution potentielle aux enjeux de pénurie de main-d'œuvre qui touchent le Québec

## Les données sur la pénurie de main-d'œuvre montrent le besoin de trouver des solutions

- Au troisième trimestre de 2021, il y avait plus de 238 000 postes vacants au Québec; **une hausse de plus de 73 % en 2 ans.**
- Le Québec se retrouve au **deuxième rang au Canada** à ce titre, derrière la Colombie-Britannique, qui a la plus grande proportion de postes vacants, soit 6,1 %, alors que la moyenne canadienne est de 5,4 %. À titre comparatif, il y a deux ans, ces proportions étaient de 3,6 % et de 3,3 % pour le Québec et le Canada, respectivement.
- Les deux secteurs les plus touchés par la pénurie de main-d'œuvre sont les **services d'hébergement et de restauration** ainsi que les **soins de santé et d'assistance sociale**, avec 37 000 postes vacants chacun.
- En partie pour attirer les travailleurs, **les salaires offerts au Québec ont augmenté de 8,5 %** dans les deux dernières années, avec les plus grandes hausses dans les secteurs étant les plus affectés par la pénurie.

Source : Institut du Québec, 2021 et Statistique Canada.

## Remarque

L'adoption de l'IA dans plusieurs secteurs pourrait être une solution partielle à la pénurie de main-d'œuvre. En effet, les nouvelles et futures technologies d'IA sont et seront capables d'accomplir certaines tâches historiquement accomplies par des humains. Dans certains cas, l'automatisation assistée de l'IA de certaines tâches répétitives pourrait contribuer à des gains rapides, notamment dans les secteurs de la finance, du commerce de détail et de la santé.



# 4 Quelques exemples concrets des impacts potentiels de l'IA sur la productivité du travail des entreprises

Fonction	Avantages d'intégrer l'IA	Exemples d'applications de l'IA
Planification et stratégie	Réduit le risque, le temps et le capital nécessaires afin de passer de la stratégie à l'exécution.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simuler les conditions du marché afin de planifier la production et de fixer un prix optimal.</li> </ul>
Innovation et R et D	Réduit le temps nécessaire avant de réaliser des avancées technologiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repositionner des médicaments : analyser les données de recherches scientifiques et cliniques afin de cerner d'autres utilisations pour des médicaments déjà approuvés.</li> </ul>
Approvisionnement et production	Augmente la production et/ou la qualité des produits en utilisant moins d'intrants, économies de temps et d'argent.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Commander automatiquement les matières premières pour répondre aux ventes prévues selon les délais de production et de livraison.</li> <li>• Automatiser des lignes d'assemblage et des processus.</li> </ul>
Marketing, ventes et service après-vente	Améliore la communication entre l'entreprise et le consommateur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recevoir des recommandations personnalisées pour les consommateurs.</li> <li>• Joindre sa clientèle par un système de clavardage automatisé (<i>Chatbot</i>) propulsé par l'IA.</li> </ul>
Activités de soutien (ex. : finance, TI)	Réduit les coûts et les risques en raison d'une meilleure planification et de meilleures projections.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assurer un meilleur suivi des effets indésirables d'un produit pharmaceutique sur un patient (tendances des visites chez le médecin, rapports sur les médias sociaux, etc.).</li> </ul>

Source : Analyse PwC et PwC (2018), *The macroeconomic impact of artificial intelligence*.

# 4 Illustration des impacts économiques potentiels

## d'un virage marqué de l'adoption de l'IA au Québec

Les résultats de la modélisation présentés dans les pages suivantes illustrent un scénario hypothétique où :

1. 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, une meilleure compréhension de la technologie ou un meilleur accès aux données.
2. 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**.
3. 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).
4. 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 industrie<sup>1</sup>.

### Note aux lecteurs

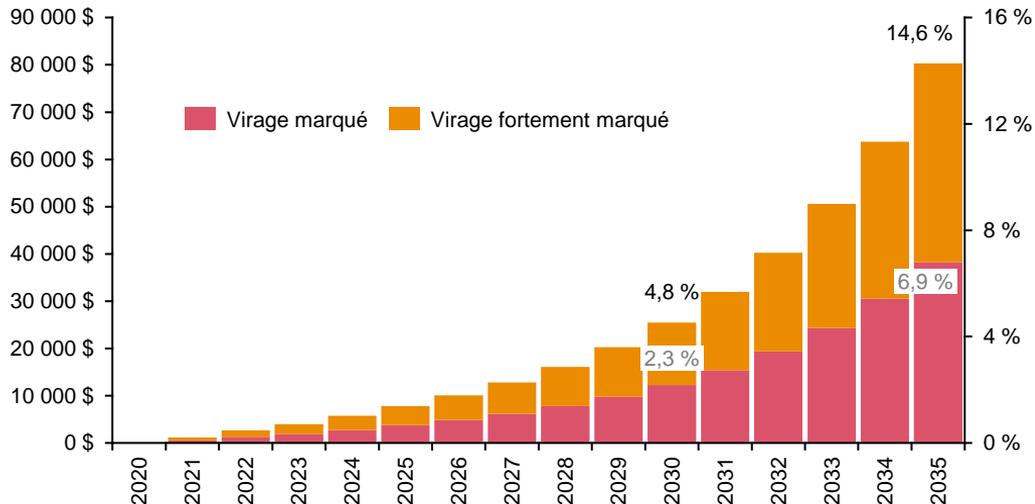
L'IA est une technologie émergente et la nature et l'ampleur des impacts qui découleront de son adoption restent encore à déterminer. Dans ce contexte, les hypothèses à la base de notre modélisation reposent sur la littérature et les données disponibles au moment de rédiger ce rapport, tout en demeurant relativement prudentes. En reconnaissant que les impacts de l'IA dépendront d'une multitude de facteurs, notre modélisation présente deux scénarios qui permettent d'**illustrer la direction des impacts et l'ampleur de ces derniers** pour l'économie du Québec. Par conséquent, les résultats de la modélisation doivent être interprétés avec prudence et à titre indicatif seulement.

1. 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.

# 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 %

## Impacts des gains de productivité liés à l'adoption de l'IA sur le PIB réel du Québec pour la période de 2020 à 2035<sup>1</sup>

(millions de dollars, 2021)



Source : Analyse PwC, Hercule-Impacts.

1. Les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence. 2. PwC (2018), *The macroeconomic impact of artificial intelligence*.

## Un moteur de croissance économique

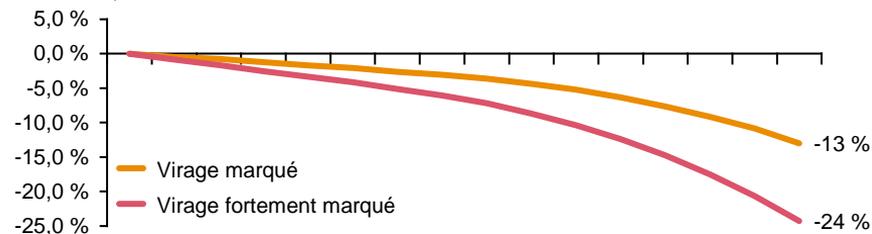
- D'ici 2035, de 38 G\$ à 80 G\$ pourraient être ajoutés au PIB québécois grâce aux gains de productivité liés à l'adoption de l'IA, soit une croissance de 6,9 % à 14,6 % par rapport au scénario de référence.
- La variation entre les deux estimations reflète le rythme d'adoption des technologies de l'IA 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.

*Aux fins de comparaison, une étude antérieure réalisée par PwC estimait que les gains de productivité liés à l'IA augmenteraient le PIB réel de l'Amérique du Nord et de l'Europe du Nord de 6,7 % et de 2,3 %, respectivement, en 2030<sup>2</sup>. Similairement, notre présente modélisation suggère une hausse de 2,3 % et de 4,8 % en 2030.*

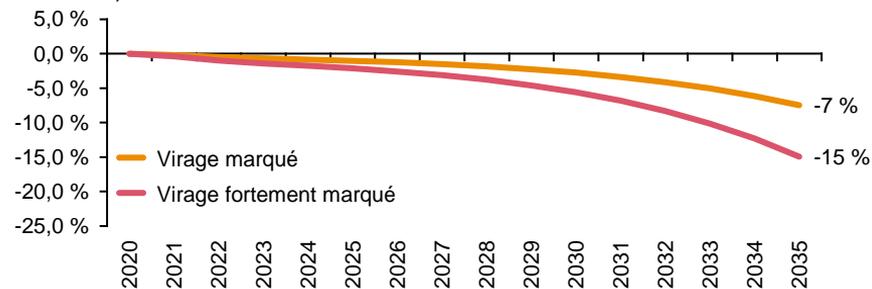
*Les résultats plus élevés en Amérique du Nord s'expliquent par une plus forte propension des entreprises américaines à adopter les technologies de l'IA, une maturité technologique plus avancée et un plus grand potentiel d'automatisation.*

# Une croissance économique propulsée par une diminution des prix et des coûts marginaux de production

**Évolution moyenne des coûts marginaux de production selon le scénario**  
(les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence)



**Évolution des prix à la consommation selon le scénario**  
(les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence)



Source : Analyse PwC à partir des simulations du modèle Hercule-Impacts.

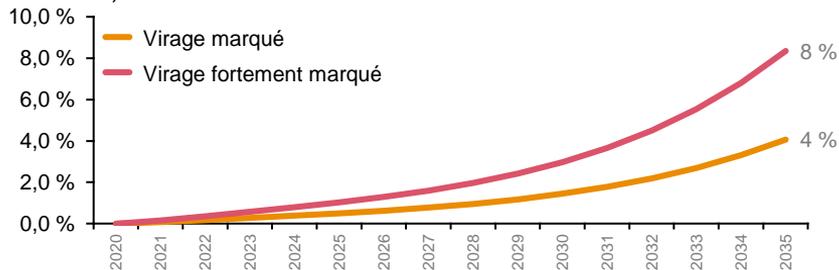
Analyse économique des investissements réalisés en IA au Québec  
PwC

## 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. Notre scénario suggère un coût marginal de production, en 2035, 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.

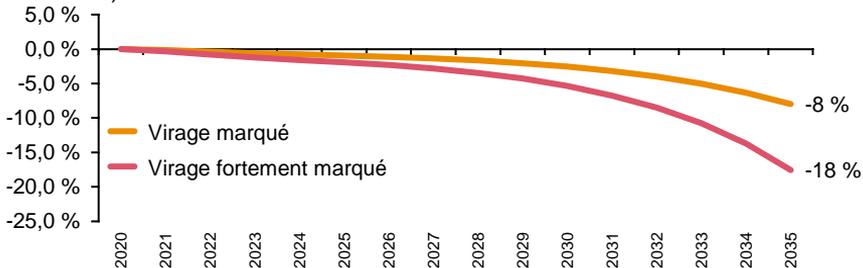
### Impacts des gains de productivité sur les exportations de la province

(les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence)



### Impacts des gains de productivité sur les importations de la province

(les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence)



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.

### Un potentiel pour une hausse de la compétitivité des entreprises

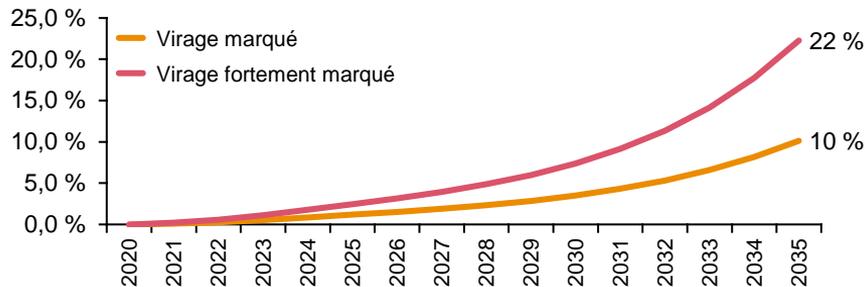
- La diminution du coût marginal de production des industries permettrait aux entreprises québécoises de bénéficier d'un meilleur coût pour leurs intrants, ce qui augmenterait leur avantage compétitif auprès de leurs partenaires commerciaux à l'extérieur du Québec. Ceci pourrait se traduire par une hausse 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, ce qui entraînerait 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.

### 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.

### Impacts des gains de productivité sur le pouvoir d'achat du gouvernement

(les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence)



#### Remarque

Notre modèle présume que la hausse du pouvoir d'achat du gouvernement sera compensée par une hausse des achats de biens et services dans l'économie. En réalité, les économies réalisées par cette hausse du pouvoir d'achat pourraient être déplacées vers d'autres objectifs gouvernementaux qui auraient un impact différent sur l'économie québécoise (ex. : réduction du fardeau fiscal, diminution de la dette).

Source : Analyse PwC, Hercule-Impacts

1. Le pouvoir d'achat du gouvernement représente les dépenses publiques en dollars constants de 2012.

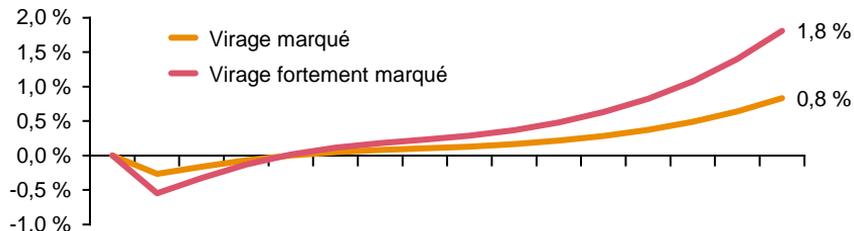
### Une croissance des dépenses gouvernementales

- Notre modèle considère le montant total des dépenses du gouvernement comme fixe (c'est-à-dire que le budget adopté par le gouvernement ne réagit pas directement au choc de productivité). Par contre, le gouvernement bénéficie indirectement des gains de productivité réalisés dans l'économie par les baisses de prix des biens et services produits au Québec.
- Ainsi, le gouvernement voit son pouvoir d'achat augmenter : il peut obtenir plus de biens et services pour un même niveau de dépenses. Notre modélisation indique une hausse du pouvoir d'achat de 10 % à 22 %, selon le scénario.
- Nous notons que l'effet sur le pouvoir d'achat du gouvernement est plus important que celui sur les prix à la consommation, notamment en raison du fait que le gouvernement consomme une plus grande proportion de biens et services québécois (qui ont subi des baisses de prix importantes) que les ménages.
- Cette augmentation du pouvoir d'achat pourrait se traduire par d'importantes retombées économiques pour l'économie québécoise étant donné l'importance des dépenses gouvernementales dans le PIB québécois. À titre indicatif, ces dernières étaient responsables de 22 % du PIB réel de la province en 2019.

# Une croissance de la demande de travailleurs relativement faible par rapport à la performance de l'économie

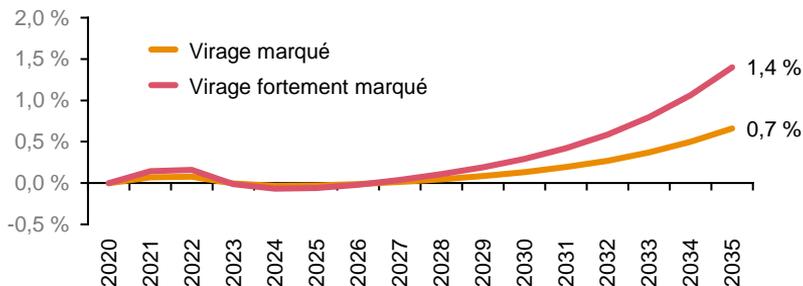
## Impacts des gains de productivité sur le nombre de travailleurs

(les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence)



## Impacts des gains de productivité sur le pouvoir d'achat des Québécois<sup>1</sup>

(les résultats sont exprimés en tant que différence par rapport au scénario de référence)



## 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.

**Cet effet limité sur la croissance net 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 permet de créer de la richesse sans nécessairement augmenter le nombre de travailleurs.**

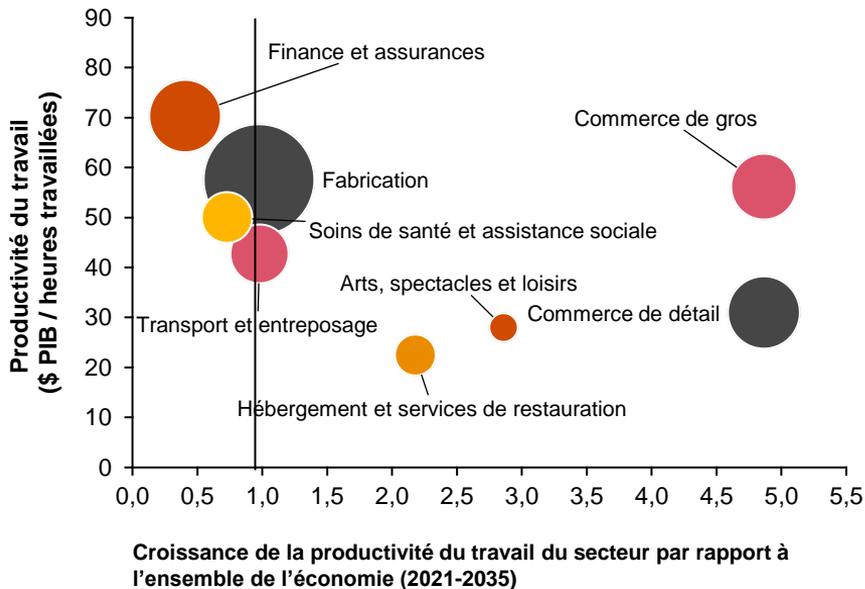
### Remarques

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.

# 4 Pour certains secteurs, les gains en productivité pourraient être significatifs

La figure ci-dessous permet de mettre les gains de productivité en perspective selon trois facteurs : l'importance relative du secteur dans l'économie (la taille des bulles), le niveau de productivité du travail en 2019 (l'axe vertical) et le ratio de la croissance de la productivité du secteur par rapport l'ensemble de l'économie (l'axe horizontal).



Dans la figure de gauche, l'ensemble de l'économie connaîtrait une croissance de la productivité du travail de 8,9 %, soit le point milieu entre les deux scénarios.

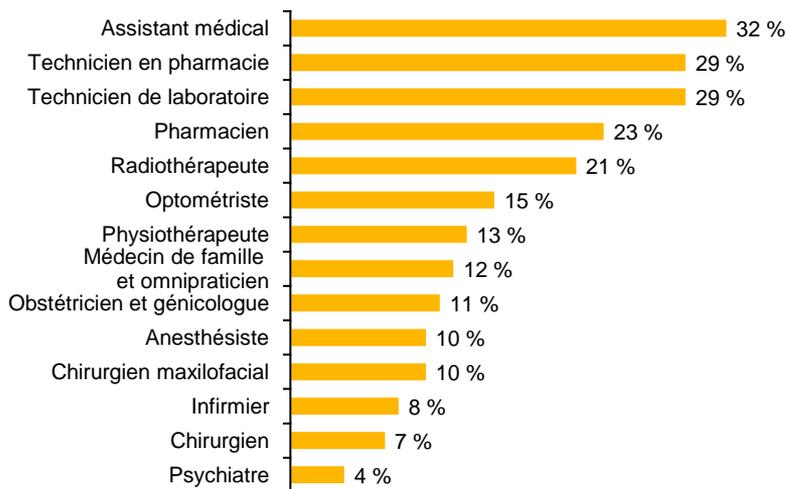
- Selon l'analyse proposée, les secteurs suivants pourraient connaître une croissance de productivité nettement plus prononcée que l'ensemble de l'économie : l'hébergement et services de la restauration, les arts spectacles et loisirs (divertissements), le commerce de gros et de détail.
  - Pour les secteurs de l'hébergement, des services de la restauration et du divertissement, les gains sont importants étant donné qu'ils affichent une productivité du travail relativement faible alors qu'ils sont particulièrement intensifs en travail.
  - **Les secteurs du commerce** pourraient connaître une croissance de productivité très importante sur la période grâce à l'IA et 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 l'adoption de l'IA plus complexe dans ce secteur.
- Finalement, pour le secteur **la finance**, les gains pourraient être légèrement inférieurs, mais ils pourraient être gagnés relativement rapidement comparativement à d'autres secteurs. Il est noté que pour 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 travail<sup>2</sup>.

# Comment l'IA peut-elle changer le travail des professionnels? L'exemple du secteur de la santé

Le secteur de la santé est l'un des plus touchés par la pénurie de main-d'œuvre. L'adoption de techniques d'automatisation assistées par l'IA pourrait, selon certaines études, libérer jusqu'à 15 % des heures de travail dans les soins de santé d'ici 2030.

## Part des heures travaillées qui pourraient être libérées par l'automatisation assistée par l'IA

D'ici 2030



Source: McKinsey Global Institute. Note : Ces estimations portent sur un échantillon de pays, dont la France, l'Allemagne, la Hongrie, l'Italie, le Portugal, la Suède et la Grande-Bretagne.

Analyse économique des investissements réalisés en IA au Québec  
PwC

## Certaines applications liées à l'automatisation assistée par l'IA peuvent contribuer à des gains importants, rapidement et relativement facilement

Certaines tâches routinières, répétitives et largement administratives, qui occupent une large part du temps de travail des professionnels de la santé, pourraient facilement être effectuées par des applications d'IA.

Des gains en productivité pourraient également être rapidement observés dans des spécialités telles que la radiologie, la pathologie et l'ophtalmologie grâce à des applications basées sur l'imagerie. Ces applications, qui utilisent des fonctions d'imagerie de l'IA, sont déjà à un niveau relativement avancé de développement technologique.

Une étude produite par McKinsey Global Institute estime que **15 % des heures de travail actuelles dans les soins de santé pourraient être libérées d'ici 2030** par des applications d'automatisation assistées par l'IA. Il s'agit des heures consacrées à des tâches facilement automatisables et moins sujettes à des enjeux éthiques. Ces résultats ne comprennent pas les autres gains découlant d'une plus grande personnalisation des soins de santé, qui pourraient permettre de raccourcir considérablement le parcours de soins des patients dans le système de santé.

A

# Annexes

A1



Regard sur le potentiel de l'IA

*Le secteur manufacturier*



# Comment l'IA peut-elle transformer le secteur manufacturier?

## Un secteur en pleine transition

Le secteur manufacturier à l'échelle globale est en pleine transition et se dirige vers la quatrième révolution industrielle (ou l'« Industrie 4.0 ») : celle de la numérisation et de l'intégration des technologies numériques aux processus de fabrication des entreprises manufacturières.

Au cœur de cette révolution se trouve l'IA, dont les possibilités d'application pour le secteur manufacturier se multiplient en raison de l'énorme quantité de données recueillies par les différentes technologies de l'Industrie 4.0 (ex. : capteurs intelligents posés sur les installations).

Les entreprises manufacturières intègrent des applications d'IA principalement pour <sup>1</sup>:

- 1 automatiser des tâches manuelles et cognitives;
- 2 aider à la prise de décision ou à la mise en œuvre d'actions;
- 3 augmenter la qualité du processus décisionnel en utilisant des techniques d'apprentissage automatique en continu.

En 2019, seulement 5 % des entreprises manufacturières du Québec affirmaient qu'elles utilisaient des technologies de l'IA dans leurs activités<sup>2</sup>. Bien que ce taux soit assez faible pour le moment, on estime que la prévalence des technologies de l'IA dans les entreprises manufacturières devrait croître à un rythme important au cours des prochaines années.

## Principales applications de l'IA dans le secteur manufacturier :

1. Maintenance préventive;
2. Optimisation du rendement;
3. Contrôle visuel de la qualité;
4. Planification de la demande et gestion de l'approvisionnement;
5. Robots contextuels et collaboratifs.

1. PwC (2020), An introduction to implementing AI in manufacturing.

2. Statistique Canada. Tableau 27-10-0367-01 Utilisation de technologies de pointe ou émergentes, selon l'industrie et la taille de l'entreprise.

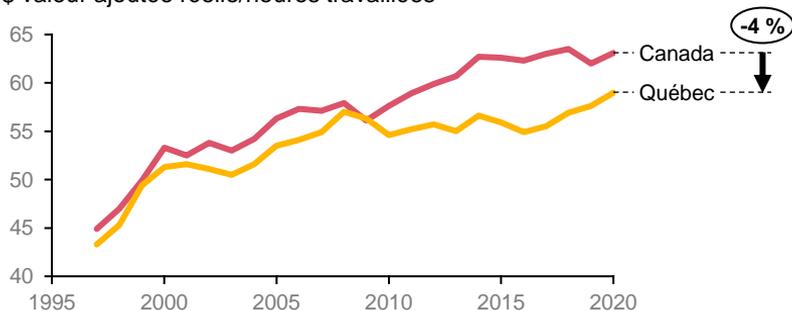
# L'adoption de l'IA par les entreprises manufacturières québécoises est une des solutions pour rattraper leur retard en termes de productivité

## La productivité du secteur québécois tire de l'arrière

Entre 1997 et 2020, le secteur manufacturier québécois a continuellement enregistré une productivité du travail inférieure à celle de la moyenne canadienne (à l'exception de l'année 2009, où le Québec surpassait la moyenne de 0,20 \$). Alors que les deux juridictions affichaient une productivité similaire de 1997 à 2010, l'écart s'est creusé à partir de 2010 pour atteindre un sommet en 2017 (-7,50 \$).

### Productivité du travail du secteur manufacturier

\$ valeur ajoutée réelle/heures travaillées



Source : Statistique Canada Tableau 36-10-0480-01.

## La compétitivité des entreprises est en cause

Une des raisons évoquées pour expliquer ce retard de productivité est le fait que les entreprises manufacturières québécoises ont historiquement capitalisé sur la faiblesse du dollar canadien afin de développer leur avantage concurrentiel, délaissant leurs investissements dans de nouvelles installations et les nouvelles technologies pour accroître leur compétitivité.<sup>1</sup>

**Pour rattraper leur retard de productivité, les entreprises manufacturières du Québec doivent augmenter leur compétitivité, notamment en adoptant les technologies de l'Industrie 4.0.**

1. Centre sur la productivité et la prospérité – Fondation Walter-J.-Somers (2019), *Manufacturier 4,0: Dynamiser l'activité manufacturière au Québec*.

# À moyen terme, l'augmentation de la productivité permettrait de réduire les enjeux de pénurie de main-d'œuvre du secteur manufacturier

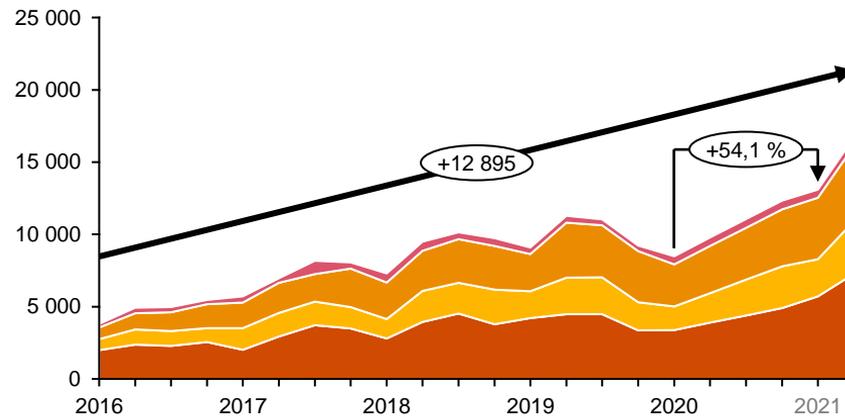
## Le secteur manufacturier est aux prises avec un important problème de pénurie de main-d'œuvre

À l'instar des autres industries du Québec, une pénurie de main-d'œuvre s'abat sur le secteur manufacturier, qui affichait plus de 16 700 postes vacants au deuxième trimestre de 2021, soit 12 895 postes vacants de plus qu'en 2016. La situation s'est détériorée durant la pandémie, où le nombre de postes vacants a augmenté de 54 % en un an.

Le manque de main-d'œuvre oblige les entreprises à réduire leur production, à retarder des livraisons et/ou à refuser des contrats, ce qui entraîne des pénalités et des pertes de revenus considérables pour ces dernières.

**Parmi les nombreuses pistes de solution à cet enjeu se trouvent les technologies de l'IA, ainsi que les gains en productivité et l'automatisation qu'elles peuvent apporter.**

## Nombre de postes vacants dans le secteur manufacturier



- Personnel de supervision et opérateurs de poste
- Opérateurs de machinerie liée à la fabrication
- Monteurs dans la fabrication
- Manœuvres dans la transformation et la fabrication

## Maintenance préventive

Dans le secteur manufacturier, il peut s'avérer complexe de prévoir la défectuosité des machines et des équipements utilisés, car cela dépend d'un nombre important de facteurs externes. La maintenance préventive propulsée par l'IA propose une solution à cet enjeu en combinant les grandes quantités de données recueillies par les machines aux techniques d'apprentissage automatique afin de prévoir les besoins de maintenance des équipements et de limiter le temps durant lequel une machine est hors service.

Les technologies d'IA sont utilisées pour analyser des données recueillies par des capteurs intelligents sur une multitude de facteurs (ex. : son, vibration) afin d'examiner la relation historique entre ces variables et la sortie étiquetée (c.-à-d. s'il y a eu un bris de machine ou non). L'objectif de ces algorithmes est de « comprendre » cette relation afin de reconnaître les causes historiques de bris et de défaillance des machines, de prédire les défaillances futures et de les prévenir.

### Avantages pour les entreprises manufacturières :

- La maintenance préventive entraîne une diminution des coûts de maintenance et d'inspection des machines. En effet, on estime que les coûts d'inspection pourraient diminuer d'au plus 25 % alors que le coût annuel de maintenance d'une machine pourrait être réduit de 10 %<sup>1</sup>.
- Avec une meilleure prévention des incidents et des défaillances, la maintenance préventive est associée à une augmentation de la durée de vie des machines pouvant atteindre 20 % à 40 %<sup>2</sup>.
- La maintenance préventive est associée à une augmentation de la disponibilité de la machine de plus de 20 %, ce qui affecte directement la productivité des machines et de l'entreprise<sup>1</sup>.

1. McKinsey & Company (2017), *Smartening up with Artificial Intelligence (AI) - What's in it for Germany and its industrial sector?*.

2. McKinsey & Company (2017), *Manufacturing: Analytics unleashes productivity and profitability*.

## Optimisation du rendement

Les technologies d'IA peuvent également être intégrées au processus de production des machines afin d'optimiser le rendement de ces dernières, en limitant les pertes de production liées aux produits qui doivent être retravaillés ou jetés en raison de défauts de fabrication. L'optimisation du rendement joue un rôle important dans les entreprises manufacturières avec des processus de production complexes qui comportent plusieurs étapes de fabrication et un niveau élevé d'automatisation.

Tout comme dans le cas de la maintenance préventive, l'optimisation du rendement se fait à l'aide de la grande quantité de données recueillies par les machines, mais l'objectif est plutôt de maximiser son efficacité. Ainsi, des algorithmes d'IA utilisent les données de production et de contrôle de la qualité afin d'identifier les conditions de production optimales pour réduire la quantité de produits défectueux. Aussi, cette application permet de détecter les failles dans le processus de production ou dans le design d'un produit. Dans certains cas, les technologies d'optimisation du rendement propulsées par l'IA permettent de surveiller les conditions de production en temps réel et de les ajuster de manière autonome.

### Avantages pour les entreprises manufacturières :

- Par définition, l'optimisation du rendement est directement associée à une augmentation de la productivité pour les entreprises qui l'adoptent. Les gains de productivité proviennent de la réduction du taux de rebuts d'une machine ou d'un processus de production, de l'augmentation du débit de la machine et de la diminution du coût de production unitaire.
- Selon le contexte de l'entreprise et du degré d'intégration de l'IA dans le processus de production, les pertes d'efficacité peuvent être réduites jusqu'à 30 %<sup>1</sup>.

1. McKinsey & Company (2017), *Smartening up with Artificial Intelligence (AI) - What's in it for Germany and its industrial sector?*.

## Contrôle visuel de la qualité

Certains produits et pièces, comme les pièces automobiles, nécessitent un contrôle visuel de la qualité qui peut être automatisé par des logiciels qui utilisent des caméras à très haute résolution ainsi que des techniques d'apprentissage profond afin de comparer la pièce en question à la photo d'une pièce correctement produite. Ces applications sont plus sensibles que l'œil humain pour reconnaître les défauts microscopiques, et ce, beaucoup plus rapidement. En recueillant des données sur les erreurs d'identification passées, les algorithmes apprennent à départager les bonnes pièces de celles défectueuses. L'utilisation de l'IA permet de faire abstraction des différences d'éclairage, d'une orientation de surface imparfaite ou de la présence de textures d'arrière-plan irrégulières dans les images captées, ce qui permet de se concentrer sur l'examen de la pièce et de détecter les anomalies.

Une telle technologie est utilisée par le fabricant automobile Audi, qui a développé un logiciel qui détecte en quelques secondes les moindres fissures dans les pièces en tôle qu'il fabrique. Pour y arriver, l'entreprise a utilisé une base de données contenant plusieurs téraoctets d'images-tests (c.-à-d. des pièces sans fissure) qui proviennent de certaines de ses usines d'Audi et de Volkswagen. Elle a ensuite développé un réseau de neurones artificiels qui peut désormais apprendre à détecter des défaillances indépendamment des images-tests<sup>1</sup>.

### Avantages pour les entreprises manufacturières :

- L'IA appliquée au contrôle visuel de la qualité permet d'économiser des sommes importantes en matière de contrôle de qualité et d'inspection tout en augmentant la fiabilité du contrôle qualité effectué et, indirectement, la qualité du produit final.
- On estime que cette application permet d'améliorer la détection des défauts de fabrication d'un facteur jusqu'à 90 % et que l'automatisation de cette tâche peut entraîner des gains de productivité allant jusqu'à 50 %<sup>2</sup>.

1. <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/audi-optimizes-quality-inspections-in-the-press-shop-with-artificial-intelligence-10847>

2. McKinsey & Company (2017), Smartening up with Artificial Intelligence (AI) - What's in it for Germany and its industrial sector?.

# Application 4

## Planification de la demande et gestion de l'approvisionnement

La planification de la demande future pour les produits d'une entreprise s'avère généralement complexe en raison de l'importante quantité de facteurs qui influence le processus décisionnel du consommateur. À cet effet, les techniques d'apprentissage automatique jumelées à d'énormes quantités de données en temps réel, qui sont désormais générées régulièrement à travers le monde ou à l'intérieur d'une entreprise, permettent d'analyser et de comprendre les relations entre ces variables et la demande des consommateurs. L'objectif est de prévoir efficacement la demande pour un produit afin d'ajuster en conséquence la production, la gestion de l'approvisionnement et l'inventaire de l'entreprise. Pour l'entreprise de produits alimentaires Danone, la planification de la demande propulsée par l'IA s'est traduite par une réduction de 20 % des erreurs de prévision et de 30 % des ventes perdues<sup>1</sup>. Par ailleurs, une approche d'IA plus avancée dans ce domaine est l'apprentissage par renforcement, où les modèles sont appelés à agir sur leurs prédictions et ensuite récompensés ou punis en fonction de la qualité de leurs actions. Par exemple, ces modèles peuvent commander automatiquement des articles d'inventaire lorsqu'ils prévoient une rupture de stock ou une hausse de la demande des consommateurs.

### Avantages pour les entreprises manufacturières :

- En planifiant la demande de manière plus efficace et optimale, cette application permet de diminuer les coûts d'approvisionnement et d'entreposage, incluant les coûts liés au surstockage d'articles d'inventaire.
- Ultimement, cette meilleure adéquation entre l'offre et la demande, qui limite les délais d'approvisionnement, les ruptures de stock, et les délais de livraison, entraîne l'augmentation des revenus d'une entreprise et de la qualité de ses services aux yeux des consommateurs.

1. Capgemini Research Institute (2019), *Scaling AI in Manufacturing Operations: A practitioners' Perspective*.

## Robots collaboratifs et contextuels

L'automatisation des tâches en utilisant des robots industriels est une pratique courante pour les entreprises manufacturières, mais les robots traditionnels sont généralement configurés pour suivre des étapes prédéfinies dans un environnement de travail contrôlé. L'intégration des avancées en IA à la robotique traditionnelle permet une nouvelle génération de robots qui agissent comme s'ils étaient conscients du contexte dans lequel ils opèrent. En effet, ces robots dits collaboratifs et contextuels s'appuient sur les progrès dans les logiciels de reconnaissance d'images, notamment la segmentation sémantique, qui permet au robot de reconnaître un objet et sa fonction afin d'être à l'affût des changements de conditions dans son espace de travail et de s'y adapter.

Cette plus grande flexibilité dans l'étendue des tâches que peuvent réaliser ces robots rend leur intégration dans les processus de fabrication des entreprises manufacturières beaucoup plus facile. Elle permet aussi aux robots de participer à des tâches qui ne peuvent être pleinement automatisées, de sorte qu'ils sont généralement utilisés en collaboration avec l'humain. Par exemple, un travailleur peut guider le robot dans la réalisation d'une tâche (ex. : prendre le bras du robot et lui faire faire l'action souhaitée), et ce dernier reproduira l'action apprise en plus de la rendre plus fluide et efficace à mesure qu'il la fait.

### Avantages pour les entreprises manufacturières :

- Comme les robots collaboratifs et contextuels s'adaptent plus facilement à leur environnement, ils sont associés à des économies relativement aux coûts de développement, d'installation et de configuration des équipements.
- Ces robots permettent d'augmenter le degré d'automatisation des processus de production d'entreprises manufacturières pour lesquelles certaines tâches sont difficilement automatisables (ex. : le secteur automobile). Dans le cas de ces entreprises, on estime que les gains de productivité peuvent atteindre 20 %<sup>1</sup>.

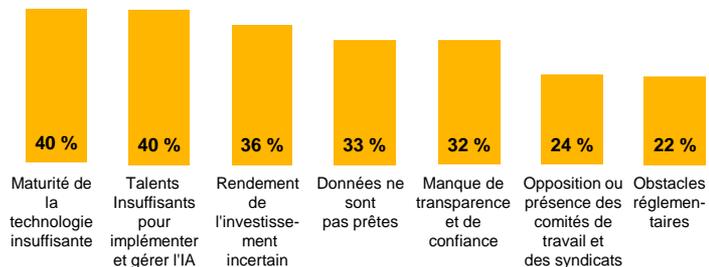
1. McKinsey & Company (2017), Smartening up with Artificial Intelligence (AI) - What's in it for Germany and its industrial sector?

# Malgré les avantages de ces applications, plusieurs embûches freinent leur adoption par les entreprises manufacturières

## Les entreprises manufacturières tardent à adopter l'IA

Globalement, encore très peu d'entreprises manufacturières ont incorporé des technologies d'IA à leurs processus de production. Dans une enquête menée auprès de dirigeants d'entreprises manufacturières à l'échelle du globe, seulement 9 % des répondants ont incorporé l'IA dans leurs processus afin d'améliorer la prise de décision opérationnelle<sup>1</sup>.

### Principaux enjeux liés à l'IA



Source : PwC (2018), *Global Digital Operations 2018 survey*.

Note : Sondage mené auprès de 1 155 cadres du secteur manufacturier dans 26 pays.

1. PwC (2018), *Global Digital Operations 2018 survey*.

2. Deloitte, *L'impératif de l'IA au Canada – Des prédictions à la prospérité*.

## Comment expliquer ce faible taux d'adoption?

Dans cette même enquête, les répondants ont relevé le niveau de maturité des technologies, le manque de travailleurs qualifiés et l'incertitude autour du rendement de l'investissement comme les trois principaux enjeux limitant l'adoption de l'IA dans leurs activités.

## Similairement, une enquête menée auprès d'entreprises et de citoyens canadiens a relevé quatre principaux obstacles limitant l'adoption de l'IA au Canada<sup>2</sup> :

1. Connaissance insuffisante des citoyens et des entreprises de ce qu'est l'IA, de ses avantages et de ses applications potentielles;
2. Manque de confiance envers les applications d'IA, notamment en matière de prise de décision stratégique, de cybersécurité et de responsabilité juridique dans le cas de décisions prises par les systèmes d'IA;
3. Compréhension limitée des entreprises des applications et des avantages potentiels de l'IA pour leurs entreprises;
4. Difficulté à faire évoluer un projet d'applications d'IA de la phase expérimentale à un environnement complet.

**BOMBARDIER**



**IVADO LABS**

## Maintenance préventive pour l'entretien d'avions

Bombardier cherche à améliorer sa chaîne d'approvisionnement et ses activités de soutien aux avions en implantant une méthode de surveillance fondée sur l'état des appareils dans l'objectif d'adopter une stratégie d'entretien préventif.

Les prédictions de cette stratégie, qui seront alimentées par des algorithmes IA, permettront à l'entreprise de limiter les temps d'arrêt de ses appareils, de réduire les coûts des avions immobilisés de Bombardier ainsi que de fournir aux clients un soutien à l'entretien de pointe.



## Détection des défauts avec la réalité augmentée

La firme OVA a développé une application d'IA permettant d'utiliser la réalité augmentée (RA) combinée à la vision par ordinateur avec IA afin d'optimiser le repérage et la réparation d'équipements défectueux. En effet, un robot étudie la pièce en question, détecte les défauts de fabrication possibles et indique leurs positions à un casque de RA porté par l'opérateur. Ce dernier peut ainsi faire son inspection visuelle en conséquence.

Cette solution entraîne une réduction du temps de réparation et une accélération de la production. Un an après l'implantation de cette nouvelle technologie, Bombardier a constaté une augmentation de 260 % de sa productivité ainsi qu'une économie de temps de 5 heures par avion produit.



## Planification de la demande fondée sur l'apprentissage machine

Unilever Canada et ses partenaires Larus Technologies et SOSCIP Consortium ont développé une solution de prévision précise de la demande fondée sur l'apprentissage machine.

Cette solution utilise une grande quantité de données externes et de données de l'entreprise à l'interne afin de prévoir la demande pour les produits vendus par l'entreprise. L'information qui en ressort permet à l'entreprise d'optimiser la production et la distribution de ses produits, tout en s'assurant que les produits sont disponibles pour les Canadiens en limitant les pénuries de stocks.



**CANADIAN TIRE**

**IVADO LABS**



## Optimisation du planogramme

L'entreprise Canadian Tire a entrepris un projet avec ses partenaires, IVADO LABS et Spacefile afin de développer un planogramme personnalisé pour chacun de ces magasins à travers le pays. En effet, le projet utilisera l'intelligence artificielle et un ensemble de données en temps réel afin de définir le placement optimal de chaque produit dans les rayons de chaque succursale, et ce, en fonction des comportements des clients, de la dynamique des marchés locaux, des facteurs saisonniers et de l'espace disponible en magasin.

Ce projet permettra à l'entreprise d'améliorer ses capacités de merchandising et l'expérience de magasinage de ses clients.

<sup>1</sup>. Ces projets ont été soutenus par Scale AI.  
Analyse économique des investissements réalisés en IA au Québec  
PwC

## Et le gouvernement a un rôle à jouer pour favoriser son adoption

**Le contexte actuel est favorable au déploiement de l'IA dans les secteurs manufacturiers**

La prochaine révolution industrielle sera celle de la numérisation et de l'intégration des technologies numériques aux processus de fabrication des entreprises. L'importante quantité de données recueillies à travers les activités des entreprises manufacturières est un facteur important pour le déploiement des solutions d'IA. Dans le contexte québécois, l'IA pourrait être une partie de la solution aux enjeux de productivité et de pénurie de main-d'œuvre du secteur manufacturier.

**Le potentiel économique d'un tel déploiement est considérable pour les entreprises.**

Déjà, plusieurs solutions d'IA sont développées et ensuite implantées dans des entreprises manufacturières à travers le monde pour aider ces dernières à automatiser des tâches manuelles et cognitives, à prendre les meilleures décisions en matière de production et d'approvisionnement et à augmenter la qualité de leur processus décisionnel.

Pour ces entreprises, les solutions d'IA se traduisent par une multitude de bénéfices concrets qui augmentent leur compétitivité, leur productivité et la qualité de leurs produits finaux, notamment en raison des diminutions de coûts potentiels (p.ex. : approvisionnement, contrôle de la qualité, entretien de machines) et de l'augmentation du rendement de leurs machines.

**Pendant, l'adoption de l'IA dans les entreprises manufacturières tarde et le secteur pourrait bénéficier d'un soutien gouvernemental pour l'accompagner dans cette transition.**

Les entreprises manufacturières, au Québec comme à l'international, doivent faire face à des embûches qui limitent l'adoption de l'IA. Dans ce contexte, l'intervention des gouvernements pourrait faciliter l'intégration des solutions d'IA, notamment par la promotion des capacités, des applications et des bénéfices potentiels de l'IA ainsi que par le développement de programmes pour le rehaussement des compétences des travailleurs dans le secteur manufacturier.

A2

Regard sur le potentiel de l'IA

*Le secteur de la santé*

# Le système de santé québécois doit faire face à de nombreux défis

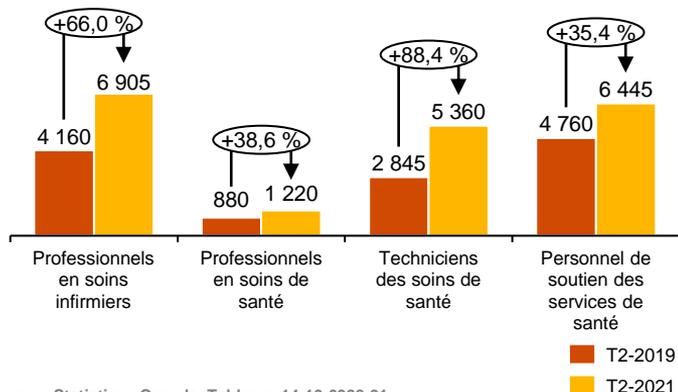
Concernant le manque de personnel soignant au Québec, en plus des enjeux entourant la gestion des soins de santé d'une population vieillissante, l'IA offre des solutions pour contribuer à améliorer l'efficacité du système de santé au Québec.

## Le manque de travailleurs dans le domaine des soins de santé

Plusieurs professions du domaine des soins de santé ont connu de fortes croissances (en %) du nombre de postes vacants entre 2019 et 2021, notamment les professionnels en soins infirmiers, les professionnels des soins de santé (médecins, etc.), le personnel technique des soins de santé (infirmiers auxiliaires, techniciens de laboratoire, etc.) et le personnel de soutien des services de santé (préposés aux bénéficiaires, etc.).

## Évolution des postes vacants dans le secteur de la santé

Entre T2-2019 et T2-2021



Source : Statistique Canada, Tableaux 14-10-0328-01.

## Des coûts en santé qui augmentent année après année

Selon des données provenant du ministère des Finances, les coûts dans le domaine de la santé au Québec augmentent depuis 17 ans. Ils sont passés de 22 G\$ en 2004 à 45 G\$ en 2020. Sur un budget de plus de 107 G\$, la santé représente 43 % des dépenses. En valeur réelle, les dépenses en santé du secteur public ont augmenté de 1 300 \$ *per capita* entre 2003 et 2020, soit une croissance de 33 %.

## L'IA peut contribuer à infléchir la courbe des coûts des services de santé de multiples façons, dont les suivantes :

- Diminution des heures travaillées grâce à l'automatisation;
- Amélioration du parcours de soins allant d'une détection hâtive des maladies à la prescription de traitements plus adaptés à chaque patient, ce qui contribuerait à réduire la période de prise en charge des patients;
- Réduction du temps d'attente dans les salles d'urgence, les cliniques et pour une grande variété d'interventions non urgentes;
- Réduction des erreurs médicales;
- Diminution des hospitalisations contraignantes grâce aux soins virtuels et aux algorithmes prédictifs combinés à la surveillance à distance.

Les avancées en IA ont permis de mettre au point des applications de plus en plus sophistiquées et permettent de réaliser certaines tâches plus efficacement, plus rapidement et à moindre coût.

D'importants efforts de R et D sont en cours afin de développer des technologies de l'IA en santé. Les applications permettront de soutenir un large éventail de prestations de soins de santé. Nous avons relevé huit types d'applications.



L'IA au service de la santé résulte d'un amalgame de méthodes quantitatives bien établies, issues de la biostatistique et de l'épidémiologie, et des algorithmes analytiques développés par l'apprentissage automatique. Le développement de bases de données provenant de l'imagerie médicale, des téléphones intelligents et des dispositifs portables de surveillance de la santé ainsi que les nouvelles possibilités de relier les données provenant des dossiers cliniques et de la génomique ont favorisé le développement de l'IA en santé.

L'IA a un énorme potentiel d'intégration : elle peut assimiler des informations provenant d'un très large éventail de sources. En plus d'améliorer le diagnostic, le traitement et le pronostic pour les patients, elle facilite la recherche biomédicale et la recherche en santé en révélant les mécanismes biologiques et physiopathologiques des maladies et des traitements ou en générant de nouvelles hypothèses à partir des données sur les populations pour aider à expliquer pourquoi certaines personnes sont en bonne santé et d'autres, non.

Selon une étude de Deloitte, l'adoption de l'IA à grande échelle dans le domaine de la santé pourrait sauver 400 000 vies par année en Europe, ce qui équivaut à plus de 4 500 vies par année au Québec lorsque la technologie aura atteint la maturité.<sup>1</sup>



### Prévention

L'un des grands potentiels de l'IA est d'aider les individus à rester en bonne santé et d'éviter qu'ils aient recours au système de santé. Les applications, les appareils portables et les technologies de l'IA encouragent l'adoption d'un comportement plus sain chez les individus et aident à la gestion proactive d'un mode de vie sain. Il donne aux usagers le contrôle de leur santé et de leur bien-être. De plus, l'IA augmente la capacité des professionnels de la santé à mieux comprendre les habitudes et les besoins quotidiens de leurs patients et à fournir de meilleurs diagnostics et traitements.



### Détection hâtive

L'IA est déjà utilisée pour détecter des maladies, comme le cancer, avec plus de précision et à un stade précoce, grâce aux techniques d'imagerie et à l'analyse à grande échelle de données de population. Par exemple, dans le cas du cancer du sein, l'utilisation de l'IA permet la révision et la traduction des mammographies 30 fois plus rapidement, avec une précision de 99 %, ce qui réduit le besoin de biopsies inutiles<sup>1</sup>. Les gains pourraient être importants puisque, dans certains cas, la possibilité de détecter rapidement les maladies assure une plus grande probabilité de guérison.



### Diagnostic

La médecine moderne s'appuie de plus en plus sur la science des données. Comme les données médicales sont nombreuses et complexes à analyser, les algorithmes développés par l'apprentissage automatique sont tout à fait désignés pour aider les professionnels de la santé dans le diagnostic. D'ailleurs, l'IA a fait d'importants progrès dans l'interprétation de l'imagerie médicale. Selon certains scientifiques, l'IA serait désormais capable de réaliser un diagnostic médical avec autant, voire plus de précision, qu'un humain<sup>2</sup>.



### Soutien à la prise de décision clinique

L'amélioration des soins nécessite l'alignement des mégadonnées sur la santé avec des décisions appropriées au bon moment. L'analyse prédictive supportée par l'IA permet la prise de décision relative aux actions cliniques. L'utilisation de la reconnaissance par imagerie pour identifier les patients à risque de développer une maladie, ou dont la santé est en voie de se détériorer, en raison de facteurs liés au mode de vie, à l'environnement, à la génomique ou à d'autres facteurs est un autre domaine où l'IA commence à s'implanter dans les soins de santé.



### Formation

L'IA permet aux personnes en formation de passer par des simulations d'une manière dont les algorithmes simples pilotés par ordinateur ne peuvent pas. La capacité à traiter le langage ainsi qu'à analyser instantanément des mégadonnées permet aux étudiants d'avoir une assistance immédiate lorsqu'ils ont des questions ou qu'ils ont besoin de conseils lors de la prise de décision. De plus, l'IA permet la formation continue des professionnels de la santé d'une façon flexible (quand et où ils veulent).



### Soutien à la recherche

Il faut en moyenne 12 ans pour qu'un médicament passe du laboratoire de recherche au patient, une étape longue et coûteuse. Aux États-Unis, pour 1 000 médicaments à l'étape des tests précliniques, un seul sera testé chez l'humain, et seulement 20 % seront approuvés. De plus, il en coûtera en moyenne plus de 1 G\$ à une entreprise pour développer un nouveau médicament, du laboratoire de recherche au patient<sup>1</sup>. Le soutien à la recherche pharmacologique est l'une des applications les plus récentes de l'IA en santé. En utilisant les dernières avancées de l'IA pour rationaliser les processus de découverte de médicaments et de réorientation des médicaments, il est possible de réduire considérablement à la fois le temps de mise en marché des nouveaux médicaments et leur coût.



### Soins pour les aînés

La croissance de l'espérance de vie, combinée au vieillissement de la population, amène son lot de défis pour le système de santé. Avec l'âge, le risque de développer des maladies chroniques comme la démence, l'insuffisance cardiaque ou l'ostéoporose augmente considérablement. De plus, souvent, en vieillissant, les individus doivent composer avec la solitude. Ainsi, des robots « intelligents » pourraient avoir le potentiel d'améliorer les soins de fin de vie en aidant les gens à rester indépendants, en réduisant les hospitalisations et en offrant des soins à domicile. L'IA, combinée aux progrès de la conception humanoïde, permettrait aux robots d'accompagner les aînés par l'administration de certains soins et d'occuper une place relativement à leur besoin de socialiser.



### Traitement par la personnalisation

Aussi désignée sous le nom de médecine de précision, la personnalisation des soins a pour but d'utiliser des technologies de l'IA afin de personnaliser davantage le traitement d'un patient non seulement en fonction de son environnement et de ses habitudes de vie, mais aussi de son profil génomique et des biomarqueurs présents dans son système. Ce type de soin a le potentiel de permettre de mieux cibler les traitements et de diminuer le nombre de patients subissant des effets secondaires. Il s'inscrit davantage dans une vision préventive de la médecine en comparaison avec la médecine réactive. De plus, la personnalisation aide à ajuster le dosage d'un traitement ou à identifier les types de patients les plus à risque de développer une maladie (ciblage des patients pouvant bénéficier d'un traitement préventif).

Sources : PwC, 2017. Why AI and robotic will define New Health. 1. California Biomedical Research Association. New Drug Development Process. En \$ américain. Lien (<https://ca-biomed.org/wp-content/uploads/2020/08/FS-DrugDevelop.pdf>).



BioTwin est une entreprise québécoise, également présente aux États-Unis, proposant un service de réplique virtuelle humaine (jumeaux numériques). Elle utilise des algorithmes d'intelligence artificielle (IA) pour analyser les données des utilisateurs et faire des prédictions liées à leur état de santé. BioTwin crée un jumeau numérique à partir des données collectées lors de la prise d'échantillons biologiques d'où sont extraits des centaines de milliers de biomarqueurs, ensuite jumelés à des données multi et biométriques. L'outil permet de faire de la détection précoce des conditions et des prédictions de phénotypes ainsi que de la simulation de diverses conditions et traitements à l'aide de l'IA.



AlayaCare, une PME de Montréal qui offre des logiciels de soins à domicile, s'est associée au Groupe santé CBI, à IntegraCare et à Bien Chez Soi pour lancer un projet de 1,8 M\$ visant à donner aux prestataires de soins de santé de meilleurs outils de planification et de gestion afin que les organismes de soins à domicile puissent répondre à la demande croissante d'une population vieillissante. Au moyen de l'IA, de l'optimisation et des technologies d'apprentissage automatique, la plateforme établit un pont entre les besoins des clients et ce que la science peut offrir au moyen d'outils de planification, de gestion du temps, de documentation clinique, de surveillance des patients à domicile et d'une application mobile.



Imagia est une entreprise de soins de santé numériques qui construit une plateforme d'analyse de données, EVIDENS™, pour accélérer le processus de découverte de solutions de soins de santé innovantes en utilisant des données générées dans des contextes réels. EVIDENS™ est une plateforme informatique de découverte en oncologie, croisant des données multiomiques, des données d'imagerie, de traitement, de résultats et de rapports. Elle est déployée dans les hôpitaux et disponible pour les chercheurs autorisés en santé. Parmi les applications, la plateforme permet de prédire l'efficacité de traitements en immuno-oncologie pour les patients atteints d'un cancer du poumon.



Dans 67 % des cas, les traitements contre la dépression sont inefficaces au premier essai. Aifred Health a créé une plateforme permettant aux médecins de famille et aux psychiatres de prescrire le meilleur remède plus rapidement pour des patients atteints d'une maladie mentale. Grâce à une analyse des données sur un patient, la plateforme permet de prédire sa réaction face au traitement et de suivre le patient tout au long des traitements. Fondée en 2017 par des diplômés de l'Université McGill et propulsée notamment par le programme Startup en résidence, de Desjardins, l'entreprise en démarrage offre des traitements contre la dépression. Elle collabore avec des établissements comme l'Institut universitaire en santé mentale Douglas et l'Hôpital général juif, en plus de médecins de famille pour ses premiers tests. L'outil permet au patient de remplir un questionnaire et, une fois les données analysées, le médecin peut être guidé quant à l'état de la maladie et à la façon de la traiter, par la médication ou la psychothérapie, notamment.

# En conclusion, même si l'IA présente un fort potentiel en santé, les impacts pourraient mettre un certain temps avant de se matérialiser

**Une forte concentration des activités de recherche et plusieurs applications à fort potentiel**

L'écosystème québécois de l'intelligence artificielle appliquée aux sciences de la vie et des technologies de la santé est en plein essor. On y retrouve plusieurs instituts qui se concentrent sur le développement de l'IA en santé, dont l'École de l'intelligence artificielle en santé du CHUM. De plus, selon Montréal Invivo, on retrouve au Québec 55 entreprises en démarrage spécialisées en intelligence artificielle dans le secteur<sup>1</sup>.

**Cependant, l'accès aux données demeure difficile**

Un rapport du CIFAR soulève que le Canada (dont le Québec) se heurte à un paradoxe majeur en matière de données alors qu'il devrait avoir un avantage comparatif en raison des systèmes de soins de santé universels à payeur unique qu'on retrouve dans les provinces. Or, pour les scientifiques, l'accès aux données afin d'entraîner les algorithmes d'IA est difficile en raison des restrictions en matière de protection de la vie privée<sup>2</sup>.

**Ce difficile accès pourrait retarder le déploiement des applications d'IA en santé au Québec.**

Ainsi, afin de tirer profit du plein potentiel de l'IA en santé, il importe de mettre en place une structure de partage de données en santé qui soit responsable et qui garantisse la sécurité des données et la protection de la vie privée. De plus, les gouvernements ont un rôle à jouer afin d'instaurer la confiance et d'éduquer le public.

Note : 1. Montréal Invivo. 2. Cifar, 2021. Bâtir un système de santé apprenant pour les Canadiens. Lien : <https://cifar.ca/wp-content/uploads/2020/11/ai4health-report-fr-f.pdf>.

A

# Annexes méthodologiques

# A3 Concepts sous-jacents à une analyse d'impact

## économique « statique »

L'analyse d'impact économique statique fournit une mesure de l'importance économique d'un investissement ou des dépenses d'exploitation récurrentes pour une économie.

- La philosophie fondamentale qui sous-tend l'analyse de l'impact économique est que les activités économiques de recherche et de production de technologies en IA ont des répercussions sur l'ensemble de l'économie. Par exemple, les dépenses d'exploitation d'une entreprise vont générer une demande additionnelle auprès de ses fournisseurs (ex. : services professionnels, services publics, matériaux et équipements) qui, à leur tour, généreront une demande supplémentaire qui va au-delà de la production initiale. L'analyse entrées-sorties permet d'estimer cet effet en cascade.
- Le modèle entrées-sorties estime la relation entre l'activité économique pour un bien ou un service donné et les impacts qui en résultent sur l'ensemble de l'économie (y compris la demande d'autres biens et services et les recettes fiscales). Aux fins du présent rapport, nous avons utilisé un modèle basé sur les multiplicateurs publiés par Statistique Canada.

Les impacts économiques sont estimés aux niveaux direct et indirect :

- **Les impacts directs** sont ceux qui résultent directement des activités de recherche ou de production de technologies de l'IA en main-d'œuvre et en achat de biens et services.
- **Les impacts indirects** découlent des activités des entreprises fournissant des intrants aux fournisseurs des centres de recherche et des entreprises (en d'autres termes, les fournisseurs de leurs fournisseurs).

# A3 Concepts sous-jacents à une analyse d'impact économique « statique » (suite)

Les impacts économiques ont été estimés pour les mesures suivantes de l'activité économique :

- PIB (également appelé « valeur ajoutée ») : « Effort » que le producteur ajoute à ses intrants intermédiaires pour répondre aux demandes qui lui sont adressées. Dans le contexte de cette étude, les producteurs sont les centres de recherche et les entreprises qui fournissent des technologies de l'IA. Dans un modèle entrées-sorties, la valeur ajoutée est obtenue par la somme des rémunérations des facteurs de production, soit les salaires et les traitements avant impôts, les profits, l'amortissement et les avantages sociaux.
- Emplois (ETP) : Nombre d'emplois créés ou soutenus grâce aux investissements en IA en équivalents temps plein (ETP).
- Équivalent temps plein : Unité permettant d'effectuer une mesure comparable des charges de travail, où deux employés qui travaillent à mi-temps durant toute l'année correspondent à un ETP. Deux employés à temps plein qui travaillent six mois pendant l'année correspondent également à un ETP.
- Revenus gouvernementaux : Revenus perçus par les différents paliers de gouvernement :
  - Gouvernement du Québec – comprend les impôts sur les salaires et les traitements, la taxe de vente du Québec (TVQ) ainsi que les taxes spécifiques. Nos retombées ne comprennent pas les impôts des entreprises payés sur les profits des sociétés, les taxes à la consommation engendrées par les dépenses courantes des travailleurs dont l'emploi est soutenu par les activités en IA.
  - Gouvernement fédéral – comprend les impôts sur les salaires et les traitements, la taxe sur les produits et services (TPS), les droits de douanes ainsi que les taxes et droits d'accise. Nos retombées ne comprennent pas les impôts des entreprises payés sur les profits des sociétés.

# Effets multiplicateurs d'un investissement de

## 1 M\$ dans les services de recherche et de développement scientifique

<b>BS541700</b> Services de recherche et de développement scientifique	<b>Impacts directs</b>	<b>Impacts indirects</b>	<b>Impacts totaux</b>
Valeur ajoutée aux prix de base, k\$	631,26	221,53	852,79
Nombre de salariés	5,51	2,14	7,65
Rémunération des salariés, k\$	467,87	134,04	601,91
Nombre de travailleurs autonomes	0,17	0,37	0,54
Rémunération des travailleurs autonomes, k\$	5,99	11,22	17,21
Parafiscalité, k\$	59,32	20,01	79,33
Parafiscalité – Québec, k\$	49,77	16,52	66,29
Parafiscalité – fédéral, k\$	9,54	3,50	13,04
Impôts sur le revenu, k\$	120,24	28,44	148,68
Impôts sur le revenu – Québec, k\$	62,92	14,58	77,49
Impôts sur le revenu – fédéral, k\$	57,32	13,86	71,18
Impôts sur les produits, k\$	1,73	2,57	4,30
Impôts sur la production, k\$	3,48	11,21	14,70
Subventions pour les produits, k\$	(38,75)	(1,48)	(40,23)
Subventions pour la production, k\$	(105,87)	(3,23)	(109,10)
Importations, k\$	-	182,73	182,73
Importations hors énergie, k\$	-	176,55	176,55
Importations énergétiques, k\$	-	6,18	6,18
Autres fuites (stocks, scraps...), k\$	-	0,41	0,41

# Effets multiplicateurs d'un investissement de 1 M\$ dans le secteur de l'édition de logiciels

BS511200 = Éditeurs de logiciels	Impacts directs	Impacts indirects	Impacts totaux
Valeur ajoutée aux prix de base, k\$	638,81	172,27	811,07
Nombre de salariés	4,19	1,79	5,99
Rémunération des salariés, k\$	430,70	103,54	534,23
Nombre de travailleurs autonomes	0,08	0,20	0,28
Rémunération des travailleurs autonomes, k\$	2,46	5,14	7,60
Parafiscalité, k\$	47,25	15,31	62,57
Parafiscalité – Québec, k\$	39,85	12,61	52,46
Parafiscalité – fédéral, k\$	7,40	2,71	10,11
Impôts sur le revenu, k\$	118,73	21,39	140,12
Impôts sur le revenu – Québec, k\$	62,67	10,93	73,59
Impôts sur le revenu – fédéral, k\$	56,06	10,47	66,53
Impôts sur les produits, k\$	1,79	2,59	4,38
Impôts sur la production, k\$	16,59	9,60	26,20
Subventions pour les produits, k\$	(1,37)	(1,10)	(2,46)
Subventions pour la production, k\$	(26,77)	(2,76)	(29,53)
Importations, k\$	-	186,75	186,75
Importations hors énergie, k\$	-	182,07	182,07
Importations énergétiques, k\$	-	4,68	4,68
Autres fuites (stocks, scraps...), k\$	-	0,26	0,26

# Précisions sur la méthodologie utilisée pour la modélisation des impacts liés au rehaussement de la productivité grâce à l'adoption de l'IA au Québec

Afin de modéliser les impacts économiques liés au rehaussement de la productivité soutenu par une hausse de l'adoption de l'IA, nous avons utilisé un modèle d'équilibre général calculable (MEGC). Un MEGC est un modèle multisectoriel qui permet de reproduire l'économie du Québec dans les contextes canadien et mondial. Son utilisation permet de comprendre comment une économie pourrait réagir à certains facteurs externes, incluant une hausse de la productivité à la suite de l'adoption d'une nouvelle technologie.

La démarche proposée se décline en trois étapes :

1

## Étudier la littérature sur les gains de productivité liés à l'IA

Dans un premier temps, nous avons analysé la littérature existante et avons retenu deux études (présentées à la page suivante) qui estiment l'impact annuel de l'adoption de l'IA des entreprises sur la productivité du travail. Bien que d'autres études se soient intéressées à la question, ces deux études ont été retenues en raison de la transparence des auteurs quant à la méthodologie utilisée.

Nous avons utilisé ces résultats afin de développer nos scénarios de modélisation.

2

## Développer les scénarios de modélisation

Ensuite, nous avons développé deux scénarios représentant une situation dans laquelle le Québec se distingue par un virage marqué en termes d'adoption de l'IA par les entreprises du Québec ainsi que les effets potentiels sur la productivité des travailleurs du Québec de 2021 à 2035 :

1. **Scénario 1 – Virage marqué :** accélération de l'adoption de l'IA par les entreprises du Québec.
2. **Scénario 2 – Virage fortement marqué :** accélération rapide de l'adoption de l'IA par les entreprises du Québec.

3

## Estimer les retombées économiques

Finalement, nous avons utilisé un MEGC afin d'illustrer les retombées économiques liées aux gains de productivité potentiels sur l'économie québécoise pour la période allant de 2021 à 2035.

Les deux scénarios se comparent à un scénario de référence qui représente un statu quo, c'est-à-dire une situation où aucune mesure visant à faciliter l'adoption de l'IA ne serait mise en place et où l'adoption serait similaire à celle observée actuellement.

Note : Plus d'informations sur notre méthodologie se trouvent en annexe de ce rapport.

# Précisions sur la méthodologie utilisée pour la modélisation des impacts liés au rehaussement de la productivité grâce à l'adoption de l'IA au Québec (suite)

## PwC (2018)<sup>1</sup> *Sizing the prize*

### Messages clés

- L'impact économique de l'IA sera stimulé par les gains de productivité des entreprises grâce à l'automatisation des processus, à l'augmentation de la capacité de la main-d'œuvre existante avec des technologies de l'IA (assistée, intelligence autonome et augmentée) et par une demande accrue des consommateurs résultant de la disponibilité de produits et de services personnalisés et/ou améliorés par les technologies de l'IA.
- Les résultats de l'étude suggèrent que l'impact économique de l'adoption de l'IA pourrait se traduire par une augmentation du PIB de l'économie mondiale de l'ordre de 14 % en 2030. Pour l'Amérique du Nord, les gains relatifs au PIB réel seraient de 14,5 % en 2030, dont 6,7 % seraient attribuables aux gains de productivité liés à l'IA.
- Enfin, l'étude estime que l'IA pourrait augmenter la productivité des travailleurs de 4 % à 57 % de 2017 à 2030 selon le pays. Pour l'Amérique du Nord, on parle d'une augmentation de 57 %, soit une croissance annuelle composée de 3,5 % par année.

## McKinsey Global Institute (2017)<sup>2</sup> *A Future that works*

### Messages clés

- Dans les prochaines années, sans une accélération de la croissance de la productivité, il n'y aura pas assez de travailleurs dans les économies pour soutenir l'aspiration à la croissance du PIB par habitant.
- Ainsi, cette étude avance que l'automatisation, propulsée par les progrès en robotique avancée et en IA, pourrait agir comme un moteur de productivité pour l'économie mondiale et combler l'écart entre la croissance potentielle et la disponibilité de la main-d'œuvre.
- Les résultats de l'étude suggèrent que l'automatisation pourrait entraîner une croissance annuelle de la productivité de l'économie mondiale de l'ordre de 0,8 % à 1,4 % au cours des 50 prochaines années.
- Les activités les plus susceptibles d'être automatisées rapidement se retrouvent dans les secteurs de la fabrication et du commerce de détail.

1. Analyse PwC et PwC (2018), *The macroeconomic impact of artificial intelligence*.  
2. [McKinsey Global Institute \(2017\). A future that works: automation, employment, and productivity.](#)

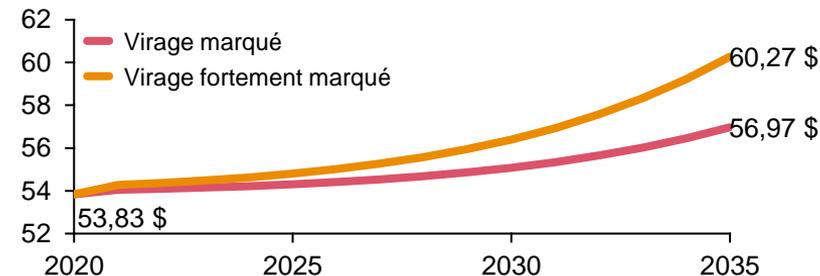
# Précisions sur la méthodologie utilisée pour la modélisation des impacts liés au rehaussement de la productivité grâce à l'adoption de l'IA au Québec (suite)

## Hypothèses des scénarios de modélisation

Hypothèses	Virage marqué	Virage fortement marqué
Taux de croissance annuel composé (TCAC) de la productivité	0,4 %	0,8 %
Croissance totale de la productivité pour la période de 2021 à 2035	5,8 %	12,0 %
Intensité du virage entrepris par les entreprises québécoises en matière d'adoption de l'IA	Fort	Très fort

## Productivité du travail selon le scénario de modélisation

PIB réel/heures travaillées



### Notes méthodologiques

- Nous avons modélisé un rythme d'adoption de l'IA selon une courbe d'adoption en « S » pour les 50 prochaines années, similairement à ce qui est suggéré dans la littérature. Cependant, notre analyse porte sur la période de 2021 à 2035, soit dans la première phase de l'adoption.
- Typique de l'adoption des nouvelles technologies, la courbe en « S » reflète une adoption qui tarde à se manifester dans les premières années en raison d'obstacles tels que les coûts d'installation, de déploiement et d'apprentissage des technologies de l'IA. Par la suite, l'adoption s'accélère plus rapidement lorsque ces obstacles majeurs ont été surmontés avant de ralentir de nouveau à l'approche de la limite.
- Pour développer les scénarios de modélisation, nous avons attribué à chaque scénario un taux de croissance annuel composé (TCAC) de la productivité du travail basé sur la littérature et ajusté au contexte de notre étude.

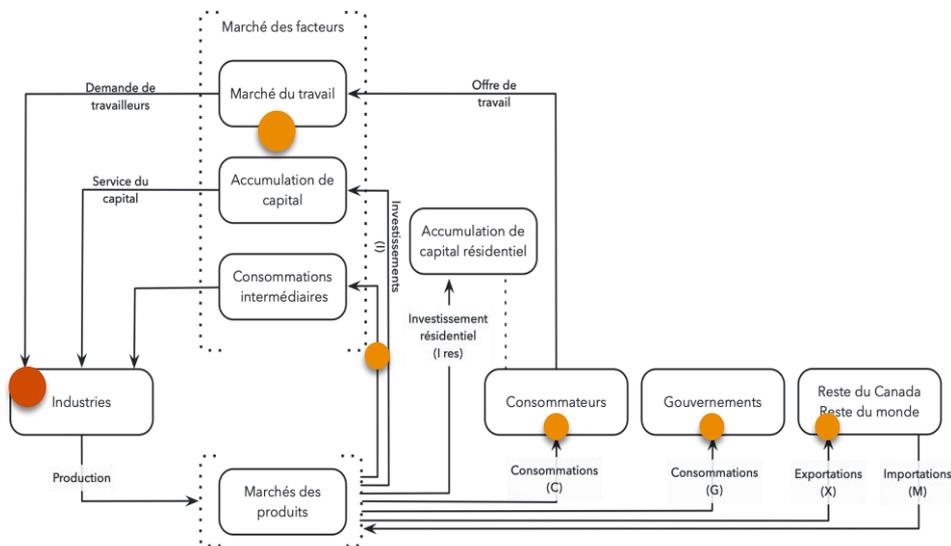
# Évaluation des impacts liés à une hausse de la productivité à partir du modèle Hercule-Impacts

L'évaluation des impacts économiques a été réalisée à partir du modèle macroéconométrique développé par DAMÉCO, le modèle Hercule-Impacts.

Hercule-Impacts a des caractéristiques essentielles dans l'évaluation des impacts qu'introduirait l'adoption de l'IA dans l'économie du Québec. Parmi celles-ci, mentionnons les suivantes :

- **Cadre d'équilibre général** : Hercule-Impacts modélise l'ensemble de l'économie québécoise, de ces acteurs et de leurs comportements et des marchés sur lesquels ils se rencontrent. Cette caractéristique est particulièrement importante dans la prise en compte de la nature structurelle d'un choc.
- **Dynamique** : Hercule-Impacts est par nature dynamique. L'aspect temporel du modèle permet de tenir compte des effets récurrents de l'introduction des effets du rehaussement de la production sur la main-d'œuvre dans l'ensemble de l'économie québécoise. De plus, la présence de l'ensemble des acteurs de l'économie québécoise permet d'aller au-delà des analyses de retombées économiques, qui ne considèrent que les flux industriels.
- **Module industriel** : Le module industriel repose sur les tableaux des ressources et des emplois détaillés du Québec. Ces tableaux présentent la structure de production de chacune des industries actives au Québec et les relations interindustrielles, et mettent en relation les demandes de biens et services au Québec et leur production, selon la source (importations ou industries québécoises).
- **Module « consommation »** : le module « consommation » d'Hercule-Impacts permet de tenir compte des décisions de consommation des ménages québécois parmi 16 catégories de consommation. Ainsi, un changement dans l'activité économique québécoise aura des effets, notamment, sur les prix à la consommation et les revenus des ménages. Le module « consommation » permet d'évaluer les changements de comportement des consommateurs à la suite de ces chocs.

# Évaluation des impacts liés à une hausse de la productivité à partir du modèle Hercule-Impacts (suite)



— Remarques —

**Industries** contient les industries du secteur public, à savoir Éducation-Santé-Administrations publiques

**I** contient la Formation brute de Capital fixe du secteur public

**Demande de travailleurs** contient la demande du secteur public

## Des travailleurs plus productifs dans les industries concernées

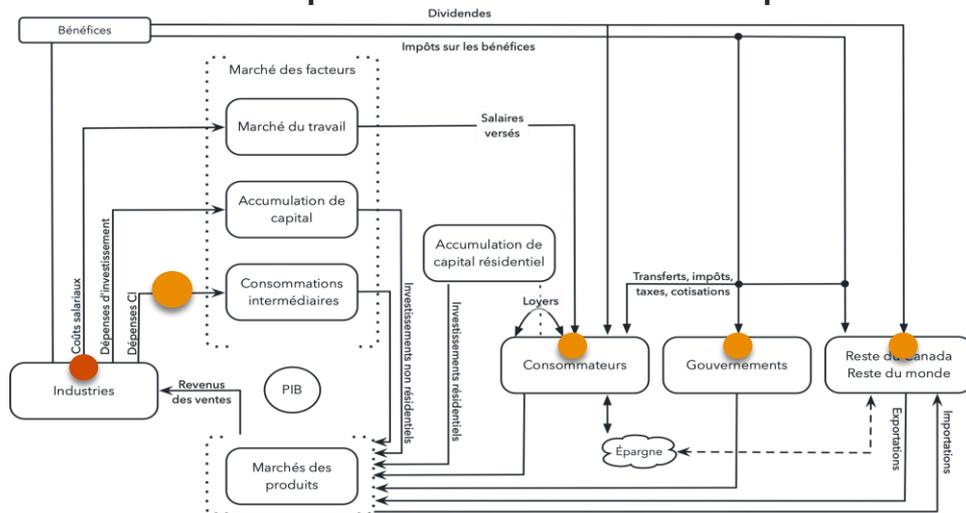
Le scénario introduit dans Hercule-Impacts indique la différence, en pourcentage, dans la productivité horaire des employés des industries concernées par l'adoption de l'IA. Par exemple, un travailleur de l'industrie « Fabrication » qui produit 55 \$ dans un contexte sans adoption de l'IA produirait 57 \$ dans un contexte où il y a adoption de l'IA.

## Des impacts économiques qui prennent source dans la variation du besoin d'heures travaillées des industries

Pour tout niveau de production et de capital donné, l'adoption de l'IA par une industrie va donc réduire ses besoins en heures travaillées. Ces heures libérées réduisent les tensions sur le marché du travail : ralentissement de la croissance des salaires et diminution du coût marginal de production des industries. Cette diminution des coûts de production dans les entreprises se répercute sur les prix de leurs biens et services, ce qui permet à l'ensemble des acteurs du Québec (industries, consommateurs, gouvernements, acheteurs) et à ceux de l'extérieur du Québec (reste du Canada, reste du monde) d'obtenir plus de biens et services pour un même montant dépensé.

# Évaluation des impacts liés à une hausse de la productivité à partir du modèle Hercule-Impacts (suite)

## Localisation du choc et effets immédiats dans le contexte économique NOMINAL selon Hercule-Impacts



### Remarques

PIB selon les dépenses :  $DF\_PIB = C + I + I\_Res + G + X - M$

PIB selon les revenus :  $Y\_PIB = Salaires\ versés + Excédent\ d'exploitation\ brut + Revenu\ mixte\ brut + (Impôts - Subventions)\ sur\ production\ \&\ produits$

PIB selon la valeur ajoutée :  $VA\_PIB = Revenus\ des\ ventes - Dépenses\ en\ CI$

$DF\_PIB = Y\_PIB = VA\_PIB + (Impôts - Subventions)\ sur\ les\ produits$

### Compétitivité des biens et services produits par les industries

La diminution du coût marginal de production des industries adoptant l'IA profite aux autres industries, ces dernières bénéficiant d'un meilleur coût pour leurs intrants : les prix de l'ensemble des biens et services produits au Québec deviennent, à des degrés divers, plus compétitifs.

### Les gouvernements et les partenaires extérieurs en profitent

L'effet « revenu » compense l'effet « prix ». Les partenaires extérieurs et les gouvernements profitent de ces prix compétitifs et voient leur pouvoir d'achat augmenter. En ce qui concerne les ménages, cet effet « prix » (positif) est accompagné par un effet « revenu » dont l'importance dépendra de l'ampleur de la variation du nombre d'heures travaillées et du ralentissement de la croissance des salaires.

# A7 Comparaison des données selon les sources

Tel qu'il est mentionné en préambule, cette étude a été limitée par la disponibilité des données, notamment celles liées aux investissements. Cependant, nous avons adopté une approche prudente et nous avons confiance que les données présentées dans cette étude se rapproche de la réalité, sans pour autant en faire un portrait qui serait trop optimiste. Dans le tableau suivant, nous présentons quelques explications quant à la divergence des données que l'on retrouve dans la littérature.

Type d'investissements	Sources	Explication
Investissements provinciaux	MEI <sup>1</sup> : 475 M\$ PwC : 293,3 M\$	PwC s'est limité, dans la mesure du possible, aux montants déjà investis pour la période de 2017 à 2021. Dans les données partagées par le MEI, les montants dédiés à l'IA après l'année 2021 n'ont pas été pris en compte.
Investissements gouvernementaux combinés (provincial et fédéral)	Montréal International 2021 <sup>2</sup> : 894,5 M\$ Investissement Québec international : 3 G\$ PwC : 812 M\$	<b>Montréal International</b> : Nous n'avons pas inclus les montants accordés dans le cadre du programme Fonds d'excellence en recherche Apogée du Canada (2016). De plus, pour tous les programmes soutenus par le MEI, nous avons inclus seulement les montants dépensés entre 2017 et 2021, ainsi que la portion québécoise du programme de Scale AI. Par contre, nos montants comprennent les montants versés par les fonds de recherche (provinciaux et fédéraux), les programmes du ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale. D'autres inclusions et exclusions pourraient expliquer les divergences. <b>Investissement Québec International (IQI)</b> : IQI présente des investissements de plus de 3 G\$ depuis 2016. Bien que rien n'indique comment ces données ont été recueillies, nous sommes d'avis qu'elles comprennent les investissements en capital de risque.
Investissements en capital de risque	Étude pour le compte du Mila: 1,7 G\$ entre 2018 et 2021 Montréal International 2021 : 2,7 G\$ Investissement Québec International : 430 M\$ (fonds DPCQ-IA et Real Ventures) PwC : 1,5 G\$	Plusieurs éléments peuvent expliquer les disparités. Premièrement, les mots clés utilisés dans les bases de données. PwC s'est limité à « intelligence artificielles », « machine learning », « deep learning », « natural language processing ». Ainsi, nous n'avons pas inclus toutes les compagnies liées aux technologies de l'information. Aussi, nous nous sommes limités aux montants investis durant la période de 2017 à 2021 et non au total des sommes levées à travers les différentes rondes de financement. Finalement, seules les sommes réellement investies ont été retenues dans notre évaluation, et non les sommes annoncées. De plus, les chiffres de l'étude pour le compte du Mila sont tirés de MI 2021 qui comprend les « domaines novateurs » tels l'IA, les jeux vidéo, les sciences de la vie, la cybersécurité, les deeptech ou les FinTech . Quant à IQI, leur rapport ne donne pas de sources.

Sources: 1. MEI, Les investissements en intelligence artificielle. 2. Montréal International, 2021. [https://www.montrealinternational.com/app/uploads/2019/02/intelligence-artificielle\\_profil\\_sectoriel\\_2021-1.pdf](https://www.montrealinternational.com/app/uploads/2019/02/intelligence-artificielle_profil_sectoriel_2021-1.pdf)  
<https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/technologies-de-linformation-et-des-communications/intelligence-artificielle/les-investissements-en-intelligence-artificielle/>; 3. Étude produite pour le compte du Mila

Emploi	Sources	Explication
Investissements provinciaux	Étude pour le compte du Mila: 19 400 Montréal International, 2021 : 160 000 Investissement Québec : 230 000 PwC : 3 050	Dans le cas de l'emploi, les résultats varient en raison de la nature de ce qui est mesuré.  Étude pour le compte du Mila: emplois en IA au Québec (2019-2020) Montréal International, 2021 : Travailleurs en TI à Montréal Investissement Québec : Travailleurs en TI au Québec PwC : emplois soutenus par les investissements répertoriés dans le cadre de cette étude

1. Le rapport est fourni uniquement pour votre usage aux fins énoncées dans l'appel d'offres entre le Forum IA Québec et PwC signé le 7 octobre 2021, et il ne doit pas être utilisé à d'autres fins. Nous n'acceptons aucune responsabilité pour les dommages résultant d'une utilisation non autorisée ou inappropriée du rapport.
2. Le lecteur de ce rapport comprend que le travail effectué par PwC a été effectué conformément aux instructions que vous avez fournies et exclusivement pour votre seul bénéfice et votre usage.
3. Le lecteur reconnaît que ce rapport a été préparé selon vos instructions et peut ne pas inclure toutes les procédures jugées nécessaires aux fins du lecteur.
4. Le lecteur convient que PricewaterhouseCoopers LLP/s.r.l./s.e.n.c.r.l, ses partenaires, directeurs, employés et agents ne doivent ni n'acceptent aucune obligation ou responsabilité envers lui, que ce soit dans le cadre du contrat ou d'un délit (y compris, sans limitation, la négligence et le manquement à l'obligation légale), et que ceux-ci ne pourront être tenus responsables de pertes, de dommages ou de dépenses, de quelque nature que ce soit, causés par toute utilisation que le lecteur pourrait choisir de faire de ce rapport, ou qui sont autrement consécutifs à l'accès au rapport par le lecteur. En outre, le lecteur convient que ce rapport ne doit pas être mentionné ou cité, en tout ou en partie, dans un prospectus, une déclaration d'enregistrement, une circulaire d'offre, un dépôt public, un prêt, un autre accord ou un document, et être distribué sans le consentement préalable de PwC.
5. Le rapport doit être considéré dans son intégralité par le lecteur, car la sélection d'éléments ou le fait de ne s'appuyer que sur des parties spécifiques des analyses ou des facteurs que nous considérons, sans la considération de tous les facteurs et de toutes les analyses dans leur ensemble, pourraient créer une vision trompeuse des processus sous-jacents à cette analyse et des conclusions qui en découlent. La préparation d'un modèle d'analyse est un processus complexe et il n'est pas approprié d'extraire des analyses partielles ou de faire des descriptions sommaires. Toute tentative en ce sens pourrait conduire à mettre indûment l'accent sur un facteur ou une analyse en particulier.
6. Nous nous réservons le droit (et sans aucune obligation de notre part) d'apporter des révisions au rapport si nous avons connaissance de faits existant à la date de ce rapport, mais dont nous ignorions l'existence lorsque nous l'avons préparé.
7. Nous nous sommes appuyés sur l'exhaustivité, l'exactitude et la présentation fidèle de toutes les informations financières, données, conseils, opinions ou représentations obtenus de sources publiques et de vous. Nous n'avons effectué aucun audit ou examen ni demandé une vérification externe des informations que vous nous avez fournies ou de celles qui ont été extraites de sources publiques. Nous n'acceptons aucune responsabilité pour toute perte occasionnée par une partie prenante en raison de notre confiance envers les informations financières et non financières qui nous ont été fournies ou qui ont été trouvées dans le domaine public.
8. Aucune information contenue dans le présent rapport ne doit être interprétée comme une interprétation juridique, une opinion sur un contrat ou un document, ou une recommandation d'investissement ou de désinvestissement.
9. Les personnes qui ont rédigé le rapport l'ont fait selon leurs connaissances, en agissant de manière indépendante et objective.
10. La rémunération de PwC n'est subordonnée à aucune action ou événement résultant de l'utilisation du rapport.

[pwc.com/ca](http://pwc.com/ca)

© 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](http://www.pwc.com/structure).